



Universidade de Aveiro
2024

**DIOGO ALMEIDA
DE FIGUEIREDO**

**SENSORIZAÇÃO E APRENDIZAGEM
BASEADA EM JOGOS NA PROMOÇÃO DE
CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**



Universidade de Aveiro
2024

**DIOGO ALMEIDA DE
FIGUEIREDO**

**SENSORIZAÇÃO E APRENDIZAGEM
BASEADA EM JOGOS NA PROMOÇÃO DE
CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Myriam Lopes, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, e da Doutora Sónia Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação de mestrado foi desenvolvida com Bolsa de Investigação com a Ref.^a BI/UI57/10394/2022, com início a 01-10-2022, pelo período de vinte e quatro meses resultante do aviso de abertura do concurso *Ref^a EdtIB 8-DEP/2022*, no âmbito do Projeto EDUCITY, com a referência PTDC/CED-EDG/0197/2021, e com o título “Cidades inteligentes e sustentáveis com jogos educativos móveis em Realidade Aumentada criados por e para os Cidadãos”, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC).

o júri

presidente

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Doutor Nelson Augusto Cruz de Azevedo Barros,
Professor Associado Com Agregação, Faculdade de Ciência e Tecnologia da
Universidade Fernando Pessoa

Professora Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes
Professora Associada, Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero agradecer às minhas orientadoras, Professora Myriam Lopes e Professora Sónia Rodrigues, pelos conselhos e pelo acompanhamento do meu trabalho. Agradeço também à Professora Lúcia Pombo e à Professora Margarida M. Marques, coordenadoras do projeto EduCITY, por estarem sempre disponíveis para me ajudar a desenvolver competências na área da educação e por acompanharem o meu trabalho no âmbito do EduCITY. Agradeço à equipa do projeto EduCITY em especial ao João Ferreira-Santos, à Rita Rodrigues, à Samantha Oliveira, ao Rafael Fernandes, à Julia Draghi, à Carolina Baptista e ao Bruno Sousa, pelo companheirismo, pela partilha de conhecimento e pelo auxílio à realização do meu trabalho. Gostaria de expressar a minha gratidão à minha família, à minha mãe, ao meu pai, à minha irmã, à avó Mizé, ao avô João e aos meus amigos. Sem eles, este trabalho não teria sido possível. Agradeço também ao Professor Manuel Santos e ao Professor José Luís Araújo pelo apoio indispensável no desenvolvimento dos sensores ambientais. Agradeço à Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro pela disponibilização de dados da estação de referência de monitorização da qualidade do ar de Aveiro. Por último, agradeço a todos os participantes no estudo, em especial às professoras que cederam tempo de aula para participar nas atividades, assim como aos alunos por terem colaborado para a recolha de dados deste trabalho.

palavras-chave

Sensores de baixo custo, ciência cidadã, aprendizagem baseada em jogos, consciência ambiental, qualidade do ar, ruído.

resumo

A poluição atmosférica e o ruído são, atualmente, as principais ameaças ambientais à saúde humana. Para combater estes problemas, é essencial que os cidadãos estejam conscientes dos riscos associados à poluição ambiental, de forma a poderem tomar decisões mais informadas.

A presente dissertação integra-se no projeto EduCITY, um projeto de educação ambiental que utiliza a aprendizagem baseada em jogos, através de uma app para dispositivos móveis e de sensores ambientais de baixo custo, com o objetivo de informar os cidadãos e capacitá-los para a tomada de decisões mais sustentáveis. O objetivo desta dissertação é avaliar o potencial da implementação de sensores de baixo custo num projeto de ciência cidadã e a sua contribuição para a promoção de competências para a sustentabilidade ambiental de alunos em idade escolar.

Nesse sentido, realizou-se inicialmente uma avaliação dos sensores ambientais de baixo custo, de forma a compreender se o seu desempenho na medição da concentração de partículas e de ruído ambiente estava de acordo com as necessidades de amostragem para um projeto de ciência cidadã. Os dois sensores de ruído demonstraram ter resultados semelhantes entre si e semelhantes aos sensores da rede Aveiro STEAM City com os quais foram comparados. Pelo contrário, os três sensores de partículas PM₁₀ e PM_{2.5}, apresentaram resultados discrepantes, com o sensor PM_1 a registar uma concordância de 95% o sensor PM_2 regista uma concordância de 88% e o sensor PM_3 regista uma concordância de 33%, na medição de PM₁₀. Ou seja, apenas um se comportou de acordo com o esperado. Nenhum dos sensores revelou resultados satisfatórios na medição de PM_{2.5}. Após a testagem, os sensores foram integrados na app EduCITY, sendo desenvolvidos índices de qualidade do ar e de ruído, de forma a tornar os resultados das medições com os sensores compreensíveis para o público em geral.

Por último, desenvolveram-se dois jogos educativos, um sobre qualidade do ar e outro sobre ruído, que integraram o uso dos sensores testados. Estes jogos foram implementados por crianças em idade escolar que expressaram, através dos questionários, a sua opinião sobre os jogos e sobre a experiência do uso dos sensores. Foram também avaliadas as

competências para a sustentabilidade ambiental dos participantes, bem como os conhecimentos sobre a qualidade do ar e o ruído, antes e após a atividade.

Os resultados demonstram uma opinião positiva dos participantes em relação às atividades e aos jogos. Estes também afirmam ter aprendido conceitos novos sobre qualidade do ar e ruído, o que se reflete no incremento de conhecimentos após a atividade.

Relativamente à evolução das competências para a sustentabilidade, os resultados indicam que os jogos educativos foram eficazes na consciencialização dos participantes sobre a importância da proteção da saúde humana, especialmente quando já havia uma percepção prévia dos riscos ambientais. Antes da atividade, os participantes demonstravam maior percepção dos riscos associados à poluição atmosférica, revelando, por outro lado, menos preocupação com os impactos do ruído. Após o jogo, observa-se uma melhoria na predisposição para agir com vista à proteção da saúde, nos participantes que jogaram o jogo sobre qualidade do ar; o que não se verificou no jogo sobre ruído. Antes do jogo, os participantes mostravam-se menos conscientes do seu contributo individual para a poluição sonora em comparação com a poluição atmosférica. No final da atividade, a percepção sobre o contributo pessoal para o ruído melhorou.

A atividade também se mostrou eficaz na mudança da percepção do contributo de diferentes fontes de poluição, naturais e artificiais, com os participantes a demonstrarem maior preocupação por todas as fontes no final da atividade. Por fim, verificou-se uma melhoria na confiança em factos científicos avaliada através dos questionários pré e pós atividade.

Conclui-se que, após os jogos, se verificou um aumento dos conhecimentos, assim como uma melhoria das competências para a sustentabilidade ambiental nos participantes.

A integração de sensores ambientais de baixo custo e índices ambientais em contextos de ciência cidadã, bem como a sua incorporação em jogos educativos, requer estudos adicionais sobre as potencialidades desta integração, sobre vantagens do uso de sensores ambientais e sobre como incentivar o uso de sensores por parte dos participantes. Esta dissertação procurou explorar estas questões, abordando as possibilidades e os desafios dessa integração. As conclusões obtidas contribuem para identificar as limitações e as potencialidades do uso dessas ferramentas, como por exemplo as limitações que um jogo educativo com desafios do tipo escolha múltipla tem na integração de sensores ambientais de baixo custo e o potencial deste tipo de atividades para a transmissão de competências para a sustentabilidade.

keywords

Low-cost sensors, citizen science, game-based learning, environmental awareness, air quality, noise.

abstract

Air pollution and noise are currently the main environmental threats to human health. To tackle these problems, it is essential for citizens to be aware of the risks associated with environmental pollution, allowing them to make more informed decisions. This dissertation is part of the EduCITY project, an environmental education project that uses game-based learning through a mobile app and low-cost environmental sensors, with the aim of informing citizens and empowering them to make more sustainable decisions. The objective of this dissertation is to evaluate the potential of implementing low-cost sensors in a citizen science project and their contribution to promoting sustainability skills.

In this regard, an initial evaluation of low-cost environmental sensors was carried out to understand whether their performance in measuring particulate concentration and ambient noise met the sampling needs of a citizen science project. The noise sensors showed consistent results both among themselves and compared to Aveiro STEAM City network sensors. Each one of the three sensors for atmospheric particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) produced different results with the PM₁, PM₂ and PM₃ sensors registering a level of agreement of 95%, 88% and 33% respectively and therefore only one sensor shows a similar performance to the reference sensors and to the Aveiro STEAM City network. After testing, the sensors were integrated into the EduCITY app, with air quality and noise indices developed to make the sensor results understandable to the public.

Lastly, two educational games were developed, one on air quality and another on noise, which incorporate the use of sensors. These games were implemented by school-aged children who expressed their opinions about the games and the experience of using the sensors through questionnaires. Participants' sustainability skills and their knowledge of air quality and noise were also assessed before and after the activity.

The results show a positive opinion from the participants regarding the activities and games. They also reported having learned new concepts about air quality and noise, as reflected in the improved knowledge observed after the activity. Regarding the development of sustainability skills, the results indicate that the educational games were effective in raising participants' awareness of the

importance of health protection, especially when there was already a prior perception of risks. Before the activity, participants demonstrated greater awareness of the risks associated with air pollution, while showing less concern for the impacts of noise. After the game, there was an improvement in the willingness to act to protect health among participants who played the air quality game. However, the same was not observed among those who played the noise game. Before the game, participants were also less aware of their individual contribution to noise pollution than of their contribution to air pollution. By the end of the activity this awareness regarding noise pollution improved. The activity was also effective in changing the perception of the contribution of different pollution sources, both natural and artificial, with participants showing greater concern for all sources by the end of the activity. Finally, there was an improvement in confidence in scientific facts.

In conclusion, after the games, there was an increase in knowledge as well as an improvement in sustainability skills. The integration of low-cost environmental sensors and environmental indices in citizen science contexts, as well as their incorporation into educational games, is still an under-researched topic. This dissertation explored these issues, addressing the possibilities and challenges of this integration. The conclusions contribute to identifying the limitations and potential of using these tools, helping to guide future project development.

reconhecimento do uso de ferramentas IA

Reconhecimento do uso de tecnologias e ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa, softwares e outras ferramentas de apoio.

Reconheço o uso do *ChatGPT 4.0* (*Open AI, <https://chat.openai.com>*) para revisão do rascunho final e a utilização do Office365 (Microsoft, <https://www.office.com>) para a escrita do texto e tratamento de dados.

Índice

Índice de Figuras	XII
Índice de tabelas.....	XV
Siglas e Acrónimos.....	XVI
Capítulo 1: Introdução	1
Capítulo 2: Revisão do estado da arte - Ciência cidadã na promoção da qualidade do ambiente urbano.....	5
2.1 Qualidade do ar urbano	5
2.1.1 Impactos da poluição atmosférica na saúde.....	6
2.1.2 Partículas em suspensão.....	7
2.1.3 Monitorização da qualidade do ar urbano	8
2.1.4 Sensores de baixo custo de qualidade do ar.....	9
2.2 Ruído Urbano	10
2.2.1 Impactos do ruído na saúde.....	12
2.2.2 Monitorização do ruído urbano.....	14
2.2.3 Sensores de baixo custo de ruído	14
2.3 Consciencialização da população.....	16
2.4 Ciência Cidadã	17
2.5 Aprendizagem baseada em jogos.....	18
2.6 Casos de estudo de uso de sensores ambientais de baixo custo em educação ambiental.....	19
Capítulo 3: Projeto EduCITY.....	21
3.1.1 Sensores ambientais de baixo custo no projeto EduCITY	24
3.1.2 Caso de estudo: Cidade de Aveiro.....	27
Capítulo 4: Implementação dos sensores ambientais de baixo custo	29
4.1 Operacionalização de sensores de baixo custo	29
4.2 Avaliação do desempenho de sensores de baixo custo de qualidade do ar ...	30
4.2.1 Metodologia de avaliação do desempenho dos sensores PM	31
4.2.2 Resultados - frequência de aquisição de dados dos sensores PM.....	37
4.2.3 Resultados da comparação dos sensores PM com outras redes de medição	44
4.3 Avaliação do desempenho de sensores de baixo custo de ruído.....	49
4.3.1 Metodologia de avaliação do desempenho dos sensores SOM	49
4.3.2 Resultados - frequência de aquisição de dados dos sensores SOM	55
4.3.3 Resultados da comparação dos sensores SOM com sensores da rede Aveiro STEAM City.....	60
Capítulo 5: Desenvolvimento dos índices ambientais	64
5.1 Desenvolvimento dos índices ambientais em contexto de ciência cidadã.....	64
5.2 Metodologia para o desenvolvimento do índice de qualidade do ar EduCITY e resultados.....	65
5.3 Metodologia para o desenvolvimento do índice de ruído EduCITY e resultados	69
Capítulo 6: Desenvolvimento de jogos educativos e de questionários de avaliação da app EduCITY	75
6.1 Metodologia de desenvolvimento de jogos educativos	75
6.2 Desenvolvimento do jogo educativo “EduCITY e a qualidade do ar”.....	77
6.3 Desenvolvimento do jogo educativo “EduCITY e ruído”.....	78
6.4 Metodologia para o desenvolvimento de questionários de avaliação das competências para a sustentabilidade.....	80
6.5 Desenvolvimento de questionários para avaliação das competências para a sustentabilidade	82
6.6 Desenvolvimento de questionários para avaliação dos jogos educativos e da experiência do uso dos sensores	85

Capítulo 7: Atividades desenvolvidas com o público.....	86
7.1 Implementação dos jogos Educativos.....	87
7.2 Resultados e discussão dos jogos educativos.....	88
7.2.1 Opinião sobre o uso de sensores ambientais de baixo custo de partículas.....	95
7.2.2 Opinião sobre o uso de sensores ambientais de baixo custo de ruído	96
Capítulo 8: Conclusões.....	99
Referencias bibliográficas.....	110
Apêndices.....	119
Anexos	202

Índice de Figuras

Figura 1- Estrutura do trabalho desenvolvido.....	4
Figura 2 - Mortalidade média a nível europeu de 1990 até 2019 (adaptado de Juginović et al., 2021).....	6
Figura 3 - Anos de vida perdidos anualmente por 100 000 habitantes e concentração média de partículas PM _{2.5} (adaptado de Juginović et al., 2021).	8
Figura 4 - População europeia exposta a ruído em áreas cobertas por mapas estratégicos de ruído em 2017 (adaptado de Peris et al., 2020).	13
Figura 5 - Exemplo de placa física do projeto EduCITY.....	22
Figura 6 - Exemplo de AR Book despoletado pelas placas físicas do projeto EduCITY.	22
Figura 7 - Exemplo de marcador natural de realidade aumentada.....	22
Figura 8 - Exemplo de AR Book disponível na app EduCITY.....	22
Figura 9 - Menu da app EduCITY para ligação da app aos sensores de baixo custo....	23
Figura 10 - Exemplo de pergunta com integração de recurso áudio.	23
Figura 11 - Exemplo de pergunta que pressupõe o uso de sensor de ruído.	23
Figura 12 - Exemplo de feedback positivo que é apresentado ao jogador depois de responder corretamente a uma pergunta.	24
Figura 13 - Interface da app com sensores ambientais a partir dos qual o utilizador acede aos resultados dos sensores de baixo custo.	24
Figura 14 - Painel final de jogo com resumo dos resultados, pontuação final e tempo total de jogo.	24
Figura 15 - Sensor de ruído SEN0232 Gravity: Analog Sound Level Meter	25
Figura 16 - Sensor de partículas Plantower PMS5003.....	25
Figura 17 - Esquema de funcionamento do sensor de partículas Plantower PMS5003.	26
Figura 18 - Sensor de partículas PM_X.	27
Figura 19 - Sensor de ruído SOM_X.....	27
Figura 20 - Localização da rede de sensores STEAM City de qualidade do ar, ruído (azul e preto) e meteorologia (azul) de estações de referência (Graça et al., 2023).	28
Figura 21 - Concentração média diária de partículas para o ano 2022 detetada pela estação de medição de qualidade do ar de Aveiro da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (APA, 2023a).....	29
Figura 22 - Pontos de amostragem para comparação dos sensores PM com outras redes de sensores.	35
Figura 23 - Exemplo da disposição dos sensores durante as amostragens realizadas na Estação CP.....	36
Figura 24 - Disposição dos sensores PM durante as amostragens realizadas na Estação CP.....	36
Figura 25 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_1 para partículas PM _{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.....	38
Figura 26 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_1 para partículas PM ₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.	38
Figura 27 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_2 para partículas PM _{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.....	38
Figura 28 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_2 para partículas PM ₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.	39
Figura 29 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_3 para partículas PM _{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.....	39
Figura 30 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_3 para partículas PM ₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.	39

Figura 31 - Desvio padrão médio dos 3 dias de amostragem de PM ₁₀ por sensor e por frequência de aquisição de dados	41
Figura 32 - Desvio padrão médio dos 3 dias de amostragem de PM _{2.5} por sensor e por frequência de aquisição de dados	41
Figura 33 - Amostragem de PM _{2.5} com frequência de 5 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	42
Figura 34 - Amostragem de PM ₁₀ com frequência de 5 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	42
Figura 35- Amostragem de PM ₁₀ com frequência de 7 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	42
Figura 36 - Amostragem de PM _{2.5} com frequência de 7 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	42
Figura 37 - Amostragem de PM _{2.5} com frequência de 10 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	43
Figura 38 - Amostragem de PM ₁₀ com frequência de 10 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.....	43
Figura 39 - Esquema de amostragem de avaliação da frequência aquisição de dados dos sensores SOM.	51
Figura 40 - Pontos de amostragem para comparação dos sensores SOM com sensores Aveiro STEAM City.....	53
Figura 41 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 2 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	55
Figura 42 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 2 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.	55
Figura 43 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 10 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	56
Figura 44 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 10 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.	56
Figura 45 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de amostragem de 15 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	56
Figura 46 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de amostragem de 15 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	56
Figura 47 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 20 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	57
Figura 48 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 20 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.	57
Figura 49 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 40 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.....	57
Figura 50 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 40 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.	57
Figura 51 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência aquisição de dados de 1 minuto e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima....	58
Figura 52 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 1 minuto e fonte sonora com intensidade máxima.	58
Figura 53 - Respostas corretas e incorretas dadas por cada grupo por pergunta do jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.	89
Figura 54 - Respostas corretas e incorretas dadas por cada grupo por pergunta do jogo “EduCITY e o ruído”.....	89

Figura 55 - Percentagem de respostas corretas às 4 tipologias de pergunta com maior número de perguntas.....	91
Figura 56 – Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo EduCITY e a qualidade do ar.....	92
Figura 57 - Resultados às questões 1, 2, 3 e 4 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo EduCITY e ruído.	92
Figura 58 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.	93
Figura 59 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e ruído”.....	93
Figura 60 - Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.	95
Figura 61 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.	95
Figura 62 - Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e o ruído”.....	97
Figura 63 - Resultados às questões 5, 6, 7 e 8 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e o ruído”.....	97

Índice de tabelas

Tabela 1 - Valores aproximados de ruído observado comumente em contexto urbano (adaptado de A. Gupta et al., 2018).	10
Tabela 2 - Indicadores de ruído estabelecidos pela Diretiva 2002/49/CE (fonte: Diretiva 2002/49/CE e WHO, 2018).	11
Tabela 3 - Valores limite de exposição segundo os diferentes tipos de ocupação do solo definidos pelo regulamento geral de ruído (fonte: Regulamento Geral de Ruído).	12
Tabela 4 - Resumo das amostragens para avaliação da frequência de amostragem dos sensores PM.....	32
Tabela 5 - Resumo das amostragens realizadas para comparação dos sensores PM com a rede Aveiro STEAM City e outras informações relevantes.	33
Tabela 6 – Desvio padrão médio por sensor, poluente e frequência de amostragem. ..	41
Tabela 7 - Resultados da amostragem comparativa dos sensores PM com sensores STEAM City e com estação de referência de monitorização de qualidade do ar da CCDRC.	45
Tabela 8 – Resultados da análise da concordância entre sensores PM e sensores STEAM City e sensor de referência da CCDRC para a amostragem de PM ₁₀	48
Tabela 9 - Resumo das amostragens para avaliação da frequência de aquisição de dados dos sensores SOM.....	51
Tabela 10 - Resumo das amostragens realizadas para comparação dos sensores SOM com a rede Aveiro STEAM City e outras informações relevantes.	52
Tabela 11 - Resultados do cálculo da média aritmética de todas as amostragens por frequência de ruído e intensidade de fonte sonora.	58
Tabela 12 - Resultados do tratamento dos dados para avaliação da influência da frequência de aquisição de dados no funcionamento dos sensores SOM.	59
Tabela 13 - Resultados da amostragem comparativa dos sensores SOM com sensores STEAM City.....	61
Tabela 14 - comparação do desvio absoluto dos sensores com as condições meteorológicas e com observações relevantes para a amostragem.	63
Tabela 15 - Critérios de inclusão e exclusão utilizados na revisão de literatura sobre índices de qualidade do ar.	65
Tabela 16 - Índice de qualidade do ar EduCITY.	68
Tabela 17 - Critérios de inclusão e exclusão utilizados na revisão de literatura sobre índices de ruído.	69
Tabela 18 - Sistematização da informação recolhida a partir da revisão de literatura cinzenta sobre escalas/índices/descrições subjetivas de ruído.....	70
Tabela 19 - Sistematização de resultados da revisão da literatura sobre impactos do ruído na saúde.....	72
Tabela 20 - Primeiro esboço do índice de ruído EduCITY.	73
Tabela 21 - Índice de ruído EduCITY.....	74
Tabela 22 - 12 competências para a sustentabilidade segundo o GreenComp (adaptado de BIANCHI et al., 2022).	80
Tabela 23 - Correspondência entre as competências para a sustentabilidade e as afirmações sobre qualidade do ar desenvolvidas.....	83
Tabela 24 - Correspondência entre as competências para a sustentabilidade e as afirmações sobre ruído desenvolvidas.....	84
Tabela 25 - Informação sobre as turmas que participaram nas atividades desenvolvidas no âmbito desta dissertação.	86

Siglas e Acrónimos

AEA	Agência Europeia do Ambiente
OMS	Organização Mundial de Saúde
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CCDRC	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro
EPA	Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental EUA)
UV	Ultravioleta
PM _{2.5}	Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 2.5 micrómetros
PM ₁₀	Partículas em suspensão com diâmetro inferior a 10 micrómetros

Capítulo 1: Introdução

Estima-se que, em 2022, a população mundial tenha atingido os 8 mil milhões de habitantes, um número 3 vezes maior do que em meados do século vinte. Em 2059 espera-se que esse número suba para 10 mil milhões (Gaigbe-Togbe et al., 2022). Hoje apesar de as cidades representarem apenas 2% da superfície terrestre é aqui onde vive cerca de 56% da população mundial, onde se consome 75% de toda a energia e ocorre 75% da produção total de resíduos. Prevê-se que até 2050 a população a viver nas cidades cresça para 68% (AIDousari et al., 2022; Neil et al., 2022). Esta grande densidade populacional leva à degradação da qualidade ambiental das cidades através de problemas como poluição atmosférica ou sonora. Assim, as cidades são geralmente locais com fraca qualidade ambiental e de grande concentração de população, o que aumenta a magnitude do problema.

A poluição atmosférica é uma das principais ameaças ambientais à saúde humana em ambiente urbano. De acordo com a AEA (Agência Europeia do Ambiente), a população urbana que vive exposta a concentrações superiores aos valores limite da OMS (Organização Mundial de Saúde) é de 95% para O_3 , 96% no caso de partículas $PM_{2.5}$ e 71% para PM_{10} . A exposição a poluição atmosférica pode ter consequências para a saúde como mortalidade e morbilidade prematura, doenças respiratórias e cardiovasculares, entre outras. A maior fonte de poluição atmosférica urbana são os transportes (Daniel et al., 2022; González Ortiz et al., 2020; Santiago et al., 2022). A nível da União Europeia, estima-se que em 2018 o número de mortes atribuídas à exposição a $PM_{2.5}$ e O_3 seja 379 000 e 19 400, respetivamente. As partículas $PM_{2.5}$ são o poluente que apresenta maiores impactos para a saúde (EEA, 2022).

A poluição sonora é um problema igualmente relevante em contexto urbano. A nível do espaço europeu estima-se que o número de pessoas exposta a ruído ambiente dia-entardecer-noite superior a 55 dB é de 113 milhões para ruído de tráfego rodoviário, 22 milhões para ruído de tráfego ferroviário e 4 milhões para tráfego aéreo. O tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído afetando cerca de 20% da população europeia. Os níveis de ruído ambiente mais comuns em contexto urbano não são suficientes para provocar efeitos auditivos como dor ou perda de capacidade auditiva, mas a exposição prolongada está relacionada com vários efeitos na saúde como incómodo, perturbação do sono, doenças cardiovasculares, perturbações do metabolismo, entre outras (Peris et al., 2020). Assim, estima-se que na europa ocidental se percam cerca de 61 000 anos de vida saudáveis devido a doença cardíaca isquémica, 45 000 anos devido a défice cognitivo em crianças e 903 000 anos devido a perturbação do sono (WHO, 2018). Pelo menos um milhão de anos de vida de saudáveis são perdidos todos os anos por ruído relacionado com tráfego (WHO, 2018). Estimativas colocam o ruído como segunda causa ambiental de doença mais importante a seguir à poluição atmosférica (WHO, 2018).

Apesar da população estar mais informada sobre problemas ambientais, este conhecimento dificilmente se traduz numa maior consciencialização ou em mudanças comportamentais (Koroleva & Novak, 2020). Uma maior consciencialização da população é um fator essencial para levar à mudança de comportamentos (Noël et al., 2022). O conhecimento dos problemas ambientais é um dos pilares para isso e daí surge a importância da monitorização dos problemas ambientais e da divulgação à população desse conhecimento (Borrego et al., 2016; Wang & Zhou, 2022).

A ciência cidadã onde os cidadãos tomam parte no processo de monitorização pretende aproximar os cidadãos dos problemas ambientais facilitando a aprendizagem e consciencialização. Esta de uma forma geral é o envolvimento do público no processo de geração de conhecimento científico, desde o desenvolvimento de planos de amostragem até ao tratamento dos dados com ou sem envolvimento de membros de instituições ou da comunidade científica (Vohland et al., 2021). A ciência cidadã em conjunto como o avanço tecnológico dos sensores ambientais de baixo custo promete mudar o panorama da monitorização ambiental. O contacto direto com os problemas ambientais por parte da

população poderá permitir uma melhor percepção dos mesmos (Borrego et al., 2016a; P. Kumar et al., 2015). Por isto, nos últimos anos tem havido um interesse crescente em abandonar a abordagem tradicional do cientista para o cidadão em relação à monitorização ambiental e desenvolver-se num modelo em que os cidadãos são partes integrantes do processo. Outra vantagem da ciência cidadã é a possibilidade de se obter dados científicos em maior escala devido aos reduzidos custos de amostragem comparativamente com métodos tradicionais (Martí et al., 2012). A ciência cidadã permite a construção do conhecimento, interagindo a nível local, tendo em consideração contexto, cultura, motivações e valores. Uma barreira para a eficácia da ciência cidadã são as tarefas de monitorização, que podem ser aborrecidas e repetitivas, o que pode levar a um pior envolvimento de voluntários.

A gamificação e a aprendizagem baseada em jogos podem desempenhar um papel importante na motivação dos voluntários e na melhoria da consciencialização ambiental respetivamente (Martí et al., 2012). A aprendizagem baseada em jogos desperta no utilizador uma série de características que são essenciais para uma boa aprendizagem como interesse, capacidade de foco, cooperação e competição saudável (Lee et al., 2022). A aprendizagem baseada em jogos tem demonstrado ter bons resultados na promoção de uma maior consciência ambiental (Koroleva & Novak, 2020; Pombo & Marques, 2020). O problema a investigar no âmbito desta dissertação procura saber até que ponto e de que forma os sensores ambientais de baixo custo e a aprendizagem baseada em jogos podem contribuir para a promoção da consciência ambiental nos cidadãos, contribuindo também para o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis.

Esta dissertação enquadra-se no projeto EduCITY, financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/CED-EDG/0197/2021), no âmbito de uma bolsa de investigação na área de Engenharia do Ambiente com início a 1 de outubro de 2022 e duração de vinte e quatro meses (Ref.^a BI/UI57/10394/2022). O projeto EduCITY é um projeto de educação ambiental que usa aprendizagem baseada em jogos para promover educação para a sustentabilidade. A ideia é promover cidades sustentáveis, criando um ambiente inteligente de aprendizagem suportado por uma app móvel com jogos de localização baseados em desafios que integram recursos educativos em RA, como simulações com base em dados de sensores ambientais, animações 3D, spots informativos, entre outros. Estes jogos são cocriados pela comunidade escolar, académica e geral e integram desafios interdisciplinares atrativos para serem explorados por cidadãos em passeios pela cidade. Esta pedagogia inovadora usa tecnologia familiar (dispositivos móveis) para “aprender fazendo”, na qual os jogos em RA permitem consciencialização ambiental na cidade – laboratório vivo de experimentação – onde os cidadãos são “cientistas ativos” e agentes de mudanças sustentáveis, numa lógica de ciência cidadã. Em jogos relacionados com qualidade do ar ou ruído é possível conectar sensores ambientais de baixo custo à app EduCITY, permitindo que estes acompanhem os utilizadores ao longo do percurso do jogo. Assim, o projeto EduCITY usa a aprendizagem baseada em jogos e a ciência cidadã, de forma a promover a consciência ambiental dos cidadãos.

O objetivo deste trabalho é avaliar o potencial de utilização de sensores ambientais de baixo custo em projetos de ciência cidadã e a sua contribuição para a melhoria das competências para a sustentabilidade ambiental de alunos de 9º ano e de ensino secundário através da sua integração em jogos educativos.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- (1) Avaliar o desempenho de sensores de baixo custo de partículas PM_{2.5} PM₁₀ e de intensidade sonora
- (2) Avaliar os recursos educativos que integram sensores de baixo custo
- (3) Avaliar o impacto da utilização destes recursos educativos na melhoria de competências para a sustentabilidade ambiental de alunos em idade escolar

Estrutura do trabalho desenvolvido

Os objetivos a que esta dissertação se propõe exigem também vários métodos para os alcançar. Nesta secção é descrita a estrutura geral do trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação. A Figura 1 resume em forma de esquema essa mesma estrutura.

A primeira parte do trabalho, capítulos 4 e 5, pretende avaliar os sensores de baixo custo e perceber como estes devem ser integrados na app EduCITY e nas atividades realizadas no âmbito da dissertação. Inicialmente foi necessário compreender o funcionamento dos sensores, aprender a utilizá-los e colaborar com a equipa EduCITY para o seu desenvolvimento e na integração na app. Uma vez terminado o desenvolvimento da app partiu-se para a testagem dos sensores. Nesta fase, avaliou-se o funcionamento dos sensores de forma a perceber se os valores medidos eram comparáveis com os valores obtidos por outros sensores. Finalizada a testagem dos sensores foi necessário integrá-los na app EduCITY de forma a estes poderem ser utilizados de forma intuitiva e fácil de compreender. Para isso, no capítulo 6, desenvolveu-se um índice de qualidade do ar e um índice de ruído que traduzem os dados medidos pelos sensores para informação fácil de compreender. Após a testagem dos sensores e da sua integração na app iniciou-se o desenvolvimento de jogos educativos, dos recursos que os integram (conteúdos em realidade aumentada, imagens e vídeos) e dos instrumentos de avaliação (questionários individuais anónimos) aplicados aos participantes, antes e após a atividade nos capítulos 7 e 8. Por fim, as atividades propostas foram implementadas e procedeu-se à recolha da opinião dos participantes, quanto à experiência do jogo e ao uso dos sensores e avaliaram-se as competências para a sustentabilidade dos participantes antes e depois do jogo de forma a comparar os resultados e a perceber o seu impacto no capítulo 9.

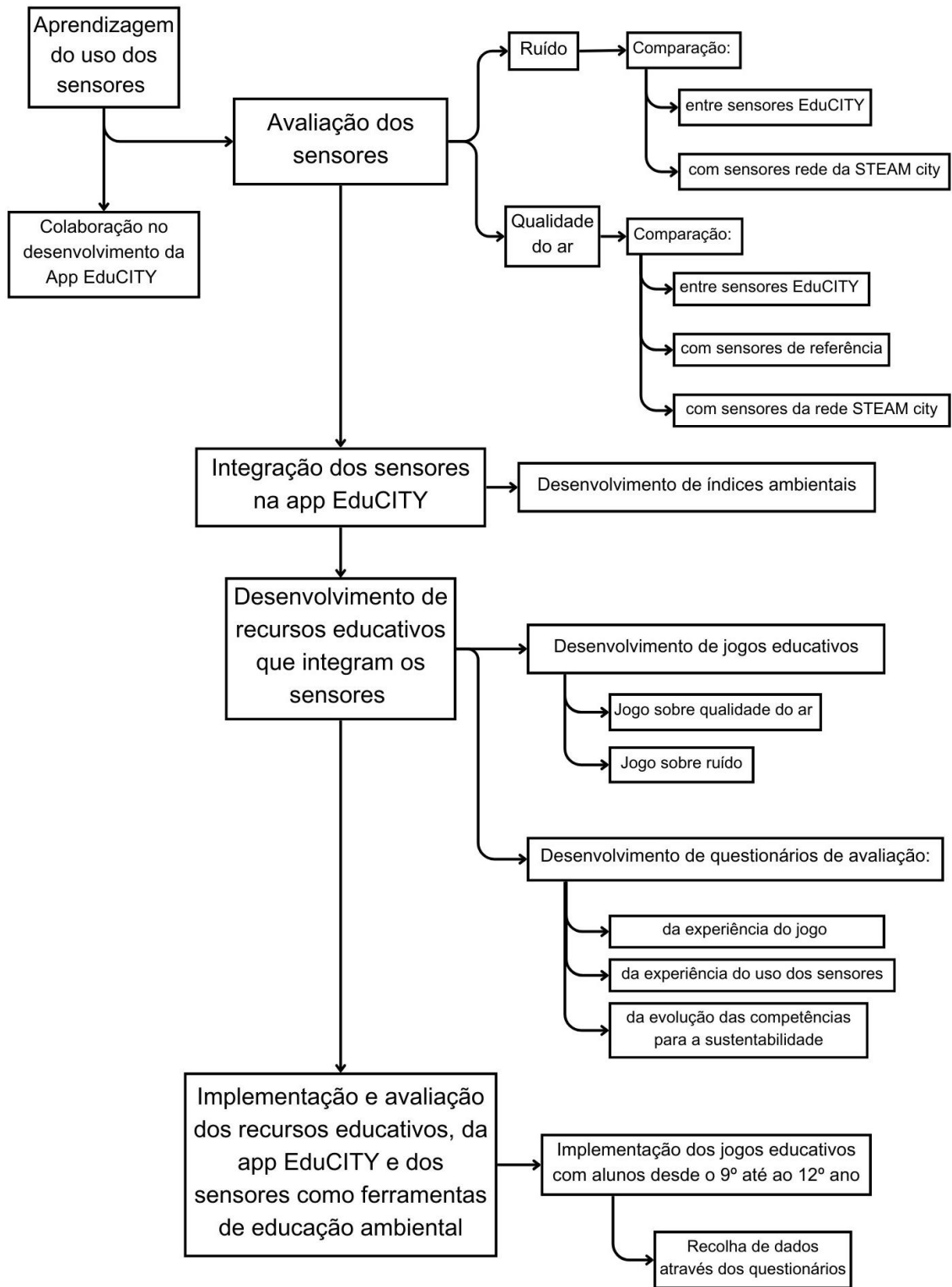


Figura 1- Estrutura do trabalho desenvolvido.

Capítulo 2: Revisão do estado da arte - Ciência cidadã na promoção da qualidade do ambiente urbano

2.1 Qualidade do ar urbano

Uma boa qualidade do ar é essencial para a saúde humana, estando incluída no 11º objetivo para o desenvolvimento sustentável: “Cidades e Comunidades Sustentáveis”.

Poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários e secundários. Os poluentes primários são aqueles que são emitidos diretamente para a atmosfera (partículas (PM), gases como o dióxido de nitrogénio (NO₂) e Compostos Orgânicos Voláteis (COV)), enquanto os secundários são formados na atmosfera através de reações químicas e processos químicos a partir de um precursor (O₃). Estes podem ter origens naturais ou antropogénicas (EEA, 2020).

Poluentes como PM, O₃, NO₂, dióxido de enxofre (SO₂) e monóxido de carbono (CO) são os principais poluentes nas cidades e têm causado problemas como ameaças à saúde ou mesmo a degradação da sustentabilidade económica, social e ecológica (Zhang et al., 2022). Os impactos da emissão de poluentes para qualidade do ar não dependem apenas da quantidade de poluentes emitida, mas também da topografia do local, das condições atmosféricas, da proximidade das fontes, entre outros. É por isso que os poluentes emitidos mais próximos do solo como é o caso do tráfego rodoviário e as emissões domésticas, são as principais fontes de poluentes urbanos (Coelho et al., 2023; EEA, 2020).

O problema da poluição atmosférica tem acompanhado o processo de urbanização (Zhang et al., 2022). No final do século XVIII, o crescimento das cidades e o aumento do uso do carvão alterou a dinâmica da poluição atmosférica que passou a ser mais regional e persistente no tempo (Zhang et al., 2022). Graças à concentração de indústrias em redor das cidades, a poluição atmosférica começou a causar problemas maiores por volta da década de 1960 (Zhang et al., 2022). Episódios como o *smog* de Londres, que levaram a um grande aumento da mortalidade, foram dos primeiros alertas para a importância da preservação da qualidade do ar urbano (Whittaker et al., 2004). Com o desenvolvimento da tecnologia e o surgimento do petróleo como importante fonte de energia, o paradigma da poluição das cidades voltou a mudar com o surgimento de fenómenos como o *smog* de Los Angeles. (Zhang et al., 2022). De uma forma geral a urbanização tem sido um processo rápido com consequências igualmente rápidas para a qualidade do ar. Inicialmente a poluição não era vista como um problema para a população, que apenas toma consciência do problema à medida que ocorrem crises ambientais mais profundas. Atualmente, apesar da melhoria da qualidade do ar, verifica-se a manutenção do interesse por parte da comunidade (Zhang et al., 2022). Este interesse deixa de estar relacionado com impacto de eventos de poluição extrema tal como estava relacionado no passado, e passa a estar ligado aos impactos a longo prazo.

As diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) oferecem recomendações quantitativas para exposição de poluentes de longa e curta duração para vários poluentes chave que, não sendo vinculativas, evidenciam os efeitos para a saúde da exposição a poluentes e servem como ferramenta de apoio à construção de legislação de controlo de poluentes (WHO, 2018). A OMS define como diretrizes para qualidade do ar no caso das partículas PM_{2,5} uma concentração de 5 µg/m³ para exposição longa duração (anual), e 15 µg/m³ para exposição de curta duração (24 horas) de. No caso das partículas PM₁₀ as diretrizes para qualidade do ar definem 15 µg/m³ como limite para exposição de longa duração e 45 µg/m³ para curta duração. Segundo a OMS, a exposição a concentrações acima deste valor pode ter efeitos negativos para a saúde humana (WHO, 2018).

Em 2022, a Comissão Europeia divulgou a proposta de revisão de diretrizes de qualidade do ar para a União Europeia, aproximando-as das linhas orientadoras da OMS.

A implementação dessas diretrizes dá-se a nível europeu com a aplicação desses regulamentos e a nível nacional e local através do desenvolvimento de estratégias de redução de poluição que passam muito pela promoção de comportamentos mais sustentáveis. A consciencialização ambiental é, por isso, essencial para a redução da poluição atmosférica urbana, sendo que a ciência cidadã poderá desempenhar um papel importante nesse processo.

2.1.1 Impactos da poluição atmosférica na saúde

A poluição atmosférica é o quarto maior risco para a saúde humana, ficando apenas atrás da hipertensão arterial, alimentação não saudável e do tabagismo. Para além da perda de vida humana, estima-se que esta tenha alto impacto económico, com um custo anual na ordem dos 5 triliões de euros (Juginović et al., 2021).

É cada vez mais claro que o contacto com poluentes atmosféricos está na origem de stress oxidativo celular por todo o organismo, potenciando respostas inflamatórias em vários órgãos como os pulmões ou até mesmo o cérebro (Yi et al., 2022).

Em 2019, um total de 368 066 mortes são atribuíveis à poluição atmosférica. A cardiopatia isquémica crónica é a principal causa desta mortalidade, sendo responsável por 44.6% das mortes atribuíveis, os fenómenos de tromboembolismo representam 25.2% e o cancro do pulmão, brônquios e traqueia é responsável por 10.7%. Analisando o contributo de cada poluente para a mortalidade, verifica-se que a maioria das mortes (90.4%) estão associadas a PM_{2.5} (Juginović et al., 2021). Na Figura 2 é possível ver a evolução da mortalidade a nível europeu ao longo dos últimos anos, bem como o contributo da poluição atmosférica para essa mortalidade, verificando um decréscimo percentual deste contributo.

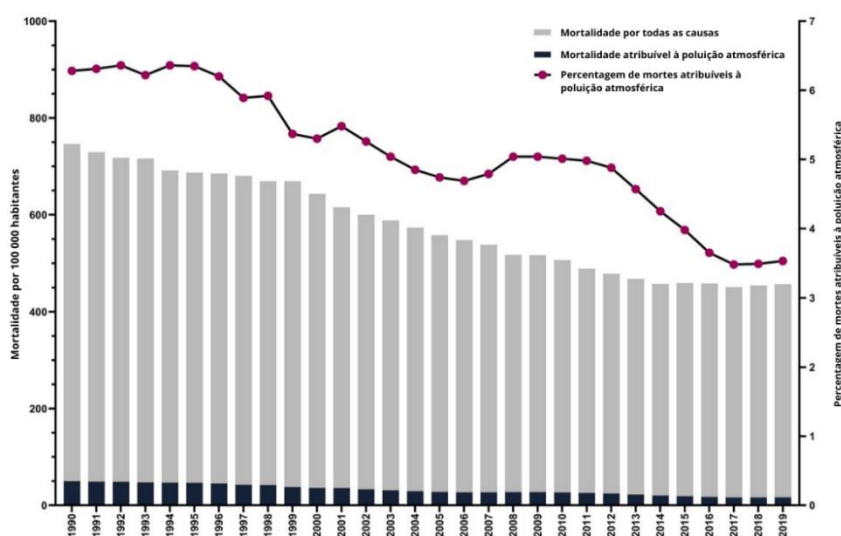


Figura 2 - Mortalidade média a nível europeu de 1990 até 2019 (adaptado de Juginović et al., 2021).

Para além dos impactos já referidos existem outras consequências para a saúde que, apesar de apresentarem um risco menor, têm impactos significativos na qualidade de vida. A exposição de curta duração pode contribuir para o agravamento de sintomas em pessoas com asma ou doença pulmonar obstrutiva crónica, enquanto a exposição de longa duração aumenta o risco de desenvolvimento destas mesmas doenças (Sousa et al., 2022).

Também estão identificadas outras comorbilidades não respiratórias associadas a efeitos da exposição a poluição atmosférica, como diabetes, parto pré-termo,

nascimento com baixo peso, cancro, alterações cognitivas, morte súbita, aterosclerose (Olmo et al., 2011).

Estes efeitos na saúde diferem de acordo com o período de exposição, com a concentração de poluentes, com o tipo de poluente, mas também com a idade do indivíduo. Comparativamente com os adultos saudáveis, as crianças e os idosos são mais vulneráveis à poluição ambiental. A exposição no útero a poluentes pode levar ao desenvolvimento de diversos problemas de saúde ao longo da vida como infeções das vias aéreas inferiores, asma, rinite alérgica (Yi et al., 2022). Para além disso observa-se ligação entre a exposição da mãe a poluentes e problemas de memória e de desenvolvimento cognitivo da criança. (Yi et al., 2022) As crianças também são especialmente vulneráveis devido a uma maior taxa de ventilação e uma maior superfície de pulmonar em relação ao peso, quando comparadas com os adultos (DeFlorio-Barker et al., 2022). A vulnerabilidade da população mais idosa deve-se principalmente à prevalência de várias morbilidades (H. W. Wu et al., 2022).

A exposição a poluentes ao longo da vida está relacionada com o aumento do risco de demência e outras complicações relacionadas, obesidade, infertilidade e interrupção involuntária da gravidez (Castellani et al., 2022; Shi et al., 2022; Vizcaino et al., 2016)

2.1.2 Partículas em suspensão

A poluição atmosférica refere-se a uma mistura de gases e de material particulado que tem propriedades tóxicas na sua interação com o ambiente. As partículas são pequenas frações de substâncias sólidas ou líquidas que se encontram em suspensão no ar e podem ser classificadas de acordo com o seu tamanho. As PM_{10} (partículas com menos de 10 micrómetros de diâmetro) depositam-se nas fossas nasais e orofaringe, as $PM_{2.5}$ (partículas com menos de 2,5 micrómetro de diâmetro) penetram nos pulmões chegando aos alvéolos e as PM_1 (partículas com menos de 1 micrómetro) conseguem passar dos alvéolos pulmonares entrando na corrente sanguínea. As partículas finas e ultrafinas $PM_{2.5}$ e PM_1 são aquelas que representam maior risco para a saúde humana (Yi et al., 2022).

Imediatamente após exposição a partículas, é comum ter sintomas respiratórios como tosse, congestão nasal ou agudização dos sintomas de asma e, por isso, estes foram o principal foco dos estudos iniciais desta área (Yi et al., 2022). Contudo com a passagem das substâncias para a corrente sanguínea a longo prazo surgem outros tipos de efeitos como problemas cardiovasculares, cerebrovasculares, cancro, entre outros (Yi et al., 2022). Estudos recentes encontram correlações entre concentrações muito baixas de partículas e efeitos na saúde (Yi et al., 2022).

Estima-se que em 2016, as $PM_{2.5}$ tenham sido responsáveis por 4 milhões de mortes a nível global, levando a 1277 anos de vida perdidos por 100 mil habitantes a nível europeu (Olmo et al., 2011). Para exposição de curta duração estima-se que um aumento de concentração de PM de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ leve a um aumento de mortalidade de 2,8% (Olmo et al., 2011). Estudos em cidades europeias concluíram que a esperança média de vida aos 30 anos aumenta entre um mês e dois anos com uma redução da concentração PM de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Olmo et al., 2011).

Analisando as principais causas de morte atribuíveis a poluição atmosférica, cardiopatia isquémica, acidente vascular cerebral e cancro, estima-se que 90% dessas mortes estão relacionadas com partículas finas $PM_{2.5}$. Na Figura 3 é possível verificar a relação entre a exposição da população de vários países europeus a partículas $PM_{2.5}$ e a perda de anos de vida por 100 000 habitantes. É clara a relação direta entre maiores concentrações de partículas finas e o aumento do número de anos de vida perdidos (Juginović et al., 2021).

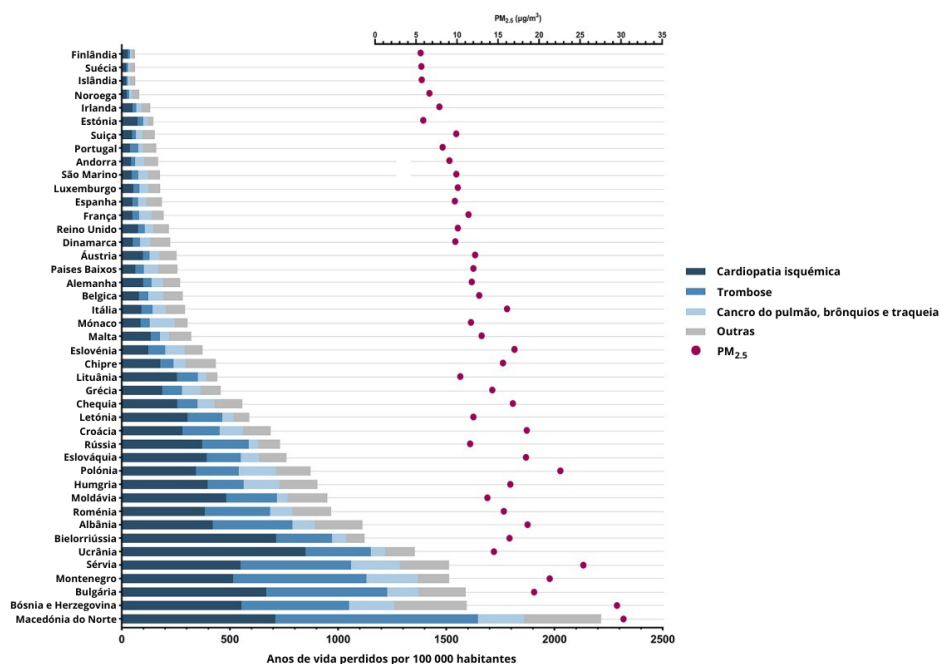


Figura 3 - Anos de vida perdidos anualmente por 100 000 habitantes e concentração média de partículas PM_{2.5} (adaptado de Juginović et al., 2021).

2.1.3 Monitorização da qualidade do ar urbano

A monitorização da qualidade do ar tem evoluído ao longo dos anos. Inicialmente os processos necessitavam de longas horas de trabalho e de longos períodos de análise (Sicard et al., 2023). Desenvolvimentos tecnológicos resultaram em métodos automáticos, contínuos, com limites de deteção menores e com capacidade de produzir resultados mais fiáveis (Kumar et al., 2023; Sicard et al., 2023). Inicialmente a monitorização da qualidade do ar estava relacionada com a necessidade de verificação da conformidade legal da excedência de valores limite. Por esse motivo as estações de monitorização eram apenas posicionadas em locais onde seria mais provável ocorrerem excedências (Kuhlbusch et al., 2014). Desde a década de 90 que as emissões de poluentes como NO_x, VOCs e PM têm vindo a diminuir a nível europeu e, por isso, a legislação passou também a ter em conta a importância da redução da exposição de longo prazo surgindo a necessidade de medição de concentrações médias de poluentes em horizontes temporais mais alargados (Kuhlbusch et al., 2014; Kumar et al., 2015).

Tradicionalmente os sistemas de monitorização implementados por agências governamentais têm custos elevados, têm grandes dimensões e necessitam de mão de obra especializada, o que leva a uma diminuição da capacidade de amostragem no tempo e no espaço. Estes são, por isso, incapazes de caracterizar na totalidade a qualidade do ar urbano (Borrego et al., 2016). Por estas razões, o número de estações de monitorização é reduzido, estando apenas presentes em zonas com alta densidade populacional ou zonas onde se verifiquem ultrapassagens dos valores definidos na legislação. (Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de setembro, 2010). De forma a contornar estas limitações, os sistemas de monitorização têm sido complementados com imagens de satélite e modelos químicos de transporte de poluentes (EEA, 2020). Mais recentemente, têm surgido tecnologias, como os sensores de baixo custo, que prometem revolucionar o paradigma da monitorização. Isto deve-se às características destes sensores que vêm responder às várias limitações das ferramentas de monitorização utilizadas até aqui (Kuhlbusch et al., 2014).

2.1.4 Sensores de baixo custo de qualidade do ar

Recentemente o uso de sensores de baixo custo para monitorização da qualidade do ar tem vindo a crescer (Borrego et al., 2016). O que torna os sensores de baixo custo relevantes é o seu preço reduzido, o baixo consumo energético, a capacidade de serem usados na medição da variação de poluentes no tempo e no espaço, a possibilidade de avaliação de exposição pessoal e o seu potencial para uso na validação de modelos de dispersão atmosférica. Estes sensores são geralmente montados em sensor boxes, que são construídas através da integração de vários equipamentos que fornecem diferentes valências ao sensor (Borrego et al., 2016; Narayana et al., 2022). Tipicamente estes equipamentos podem estar associados a dispositivos GPS, no caso de serem usados em amostragens móveis, placas de comunicação de dados via Bluetooth ou Wi-Fi, bateria e visor. Também se pode acoplar o sensor box em vários equipamentos de medição, permitindo a medição de diferentes poluentes em simultâneo.

Vários projetos têm demonstrado a exequibilidade em larga escala do uso de sensores de baixo custo na medição de longo termo de poluentes atmosféricos (Chen et al., 2022; Hassani et al., 2023; Karagulian et al., 2019; Kumar et al., 2015). Contudo, estes sensores apresentam algumas limitações como a perda de exatidão nos resultados quando se muda de ambiente laboratorial para o campo. É comum também ser referida a necessidade de a calibração regular que este tipo de equipamentos necessita, uma vez que a sua resposta tende a variar ao longo do tempo. Estes equipamentos são sensíveis a fatores ambientais como a temperatura, humidade e interações com outros poluentes, o que faz com que a calibração não garanta a exatidão pretendida. Para além disso, a calibração pode ser um processo demorado o que o torna impraticável para redes com um grande número de equipamentos (Concas et al., 2021).

Atualmente a grande generalidade dos sensores de baixo custo não cumprem os requisitos de entidades regulatórias como a AEA ou a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e, por isso, não são equiparados a métodos de referência (Narayana et al., 2022). Por estas razões o seu uso fica reservado a outros fins como a deteção de hotspots de poluição, sensibilização ambiental, avaliação de exposição individual entre outros.

A classificação de sensores de baixo custo pode ser feita de várias formas: pela portabilidade, pelo poluente medido, pelo método de funcionamento, entre outros. Podem ainda ser agrupados segundo gamas de preço.

Pela tecnologia de funcionamento os sensores dividem-se em: semicondutores metal-óxido; eletroquímicos; não dispersivos de absorção de infravermelho; por fotoionização; de dispersão de luz para partículas; de classificação de tamanho de partículas; de concentração de partículas por difusão de luz (Concas et al., 2021; Thompson, 2016).

2.2 Ruído Urbano

Um som corresponde à variação de pressão no ar que é detetada pelo ouvido humano. O som passa a ser denominado ruído a partir do momento em que este se torna indesejado, seja pelas suas características, local onde este acontece ou pela sua duração (Masum et al., 2021). O ouvido humano consegue detetar uma gama muito ampla de valores de pressão sonora desde os 2×10^{-5} Pa (limiar de audição) até aos 20 Pa (limiar da dor) e por isso torna-se mais prático o uso de uma escala logarítmica que é adotada como referência para medição de ruído (APA, 2021b). A escala logarítmica tem como unidades o decibel (dB) e tem como 0 dB, o limiar de audição, e os 120 dB como o limiar da dor (APA, 2021b). Contudo o ruído não se caracteriza apenas pela sua intensidade, frequência, duração e contexto em que é percebido. Outros fatores podem fazer a diferença entre um som e um ruído, como é exemplo a avaliação individual e subjetiva sobre o que é um som agradável ou não. Para além disso, o ouvido humano tem sensibilidade diferente para diferentes frequências, e por isso existe a necessidade de corrigir o valor de intensidade sonora para o valor percebido pelo ouvido humano. Para esse valor corrigido escolheu-se o decibel A (dB(A)) como designação para a escala (APA, 2021b; Masum et al., 2021)

Ruído ambiental e a poluição atmosférica muitas vezes coexistem no espaço visto que geralmente têm a mesma fonte. Este afeta a saúde e o bem-estar do ser humano, bem como a vida selvagem e é gerado a partir de praticamente todas as atividades antrópicas desde atividades domésticas, industriais comerciais e de construção sendo que a mais relevante e prevalente em contexto urbano é o tráfego rodoviário (Masum et al., 2021).

Como já foi referido, o que é considerado ruído varia de pessoa para pessoa de acordo com o que esta considera incomodativo ou não. A hora a que o ruído é percebido é um fator decisivo. Por exemplo, durante a noite ou em contexto de sala de aula o ser humano necessita de níveis de ruído baixos para conseguir descansar ou concentrar-se respetivamente. Um ruído nestes contextos pode ser considerado um som agradável num contexto diferente.

O ruído é um problema muito presente nas nossas cidades e devido aos seus impactos na saúde e bem-estar das populações é essencial o desenvolvimento de estratégias para diminuir os seus impactos (Fan et al., 2020).

Em contexto urbano habitacional o nível de ruído oscila tipicamente entre os 30 dB e os 80 dB, podendo por vezes chegar a picos de mais de 100 dB ou 120 dB. A Tabela 1 mostra valores de ruído aproximados que se observam comumente em contexto urbano.

Tabela 1 - Valores aproximados de ruído observado comumente em contexto urbano (adaptado de A. Gupta et al., 2018).

Atividade	Decibel (dB)
Discoteca	110-120
Zona de construção	100
Tráfego rodoviário	80-90
Zona de trabalho ruidosa	80
Conversa normal	60
Biblioteca	30-40
Quarto	20-30

No contexto da União Europeia a política seguida relativamente ao ruído tem vindo a evoluir ao longo do tempo. Em 1993 surge o “Quinto Programa de Ação em Matéria de Ambiente” que estabelece que nenhuma pessoa deve estar exposta a valores de ruído

que ponham em risco a sua saúde e qualidade de vida (WHO, 2018). A este documento seguiu-se em 1996 a “Futura Política De Ruído - Livro Verde Da Comissão Europeia” que reforçou a importância do ruído como um dos principais problemas ambientais a nível europeu e desenhou nas linhas orientadoras para a política de controlo do ruído (WHO, 2018). Por fim, em 2002 o “Sexto Programa de Ação em Matéria de Ambiente” declara como objetivo o alcance de uma qualidade ambiental onde contaminantes com origem antrópica não representam impactos ou riscos para o ser humano servindo de base para a adoção e implementação da Diretiva 2002/49/CE (WHO, 2018). A Diretiva 2002/49/CE tem como objetivo a definição de uma abordagem comum para prevenir e reduzir os efeitos da exposição a ruído através do estabelecimento de várias obrigações como elaboração de mapas de ruído a necessidade de informar o público sobre o ruído ambiente e seus efeitos, e a necessidade da elaboração de planos de ação com base nos resultados dos mapas de ruído de forma a prevenir e reduzir os efeitos do mesmo. Assim a diretiva estabelece a obrigatoriedade da monitorização de ruído nos vários estados-membros e estabelece os indicadores qualidade acústica descritos na Tabela 2 a serem calculados através deste processo de monitorização (WHO, 2018).

Tabela 2 - Indicadores de ruído estabelecidos pela Diretiva 2002/49/CE (fonte: Diretiva 2002/49/CE e WHO, 2018).

Indicador	Descrição
L_{diurno}	Nível sonoro médio de longa duração determinado durante todos os períodos diurnos (07:00 / 19:00) de um ano.
$L_{entardecer}$	Nível sonoro médio de longa duração determinado durante todos os períodos vespertinos (19:00 / 23:00) de um ano.
L_{noite}	Nível sonoro médio de longa duração determinado durante todos os períodos noturnos (23:00 / 07:00) de um ano.
L_{den}	Indicador de som médio ao longo de todos os dias e noites de um ano calculado através dos indicadores L_{diurno} , $L_{entardecer}$ e $L_{noturno}$.

Para além disso, a diretiva e as suas subseqüentes atualizações estabelecem valores limite de exposição de ruído para a proteção da saúde humana (Diretiva 2002/49/CE de 25 de junho de 2002, 2002)

Em Portugal a legislação relativa ao ruído em vigor é o Regulamento Geral de Ruído estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro, 2007 que transcreve o disposto na Diretiva 2002/49/CE. Este diploma enquadra o problema determinando responsabilidades na adoção de medidas de controlo, prevenção e monitorização do ruído. O regulamento geral de ruído define valores limite de exposição segundo os diferentes tipos de ocupação do solo: (1) zonas sensíveis (habitações, serviços, hospitais, locais de lazer ou escolas); (2) zonas mistas (segundo ao definido no plano municipal de ordenamento do território) e (3) zonas urbanas consolidadas (edificação com ocupação estável como zona mista ou sensível). A Tabela 3 descreve os valores limite de exposição no exterior descritos pelo regulamento geral do ruído expressos segundo os indicadores L_{den} e L_{noite} para as diferentes zonas tendo também em conta proximidades com fontes de ruído.

Tabela 3 - Valores limite de exposição segundo os diferentes tipos de ocupação do solo definidos pelo regulamento geral de ruído (fonte: Regulamento Geral de Ruído).

Classificação de zona	L _{den} [dB(A)]	L _{noite} [dB(A)]
Zonas mistas	≤ 65	≤ 55
Zonas sensíveis	≤ 55	≤ 45
Zonas sensíveis na proximidade de Grande Infraestrutura de Transporte existente	≤ 65	≤ 55
Zonas sensíveis na proximidade de Grande Infraestrutura de Transporte aéreo em projeto	≤ 65	≤ 55
Zonas sensíveis na proximidade de Grande Infraestrutura de Transporte não aéreo em projeto	≤ 60	≤ 50
Zonas ainda não classificadas	≤ 63	≤ 53

2.2.1 Impactos do ruído na saúde

O ruído gerado através dos diferentes meios de transporte é considerado o segundo maior risco ambiental para a saúde a nível europeu tendo impactos na saúde auditiva e não auditiva (Fan et al., 2020). Estima-se que pelo menos 20% da população da União Europeia viva em áreas onde os níveis de ruído são prejudiciais para a saúde (Peris et al., 2020). A Figura 4 ilustra o número de pessoas afetadas por ruído a nível europeu de acordo com a fonte desse ruído. Estima-se que em contexto urbano 80 milhões de pessoas estejam expostas a um nível de ruído L_{den} superior a 55 dB provocado por tráfego rodoviário, 10 milhões por tráfego ferroviário e 3 milhões por tráfego aéreo (Peris et al., 2020). Estima-se que em Portugal 477 mil pessoas estejam expostas a níveis de ruído L_{noite} acima de superior a 55 dB(A) e 2 milhões no caso de L_{noite} acima de 45 dB(A) (Guerra Miguel Déjean et al., 2019).

Número de pessoas expostas a $L_{den} > 55\text{dB}$ e a $L_{noite} > 50\text{ dB}$ (em milhões)

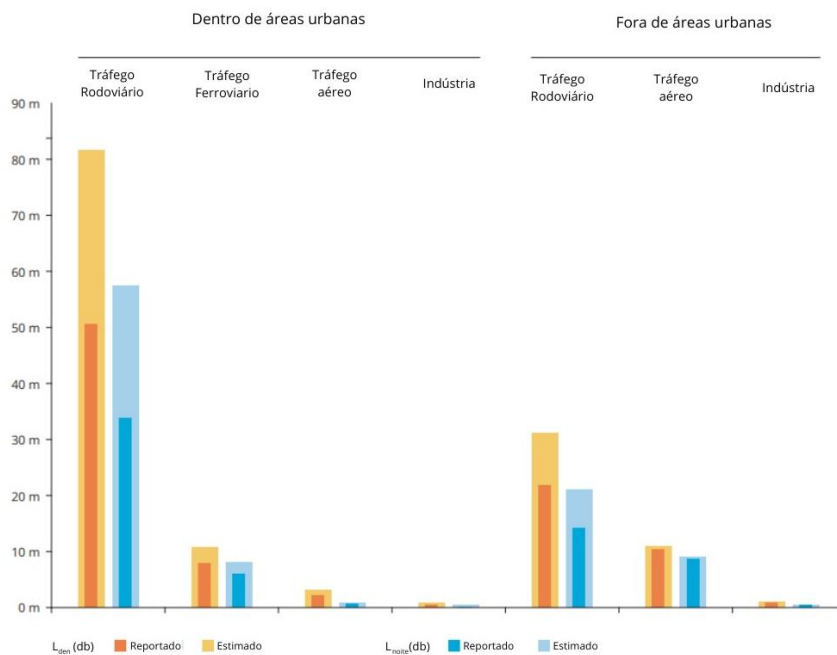


Figura 4 - População europeia exposta a ruído em áreas cobertas por mapas estratégicos de ruído em 2017 (adaptado de Peris et al., 2020).

Segundo a OMS, os maiores riscos para a saúde causados pelo ruído são doenças cardiovasculares, incomodo, perturbação do sono, défice cognitivo, perda auditiva e zumbido (WHO, 2018). Perturbações da gravidez, do bem-estar, da saúde mental e do metabolismo também são considerados riscos significativos (WHO, 2018).

O incómodo causado pelo ruído refere-se a uma série de reações caracterizadas por sentimentos negativos de insatisfação, perturbação, angústia, que podem funcionar como precursores de stress (Peris et al., 2020; Stansfeld & Matheson, 2003). Este incomodo particularmente relevante em atividades que impliquem comunicação falada como ver televisão ou ouvir o rádio. O nível de incomodo está relacionado com a gravidade da interferência e com a frequência, duração e periodicidade do ruído (Stansfeld & Matheson, 2003). Exposição a ruído de alta intensidade está relacionado com respostas do sistema endócrino que produz hormonas precursoras de stress (Stansfeld & Matheson, 2003). A longo termo o stress pode levar a doenças cardiovasculares como hipertensão arterial, evidenciado pela relação entre altos níveis de ruído e maior consumo de medicação para doenças cardiovasculares (Stansfeld & Matheson, 2003). Também o sono é afetado, na medida em que há um aumento de pressão arterial, frequência cardíaca e movimentos do corpo resultando numa diminuição da qualidade do sono devido à sua fragmentação e à redução do número de horas de sono (Stansfeld & Matheson, 2003). A perturbação do sono, por sua vez, tem impacto em aspetos como a capacidade de atenção, a memória, a *performance* no trabalho, o metabolismo da glucose e a regulação do apetite (Peris et al., 2020; Stansfeld & Matheson, 2003). Embora exista alguma habituação ao ruído em casos de exposição prolongada, esta nunca é completa tendo sempre efeitos negativos (Stansfeld & Matheson, 2003).

A exposição de crianças a ambientes ruidosos dá origem a inquietação e por isso em contexto de sala de aula o ruído leva a dificuldades de concentração, de motivação e de compreensão o que resulta em pior aproveitamento (Peris et al., 2020; Stansfeld & Matheson, 2003). As evidências mostram ainda que a exposição crónica tem efeitos no desenvolvimento da compreensão da linguagem, condicionando as competências de leitura (Stansfeld & Matheson, 2003).

Recentemente têm surgido evidências da ligação entre a exposição a ruído e o desenvolvimento de alguns tipos de cancro da mama e o agravamento de doenças respiratórias e mentais como depressão e ansiedade (Hegewald et al., 2020; Peris et al., 2020; Stansfeld & Matheson, 2003).

O ruído é, assim, um dos problemas ambientais mais relevantes em contexto urbano e, por isso, é essencial desenvolver estratégias para a resolução deste problema. De modo a desenvolver estratégias eficazes para o controlo do ruído é necessário caracterizá-lo. É também através da monitorização que se verifica a eficácia das medidas tomadas, permitindo a melhoria contínua dos processos do controlo de ruído.

2.2.2 Monitorização do ruído urbano

A monitorização do ruído nas cidades europeias para cumprimento de requisitos legais é feita através da elaboração de mapas de ruído. Estas ferramentas apresentam o resultado de medições de indicadores como L_{den} e L_{noite} de forma georreferenciada permitindo identificar tanto as fontes de ruído como aqueles que estão expostos. Os mapas servem como ferramenta da monitorização, mas também são uma forma de informar o público sobre a sua exposição (Decreto-Lei nº 9/2007, de 17 de janeiro, 2007). Segundo o regulamento geral do ruído, a responsabilidade da elaboração destes mapas recai sobre as autarquias. Estes resultam de dados obtidos através de técnicas normalizadas de medição que são complementadas por modelos matemáticos.

Os mapas estratégicos de ruído são elaborados para grandes infraestruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e para aglomerações com mais de 100 mil habitantes ou densidade populacional superior a 2500 habitantes por km^2 e têm como objetivo caracterizar o ruído produzido por estas infraestruturas bem como estimativas de população exposta a cada uma das classes de ruído (APA, 2021a; Kumar et al., 2023). A estes mapas sucedem planos de ação com o objetivo de definir políticas, tendo em vista a redução dos problemas identificados (APA, 2023).

A elaboração destes mapas implica o uso de equipamentos de referência que sigam métodos designados por Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), publicados pela Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão, de 19 de maio de 2015, que uniformizam as medições de ruído ambiente tornando-as comparáveis e consistentes (APA, 2023). Devido a estes requisitos a recolha de dados necessita de ser feita por trabalhadores especializados, tornando-se num trabalho moroso e dispendioso (Picaut et al., 2020b). Isto limita as capacidades de amostragem que apenas são realizadas, obrigatoriamente, de 5 em 5 anos. Outras limitações dos mapas de ruído são o facto de representarem médias de grandes períodos e dos dados serem complementados por modelação. Isto implica que estes sejam mais sensíveis a fontes como transportes e indústria e que os resultados sejam sempre aproximações à realidade uma vez resultam de modelação (Picaut et al., 2020b). Ou seja, estas ferramentas de monitorização não são capazes de caracterizar na totalidade o ruído urbano. Recentemente os sensores de baixo custo têm vindo a ser cada vez mais utilizados de forma a colmatar as falhas dos processos de monitorização de ruído tradicionais.

2.2.3 Sensores de baixo custo de ruído

Nas últimas décadas o desenvolvimento tecnológico de sensores de baixo custo de ruído promete suprimir as lacunas que existem atualmente na monitorização do ruído. Estes têm tamanhos e consumos energéticos reduzidos o que permite a sua utilização autónoma e remota com transmissão de dados por ligações sem fios (Picaut et al., 2020b). Para além de necessitarem de menos mão de obra estes têm custos reduzidos quando comparados com sensores equiparados a métodos de referência (Picaut et al., 2020b). Os sensores de baixo custo possibilitam por exemplo a criação de mapas de ruído dinâmicos, o registo de eventos ruidosos ou a localização de fontes do ruído.

As redes de sensores de ruído de baixo custo podem ser divididas em 3 categorias: (1) redes de sensores fixas, (2) redes de sensores móveis com participação pública e (3) redes de sensores móveis (Picaut et al., 2020b). As redes de sensores fixas são geralmente instaladas em pontos estratégicos no exterior de edifícios de modo a fazerem medições representativas do ruído ambiente, estarem protegidos do vandalismo e das condições meteorológicas e estarem acessível facilmente para ações de manutenção. Os sensores utilizados neste tipo de redes podem ser sensores com maior consumo energético uma vez que estes geralmente têm ligação à rede elétrica. No caso de redes móveis com participação pública os sensores têm outros requisitos como serem resistentes a manuseamento, consumo energético baixo para permitir uso remoto com bateria e fácil utilização de modo a poderem ser usados corretamente por membros do público. Para este tipo de redes é frequente o uso de telemóveis como sensores de ruído. Por fim as redes de sensores móveis são geralmente sensores instaladas em veículos como autocarros, camiões de transporte de resíduos ou redes de bicicletas partilhadas de forma a permitir uma amostragem mais alargada no espaço ou de forma a avaliar ruído produzido por fontes específicas.

O uso smartphones para monitorização do ruído tem aumentado ao longo dos últimos anos (Zipf et al., 2020). A disponibilidade destes equipamentos que estão presentes no bolso grande parte da população facilita a sua utilização e torna-os em ferramentas com grande potencial para recolha de dados em larga escala (Zipf et al., 2020). Outra vantagem do uso de smartphones é a facilidade do seu uso: não necessitam de montagem, tem componentes como bateria e GPS já instalados e o software é instalado como qualquer outra app. Vários estudos têm vindo a ser realizados onde voluntários usam telemóveis para realizar amostragens de ruído densas produzindo mapas de ruído muito detalhados (Maisonneuve et al., 2010; Rana et al., 2015; Shim et al., 2016; Zappatore et al., 2017; Zipf et al., 2020). Vários estudos demonstram a eficácia de smartphones para medição do ruído ambiente com diferenças médias entre os resultados e medições efetuadas por equipamentos equiparados a métodos de referência dentro da margem de erro aceitável na ordem dos 5 dB nos casos em que há uma calibração prévia dos equipamentos (Rana et al., 2015).

Este tipo de equipamentos pode ter um dos seguintes tipos de microfones: (1) microfones condensadores de eletreto e os mais recentes microfones MEMS que podem ser (2) analógicos ou (3) digitais (Picaut et al., 2020b). Os microfones MEMS apresentam melhores resultados, têm dimensões reduzidas, baixo consumo energético, são duráveis e relativamente confiáveis (Picaut et al., 2020b). Algumas das desvantagens deste tipo de sensor são o impacto das condições atmosféricas nos resultados, a precisão e reprodutibilidade baixas e o valor mínimo detetável alto na ordem dos 29 dB(A) (Manvell, 2015). Geralmente o tempo de vida deste tipo de sensores é de 5 anos dependendo das condições a que está exposto. Os sensores com microfones MEMS são resistentes às condições atmosféricas demonstrando pouco desvio ao longo do tempo (Picaut et al., 2020b). Os microfones condensadores de eletreto têm um custo baixo, são muito duráveis e resistentes as condições atmosféricas e têm uma boa resposta para uma ampla gama de frequências (Picaut et al., 2020b).

Os resultados sensores de baixo custo não são comparáveis com sensores de referência, mas estas insuficiências na monitorização podem ser compensadas através da utilização de redes densas de sensores com redundância na monitorização e com pós processamento dos dados (Domínguez et al., 2013). Estes sensores também possibilitam de realizar ações de ciência cidadã que para além de permitir amostragem em maior escala permite sensibiliza o publico para a problemática do ruído. Para além disso a população deve encontrar formas de evitar a exposição ao ruído seja pelo uso de protetores auditivos, optando por melhores opções isolamento acústico ou respeitando os horários de baixo ruído. A consciencialização ambiental é assim um fator importante para a promoção de hábitos mitigadores do risco de exposição a ruído sendo essencial para a implementação de estratégias de combate à poluição sonora.

2.3 Conscientização da população

Apesar da conscientização da população ser essencial para a resolução dos problemas ambientais e de existirem numerosos estudos publicados sobre este tema, este continua a ser incompreendido (Bickerstaff, 2004; Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020). A percepção do risco da exposição a poluição ambiental advém da percepção dos possíveis efeitos na saúde e é mediada pela percepção individual dessa exposição (Wokekoro, 2020). Um indivíduo com uma baixa percepção do risco da poluição ambiental não se sente motivado a adotar comportamentos para se proteger dos seus impactos. Para além disto a percepção do risco pode levar a mudanças comportamentais (Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020).

A percepção do risco envolve crenças, atitudes, juízos de valor e sentimentos a um nível individual bem como atitudes sociais e culturais em relação ao risco (Bickerstaff, 2004; Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020). Por exemplo a queima de madeira para aquecimento doméstico é visto como algo natural. Isto contrasta com a percepção da poluição que está associada à modernidade e tecnologia. Assim o público tem dificuldade em perceber o impacto para a qualidade do ar e conseqüente impacto na saúde que a queima de madeira pode ter. Um participante num estudo sobre a percepção deste problema quando confrontado com os efeitos na saúde deste tipo de poluição diz “Oh, temos estado a aguentar isto (fumo) desde sempre porquê este pânico de repente? O que é que nos te andado a envenenar nos últimos dez anos (...)?”. (Reeve et al., 2013). Para além disso aquilo que o público identifica como fontes de poluição depende muito do contexto em que se inserem. Habitantes de uma grande cidade identificam o tráfego rodoviário e pólen como fontes de poluição atmosférica, enquanto num contexto rural menos favorecido são identificadas as poeiras, indústrias e queima de resíduos (Bickerstaff, 2004; Noël et al., 2022).

A percepção correta dos riscos associados à poluição ambiental é, por isso, essencial para proteção da saúde e para aumentar o apoio para medidas de redução de poluição (Noël et al., 2022). Atualmente, a percepção pública sobre a qualidade do ar é mais influenciada pelo conhecimento empírico, como os sinais preceptivos, como a presença de precursoros, e menos pelo conhecimento real sobre a qualidade do ar (Bickerstaff & Walker, 2001; Noël et al., 2022). O público tende a identificar a poluição atmosférica referindo-se às suas fontes tendo pouco conhecimento da composição real da mesma (Noël et al., 2022). Outro problema da percepção da poluição é a crença de que a exposição não é problemática durante atividades benéficas para a saúde como correr ou andar de bicicleta quando, pelo contrário, o risco é superior (Bickerstaff, 2004). A percepção de má qualidade do ar é sendo em larga medida influenciada pela percepção do risco individual leva as que as pessoas mostrem relutância em reconhecer a má qualidade do ar na sua vizinhança, por exemplo (Bickerstaff & Walker, 2001).

O público geralmente olha para a poluição de forma comparativa relativizando-a: a existência de locais mais poluídos faz com que a poluição a nível local seja desconsiderada (Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020). Da mesma forma é comparada a origem dos poluentes: a poluição causada pelos transportes é vista como algo evitável sendo por isso um problema significativo enquanto os incêndios florestais, percebidos como inevitáveis, não são entendidos como significativamente impactantes para qualidade do ar (Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020). Para além disso, os impactos da poluição são percebidos como sociais, afetando apenas os outros, deixando-se de lado os impactos pessoais. As pessoas muitas vezes mostram mais preocupação com as conseqüências da poluição na saúde dos seus familiares do que com os efeitos na sua própria saúde (Bickerstaff & Walker, 2001; Noël et al., 2022). Isto destaca a importância de melhoria percepção pública do ambiente circundante para alcançar uma melhor compreensão dos seus impactos. Para isso é essencial envolver as pessoas a nível local, considerando o contexto, a cultura e as motivações, objetivos e valores das pessoas, repensando a forma como os problemas ambientais são comunicados com o público (Bickerstaff & Walker, 2001). Vários estudos demonstram a importância da monitorização

ambiental e da partilha dessa informação com o público na melhoria da percepção dos problemas ambientais (Yang et al., 2024).

A ciência cidadã pode ajudar na consciencialização e na correção de percepções erradas (Song & Kwan, 2023). De forma a utilizar a ciência cidadã e a monitorização ambiental em prol da sensibilização é necessário ter em atenção a forma de comunicar “ciência” com o cidadão de forma a promover uma aprendizagem efetiva que potencie a mudança de comportamentos.

2.4 Ciência Cidadã

O Oxford English Dictionary, em 2014, definia a ciência cidadã como "trabalho científico realizado por membros do público em geral, muitas vezes em colaboração com ou sob a direção de cientistas, profissionais e instituições científicas". Este conceito surge na década de 90, mas é na segunda década do século XXI que começa a ser mais utilizado impulsionado por avanços tecnológicos como sensores de baixo custo, a digitalização crescente da sociedade e a melhoria das capacidades de comunicação dos equipamentos (Vohland et al., 2021). A ciência cidadã é uma das formas mais frequentes de interação entre a comunidade científica e a população, tendo dois objetivos, educacional e científico. O objetivo educacional advém do envolvimento direto do cidadão no processo científico, o que leva a um maior interesse e confiança na ciência e a um maior conhecimento decorrente da participação (Finger et al., 2023). O segundo objetivo é o trabalho científico que a ciência cidadã possibilita, como por exemplo a criação de grandes bases de dados que, de outra forma, seriam impossíveis (Finger et al., 2023). O uso de voluntários para a recolha de dados possibilita amostragem em larga escala e a custos reduzidos.

A ciência cidadã ao permitir que a população entre em contato direto com os dados científicos pode servir como facilitador para que os cidadãos compreendam melhor a ligação entre as suas ações e as consequências para o meio ambiente (Martí et al., 2012). O envolvimento dos cidadãos pode ser feito a partir do momento da definição dos objetivos de investigação, passando pela recolha dos dados até a momentos posteriores como o tratamento e análise de dados (Mahajan et al., 2020). A ciência cidadã tem demonstrado em vários estudos ter bons resultados tanto na monitorização ambiental da qualidade do ar e ruído bem como na consciencialização pública destes mesmos problemas (Abhijith et al., 2024; Manshur et al., 2023a, 2023b; Marquart et al., 2022; Varaden et al., 2021; Zipf et al., 2020).

Num estudo de Mahajan et al., 2020 eram entregues aos participantes sensores de qualidade do ar de baixo custo que seriam usados para realizar amostragens de acordo com os interesses dos participantes, estes podiam focar-se, por exemplo, na qualidade do ar interior investigando como é que as suas rotinas a influenciam, ou no impacto que o congestionamento de estradas tem na qualidade do ar exterior. Para além disso, os participantes eram convidados a apresentar as suas conclusões num momento de discussão no final do estudo. Este envolvimento direto do público nos diferentes passos do processo de monitorização, desde a definição de plano de amostragem até a apresentação de resultados, revelou ótimos resultados na consciencialização ambiental dos mesmos, bem como na promoção de comportamentos mais sustentáveis e que protejam a saúde. Um dos desafios deste tipo de projeto é o facto do público geralmente não ter os conhecimentos necessários para interpretar os dados científicos (M. Gupta & Eden, 2022). Uma determinada concentração de poluentes apenas tem significado se puder ser interpretada como alta, baixa, prejudicial para a saúde ou inofensiva, de outra forma são só números sem significado. Uma das formas a tornar estes dados compreensíveis pelo público é traduzir esta informação quantitativa para dados qualitativos que descrevam a qualidade ambiental. Um dos mecanismos mais usados para este objetivo são índices de qualidade ambiental, que traduzem informação quantitativa para uma escala qualitativa, desta forma os dados são comunicados de uma

forma fácil de entender sem o uso de linguagem demasiadamente técnica (Karatzas, 2009; Rizvi et al., 2020; Selamat et al., 2021).

Contudo, a ciência cidadã apresenta algumas limitações como a baixa fiabilidade dos dados recolhidos pelo público, que podem não estar familiarizados com os requisitos para uma amostragem eficaz, ou a dependência do envolvimento dos voluntários bem como da sua motivação para o processo de amostragem. Isto cria novos desafios para o processo de análise e interpretação de dados (Criscuolo et al., 2023; Speelman et al., 2023). O nível de interesse dos participantes tem uma especial importância, visto que um voluntário desinteressado presta menos atenção às atividades de monitorização, o que pode comprometer os resultados. A quantidade de dados está também dependente do número de participantes e por isso é necessário gerar interesse de forma a alcançar um número de voluntários suficiente. Por fim, se os participantes não estiverem interessados, o processo de aprendizagem que tipicamente decorre da ciência cidadã não será tão eficaz.

A combinação entre jogos sérios e da ciência cidadã tem demonstrado capacidade em motivar os participantes tornando as atividades de amostragem mais cativantes (Speelman et al., 2023). Nesse sentido, a aprendizagem baseada em jogos pode servir como complemento ao uso de sensores ambientais de forma a melhorar o processo de educação ambiental.

2.5 Aprendizagem baseada em jogos

A educação ambiental tem vindo a evoluir de forma a acompanhar as mudanças tecnológicas e sociais. Paralelamente às formas tradicionais de transmissão de informação, como livros, têm surgido outras ferramentas que na sua maioria são ferramentas digitais como vídeos, jogos, simulações, entre outros (Chang & Chen, 2023). Olhando para o impacto destas ferramentas verifica-se um maior alcance de ferramentas digitais que fazem uso de gamificação ou da aprendizagem baseada em jogos (Chang & Chen, 2023).

A gamificação e aprendizagem baseada em jogos são conceitos diferentes, mas facilmente confundíveis. "A gamificação refere-se à transformação de atividades, práticas, sistemas e serviços proporcionando experiências e motivações semelhantes às dos jogos" (Mandujano et al., 2021). A gamificação aplica-se a atividades não relacionadas com jogos, enquanto na aprendizagem baseada em jogos, estes são as ferramentas educacionais. Frequentemente a aprendizagem é vista como desmotivadora e aborrecida em todos os níveis de ensino (Lee et al., 2022), em oposição, os jogos cativam as pessoas durante horas, mantendo o foco no jogo enquanto esperam alcançar o próximo nível ou competem por um prémio (Lee et al., 2022). Os jogos desencadeiam um conjunto de características que são essenciais para uma boa aprendizagem: interesse, competição saudável, cooperação, pensamento orientado para resultados e a procura ativa de informação e de soluções (Lee et al., 2022). A aprendizagem baseada em jogos usa ferramentas motivacionais como sistemas de recompensa, para premiar determinadas atitudes e para motivar o utilizador a continuar a usar o jogo (Lee et al., 2022; Speelman et al., 2023). Essa recompensa pode ser um sistema baseado em pontos ou uma conquista simbólica, como avançar para o próximo nível ou receber uma medalha de uma competição. Espera-se que, ao ser recompensado, o utilizador seja motivado a continuar a jogar, mantendo o interesse (Daniel et al., 2022; Koroleva & Novak, 2020).

Um dos aspetos mais importantes da aprendizagem baseada em jogos é a competição. Essa competição pode ser entre pares, contra o tempo ou até contra si mesmo, tentando alcançar o seu melhor resultado pessoal. Contudo, existem algumas desvantagens: a competição pode criar respostas emocionais negativas que podem ser prejudiciais para o resultado da aprendizagem (Lee et al., 2022), sendo essencial garantir uma competição saudável que seja inclusiva e não promova atitudes negativas entre os jogadores.

São vários os exemplos que demonstram que a aprendizagem baseada em jogos pode ter bons resultados na promoção de atitudes sustentáveis (Chang & Chen, 2023; Koroleva & Novak, 2020; Pombo et al., 2019; Pombo & Marques, 2020; Rodrigues et al., 2022; Rodríguez et al., 2024; Torralba-Burrial & Dopico, 2023). Esta é especialmente impactante em áreas como a eficiência energética ou a poupança de água, visto que nestas áreas é possível focar nas perspetivas individuais dos consumidores e de como as suas ações os podem beneficiar diretamente (Koroleva & Novak, 2020).

Chang & Chen (2023) estudaram o impacto de vários jogos educativos com o tema de educação com crianças em idade escolar e verificaram a sua eficácia como ferramentas de educação ambiental e na promoção de práticas sustentáveis no dia a dia dos utilizadores.

Nos últimos anos, a gamificação e a aprendizagem baseada em jogos tem vindo a ser cada vez mais utilizada conjuntamente com a ciência cidadã, numa perspetiva de motivar os participantes para as tarefas de monitorização, ou de forma a melhorar conhecimento das temáticas em estudo (Speelman et al., 2023). A ciência cidadã geralmente tem facilidade em chegar ao público e gerar interesse na participação, mas tem dificuldade em manter o público empenhado nas tarefas de monitorização (Speelman et al., 2023). Pelo contrário, quando se usa a aprendizagem baseada em jogos (não classificados como educativos) numa fase inicial é mais difícil de chegar ao público, muitas vezes devido a uma falta de seriedade que geralmente está associada a jogos, o que gera ceticismo para com este tipo de ferramentas (Speelman et al., 2023). A ciência cidadã, aliada à aprendizagem baseada em jogos, ajuda a transpor esta barreira, ao adicionar uma vertente científica os jogos tornam-se mais credíveis (Speelman et al., 2023). Esta abordagem e a análise crítica dos dados podem potenciar a conexão entre as causas e as consequências dos problemas ambientais e ajudar a resolver problemas. Por estas razões, o uso de sensores ambientais pode aumentar ainda mais os benefícios da aprendizagem baseada em jogos no que diz respeito à educação ambiental.

2.6 Casos de estudo de uso de sensores ambientais de baixo custo em educação ambiental

Foi realizada uma pesquisa de forma a perceber que trabalhos utilizam sensores ambientais de baixo custo para a promoção da educação ambiental. A pesquisa foi realizada nos motores de busca Google e Google Académico sendo consultados os primeiros 20 resultados de cada pesquisa. As palavras-chave usadas na pesquisa foram: Sensores ambientais de baixo custo e promoção da educação ambiental. A pesquisa foi repetida em português e em inglês. A partir desses resultados foram selecionados os mais relevantes que são discutidos de seguida.

São vários os projetos que utilizam sensores de baixo custo para a promoção de competências para a sustentabilidade.

No projeto coordenado por Silva et al., 2019 intitulado “o Eco-Sensors4Health” utiliza sensores ambientais de baixo custo como o sensor meteorológico (Weather Anemometer Sensor PS-2174); sensor de dióxido de carbono (Carbon Dioxide Gas Sensor, PS-2110); sensor de luminosidade (Light Sensor, PS-2106A); nível sonoro (telemóvel com app SPARKvue) associados a desafios de exploração ambiental as escolas de forma a detetar problemas de saúde ambiental. A informação recolhida é depois usada para criar em colaboração com os participantes soluções para os problemas ambientais. Este projeto demonstrou ter resultados positivos como a melhoria da qualidade do ar interior promovendo uma maior consciencialização quanto a importância de arejamento das salas.

O projeto Air Quality Egg (<https://airqualityegg.com/home>) fornece aos participantes um dispositivo de baixo custo capaz de monitorizar NO₂, CO₂, CO, O₃, SO₂, H₂S, COVs e Partículas bem como uma app onde é possível visualizar, interpretar, transformar graficamente as medições realizadas e ainda comparar com resultados

realizados por outros utilizadores. Adicionalmente são disponibilizados conteúdos educativos adaptados a diferentes níveis de escolaridade de forma a facilitar a aplicação em contexto de sala de aula.

Os projetos CanAirIO (<https://canair.io/>), Smart Citizen (<https://smartcitizen.me/>), AirVisual (<https://www.iqair.com/app/earth>) e Luftdaten (<https://luftdaten.info/>) fornecem *kits* de sensores aos participantes que queiram colaborar na monitorização da qualidade do ar. Os objetivos destes projetos são melhorar a monitorização da qualidade do ar e aumentar a consciencialização da população. Os dados resultantes das medições são partilhados através de uma app móvel na qual se pode ver os resultados das medições de todos os utilizadores.

O projeto Ambient Wood através de percursos educativos em florestas com recurso a sensores pretende contribuir para um melhor processo de aprendizagem incentivando os alunos a explorar e refletir sobre o ambiente que os rodeia (Rogers et al., 2004).

O projeto SchoolAIR utiliza sensores de baixo custo para monitorizar a qualidade do ar interior numa escola secundária numa perspetiva de ciência cidadã onde os alunos tomam parte no processo de desenvolvimento dos sensores bem como na monitorização. O projeto demonstrou ser importante na disseminação de boas práticas de ventilação de espaços bem como útil para o ensino de competências tecnológicas (Barros et al., 2023).

Mahajan et al. (2020) no trabalho intitulado “A citizen science approach for enhancing public understanding of air pollution” implementa uma abordagem ampla baseada em ciência cidadã para melhorar a perceção dos problemas ambientais. Neste projeto recorre-se a recursos educativos como questionários ou mesmo *workshops* para informar o público que é também envolvido em todos os passos de num projeto de ciência cidadã. A definição da área de interesse a monitorizar, a monitorização, e o tratamento de dados são feitos pelos participantes. Adicionalmente os participantes partilham as conclusões do estudo com os restantes num *workshop* final organizado para o efeito. Após o projeto foi possível concluir que a perceção dos participantes da poluição atmosférica melhorou substancialmente.

Abhijith et al. (2024) no trabalho intitulado “Improving air pollution awareness of the general public through citizen science approach” estuda o impacto que um projeto de ciência cidadã pode ter na consciencialização da população. Este projeto instala em edifícios públicos redes de monitorização de qualidade do ar bem como de ecrãs que mostravam os resultados dessa monitorização. Para isso o projeto desenvolveu um índice de qualidade do ar de forma a tornar os resultados compreensíveis para todos os participantes. Para além disso os participantes eram convidados a aprender através de jogos educativos sobre qualidade do ar. O projeto demonstrou ser eficaz na promoção da consciência ambiental, na mitigação dos efeitos da poluição atmosférica e na promoção de comportamentos sustentáveis.

Capítulo 3: Projeto EduCITY

O projeto EduCITY surge na sequência do projeto “EduPARK: Mobile Learning, Realidade Aumentada e Geocaching na Educação em Ciências – um projeto inovador de investigação e desenvolvimento” (referência PTDC/MHC-CED/0722/2014), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia I.P. e pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), no âmbito do COMPETE 2020 - Programa Operacional Competitividade e Internacionalização, de 2016 a 2019. O EduPARK pretendia motivar os alunos para o processo de aprendizagem através de uma aplicação para dispositivos móveis, com recursos educativos com realidade aumentada, geocaching e aprendizagem baseada em jogos no parque da cidade de Aveiro (Pombo et al., 2019). O EduPARK transforma o Parque Infante D. Pedro num laboratório educativo para a promoção de uma cidadania ambientalmente sustentável, através de jogos educativos que consistiam num percurso pelo parque com questões em determinados pontos de interesse, e com desafios de orientação e enigmas (Pombo et al., 2019). A app e as ferramentas nela usadas revelaram ser aliciantes, geradoras de competição saudável e fomentadoras do gosto pela aprendizagem (Pombo et al., 2019).

O projeto “EduCITY – Smart and sustainable cities with Augmented Reality mobile educational games made by and for the Citizens” é financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/CED-EDG/0197/2021, de 2022 a 2025. O EduCITY surge da necessidade de expandir o projeto para além das fronteiras do parque passando o foco para a cidade. O EduCITY visa promover cidades sustentáveis, através de um ambiente de aprendizagem suportado por uma app móvel disponível nas plataformas Google play e App store. A inovação do EduCITY, em relação ao EduPARK, passa pelo uso de todo o território citadino como laboratório de experimentação; o uso de tecnologia inteligente como sensores de baixo custo e de realidade aumentada; a possibilidade de participação dos cidadãos na criação de jogos e conteúdos em realidade aumentada, mesmo sem possuírem competências de programação; a partilha de conhecimento entre escolas, comunidades e universidades; e a escalabilidade do projeto, uma vez que a aplicação pode ser explorada em qualquer território (Pombo et al., 2022).

O EduCITY é assim, um projeto de educação ambiental, que utiliza a aprendizagem baseada em jogos para capacitar os participantes a tomar decisões informadas e a desenvolver ações responsáveis em prol da sustentabilidade ambiental, envolvendo os cidadãos que não são apenas utilizadores, mas também produtores, consumidores e "proprietários" da sua cidade. Este projeto pretende promover a sustentabilidade urbana através do “aprender fazendo”, com jogos sobre património cultural e natural que podem ser explorados pela população, indo ao encontro de algumas das questões mais presentes na literatura sobre cidades inteligentes sustentáveis: promoção do interesse da população nos vários problemas ambientais da sua cidade, promoção da educação ambiental, e envolvimento da população na recolha de dados ambientais (Pombo et al., 2022). Os jogos atuam como motivadores e facilitadores da ação cidadã orientada para a sustentabilidade. A ideia principal é a criação de um ambiente de aprendizagem inteligente, sustentado por uma aplicação móvel com jogos educativos baseados em desafios, com recursos em Realidade Aumentada, com a integração de sensores ambientais de baixo custo, animações 3D, entre outros. O projeto EduCITY conta ainda com 36 placas físicas (Figura 5) localizadas junto de alguns exemplares de árvores consideradas relevantes no que diz respeito ao património natural da cidade de Aveiro, que servem como marcadores de realidade aumentada. Lendo estes marcadores através da app EduCITY é possível aceder a um menu com informação acerca da espécie em questão, como ilustra a Figura 6. A plataforma EduCITY possibilita a criação de recursos em realidade aumentada sobre qualquer tema usando, como marcador que despoleta essa informação, qualquer imagem desde que identificável pelo sistema. Uma imagem como a Figura 7 que serve como marcador de realidade aumentada, ou seja, apontando a camera através app EduCITY para o marcador

despoleta o menu ilustrado na Figura 8 que, neste caso, contém informação sobre qualidade do ar.



Figura 5 - Exemplo de placa física do projeto EduCITY.

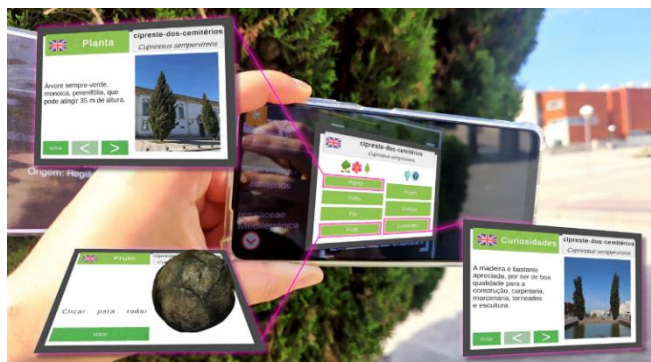


Figura 6 - Exemplo de AR Book despoletado pelas placas físicas do projeto EduCITY.



Figura 7 - Exemplo de marcador natural de realidade aumentada



Figura 8 - Exemplo de AR Book disponível na app EduCITY.

Para além da app, foi desenvolvida a plataforma web a partir da qual se podem criar jogos e conteúdos em realidade aumentada de forma fácil e intuitiva. Estes recursos educativos, criados na plataforma web, são incluídos na app móvel após verificação da validade dos conteúdos por parte da equipa do projeto. Os jogos podem ser, por isso, co-criados pela comunidade escolar, académica e público em geral, e compreendem desafios interessantes e interdisciplinares a serem explorados por qualquer cidadão enquanto percorre uma cidade.

O jogo começa com as direções para encontrar o primeiro ponto de interesse. Quando o jogador chega ao ponto indicado, é apresentada uma breve introdução que contextualiza a questão e pode conter informação necessária para responder corretamente à pergunta. Esta introdução, para além de texto, pode conter recursos multimédia como fotografias, vídeos ou mesmo conteúdos em realidade aumentada. A Figura 10 ilustra um exemplo de uma pergunta que começa com uma introdução que é seguida de um recurso, neste caso, áudio, e da pergunta que tem quatro opções de resposta. Depois da resposta à pergunta, surge feedback imediato e adaptado à resposta do jogador, como ilustra a Figura 12. O feedback também pode incluir recursos multimédia. Para além disso, a aplicação pode ser conectada a sensores ambientais para permitir que os utilizadores recolham dados durante o jogo. A Figura 13 apresenta a interface dos sensores ambientais na app EduCITY a partir da qual o utilizador pode observar os resultados das medições efetuadas pelos sensores ambientais de baixo custo. A Figura 11 apresenta o exemplo de uma pergunta que necessita de um sensor de ruído para se poder responder corretamente. Depois de responder a todas as perguntas de um ponto de interesse, a app volta a dar direções para chegar ao próximo ponto. Chegando ao final do jogo, a app apresenta a pontuação obtida, como ilustra a Figura 14.

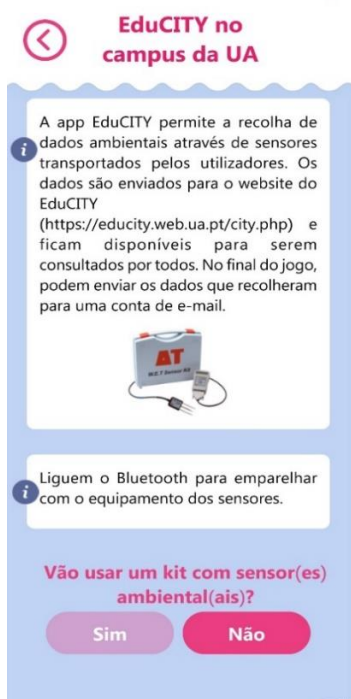


Figura 9 - Menu da app EduCITY para ligação da app aos sensores de baixo custo.



Figura 10 - Exemplo de pergunta com integração de recurso áudio.

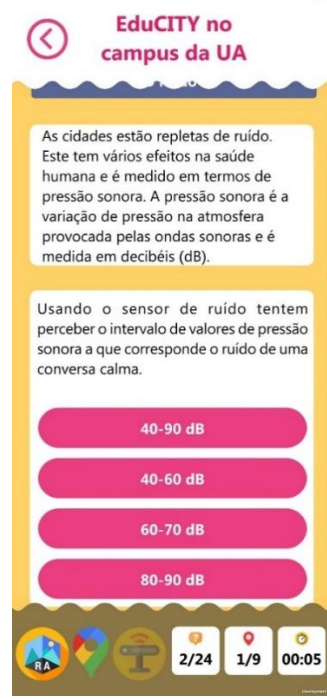


Figura 11 - Exemplo de pergunta que pressupõe o uso de sensor de ruído.



Figura 12 - Exemplo de feedback positivo que é apresentado ao jogador depois de responder corretamente a uma pergunta.



Figura 13 - Interface da app com sensores ambientais a partir dos qual o utilizador acede aos resultados dos sensores de baixo custo.



Figura 14 - Painel final de jogo com resumo dos resultados, pontuação final e tempo total de jogo.

Ao longo da duração do projeto, foram realizadas várias atividades, onde turmas de alunos, desde o ensino básico até ao secundário, bem como membros da comunidade eram convidados a jogar com a app, sendo as melhores equipas premidas no final da atividade. Para além disso, o projeto esteve presente em atividades de ensino não-formal e para o público em geral, como a Noite Europeia dos Investigadores com o objetivo da divulgação da app, bem como dos seus conteúdos educativos e ainda em diversas oficinas de formação para professores.

A missão do EduCITY é muito mais do que um projeto tradicional de investigação e desenvolvimento. É um projeto desafiador e ambicioso em que os cidadãos se comprometem com a transformação e se envolvem nele em benefício da qualidade de vida e sustentabilidade das cidades (Pombo et al., 2022).

O projeto conta com uma equipa multidisciplinar com elementos das áreas da Educação, Biologia, Engenharia do Ambiente, Artes, Multimédia, Informática e com a colaboração de várias unidades de investigação: CIDTFF – Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores (unidade de investigação principal), Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Centro de Investigação em Média Digitais e Interação (DigiMedia) e Instituto de Engenharia Eletrónica e Informática de Aveiro (IEETA). Esta abordagem multi e interdisciplinar permite uma visão holística dos conceitos de sustentabilidade.

3.1.1 Sensores ambientais de baixo custo no projeto EduCITY

A integração de sensores ambientais no projeto EduCITY têm o objetivo de acompanhar o processo de aprendizagem com recurso a jogos educativos sobre as temáticas de qualidade do ar e ruído. Durante o jogo, o utilizador é convidado a experimentar, na prática, aquilo que está a aprender. Por exemplo, ao aprender que os

carros são uma das principais fontes de ruído nas cidades, o utilizador verifica a diferença da intensidade sonora entre uma rua movimentada e um parque urbano numa perspetiva de aprender fazendo.

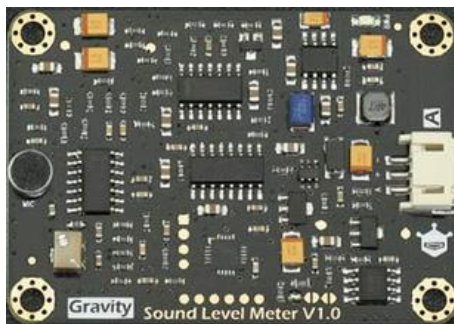


Figura 15 - Sensor de ruído SEN0232
Gravity: Analog Sound Level Meter

O sensor de ruído adquirido pelo projeto EduCITY foi o SEN0232 Gravity: Analog Sound Level Meter (Figura 15). Este equipamento tem um tamanho reduzido (60 mm por 43 mm) o que torna possível a sua utilização como um sensor móvel e facilita a sua incorporação numa *sensor box* (caixa que integra um ou mais sensores). O sensor tem um baixo consumo energético o que torna possível que a fonte de alimentação seja uma bateria (DFROBOT, n.d.-b). Para além disso a o sensor tem uma gama de medição de 30 dB(A) a 130 dB(A) que se enquadra dentro da escala de valores comumente medidos numa cidade e daquilo que é detetável pelo ouvido humano e o limiar da dor (DFROBOT, n.d.-b). O sensor tem uma incerteza de medição de mais ou menos 1,5 dB e o um tempo de aquisição até 125 milissegundos (DFROBOT, n.d.-b). O sensor está equipado com um microfone condensador de eletreto analógico. Este quando exposto a ruído gera um sinal elétrico. Este sinal é uma diferença de potencial que varia entre 0,6 V e 2,6 V. Este sinal é avaliado pelo equipamento que o concerte o sinal através da equação 1 para um valor de intensidade sonora.

$$\text{Intensidade sonora [dB(A)]} = \text{Diferença de potencial} * 50] \quad \text{Equação 1}$$



Figura 16 - Sensor de partículas Plantower
PMS5003.

O sensor de qualidade do ar adquirido pelo projeto EduCITY foi o sensor partículas Plantower PMS5003 (Figura 16). Este equipamento também tem um tamanho reduzido (50 mm por 38 mm por 21 mm) o que facilita a sua incorporação num sensor box. Segundo o fabricante tem uma capacidade de deteção de partículas maiores do que 0.3 μm , uma eficiência de contagem de partículas de 98% para tamanhos acima de 0,5 μm , um intervalo de medição eficiente de 0 até 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2.5}$, uma incerteza de medição de mais ou menos 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para concentrações de $\text{PM}_{2.5}$ entre 0 e 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e de mais ou menos 10% para concentrações ente 100 e 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (DFROBOT, n.d.-a).

Este equipamento funciona pelo princípio da dispersão de laser. A Figura 17 apresenta o esquema de funcionamento do sensor segundo este método. O ar é circulado por uma ventoinha através de uma cavidade de medição de dispersão de luz onde um feixe laser irradia a amostra. A dispersão da luz causada pelas partículas é medida e por fim, através da curva de dispersão de luz obtida, o equipamento calcula a concentração de partículas diferenciando-as por tamanho (DFROBOT, n.d.-a).

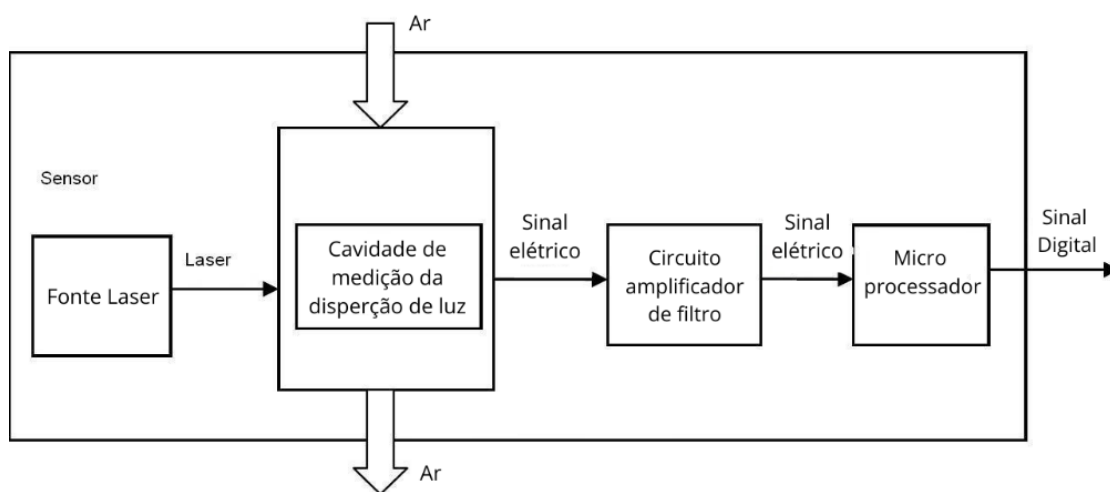


Figura 17 - Esquema de funcionamento do sensor de partículas Plantower PMS5003.

Os sensores de baixo custo foram ligados a um microcontrolador ESP32 que permite visualizar os dados no momento da sua medição através de um display e permite a comunicação dos dados com outros dispositivos via WiFi ou Bluetooth. Estes equipamentos encontram-se instalados na forma de uma sensor-box com duas superfícies, superior e inferior, em acrílico, deixando abertas as laterais da caixa de forma a minimizar interferências nas medições. O projeto EduCITY dispõe de três sensor boxes para a medição de partículas (Figura 18) às quais se atribuiu a designação PM_1 PM_2 e PM_3 e duas sensor boxes para medição de ruído (Figura 19) às quais se atribuiu a designação SOM_1 e SOM_2.



Figura 18 - Sensor de partículas PM_X.



Figura 19 - Sensor de ruído SOM_X.

A placa ESP32 foi programada de forma a permitir o envio dos dados em contínuo e a definição da frequência de aquisição de dados dos equipamentos no intervalo de tempo pretendido. A placa ESP32 tem também associada uma bateria recarregável que permite a utilização remota do equipamento com uma autonomia de pelo menos quatro horas.

A aquisição dos dados é feita pelo sensor, esse valor é depois lido pela placa ESP 32 que posteriormente envia o valor via Bluetooth para o dispositivo móvel. O dispositivo móvel faz a aquisição dos dados através da aplicação EduCITY, que os regista e envia para a plataforma Web EduCITY onde podem ser acedidos. Com os dados de amostragem a app EduCITY também registada a data, hora e localização do dispositivo móvel no momento da amostragem.

3.1.2 Caso de estudo: Cidade de Aveiro

Aveiro é uma cidade do litoral centro de Portugal caracterizada pela sua proximidade à ria de Aveiro, cujos canais atravessam a cidade. Aveiro é uma cidade de média dimensão com cerca de 81 000 habitantes e uma área total de aproximadamente 197 km² que se dividem em 10 freguesias. Aveiro, tal como o resto do país, tem um clima mediterrâneo com uma temperatura média de 15°C e uma humidade relativa média anual que varia entre os 79 e 88% (Borrego et al., 2016). Aveiro situa-se a sul da área metropolitana do Porto, a 57 km da cidade e a 52 km a norte de Coimbra situando-se assim entre duas grandes áreas urbanas. Estas cidades encontram-se bem conectadas com a cidade de Aveiro através de vias ferroviárias e rodoviárias, fator que é gerador de grandes interações económicas e sociais.

O centro da cidade é delimitado a Oeste pela ria de Aveiro e a Este pela linha de comboio. É nesta zona que se tem verificado a maior expansão urbanística. A Nordeste da cidade nas freguesias de Esgueira e Cacia existem zonas industriais significativas.

As deslocações realizadas dentro do concelho são feitas na sua grande maioria por automóvel totalizando 68% das deslocações, seguindo-se de deslocações a pé com 17% e autocarro com 9% (Rei et al., 2019). Outras modalidades com 2 rodas, que incluem tanto motos como bicicletas, e outros, como comboio, apresentam valores inferiores. Verificou-se que entre 2001 e 2011 houve um aumento de 15 pontos percentuais no número de deslocações realizadas por automóvel, e uma diminuição do uso do autocarro, de duas rodas e de deslocações a pé (Rei et al., 2019).

Aveiro dispõe de duas redes de monitorização ambiental, a rede Aveiro STEAM City estação de referência da rede de monitorização da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (CCDRC)

O projeto Aveiro STEAM City desenvolveu no território uma infraestrutura de comunicações sem fios através da instalação de 44 pontos de comunicação que criam as condições necessárias para a instalação de sensores (Rito et al., 2023). Esta rede serve de ligação entre vários sensores que usam a rede Aveiro STEAM City para comunicar os resultados. Alguns dos sensores que fazem parte da rede Aveiro STEAM

City são sensores de mobilidade em bicicletas, sensores de mobilidade (GPS, Lidars e Radars), sensores instalados em veículos de transporte público e de recolha de lixo (velocidade, localização, direção, temperatura e nível de ruído) (Rito et al., 2023).

O projeto STEAM City conta ainda com uma rede de sensores ambientais em 9 locais de amostragem que contam com sensores de qualidade do ar e ruído e estações meteorológicas em 2 (Graça et al., 2023). As estações de monitorização são as seguintes:

- CETA – Círculo Experimental de Teatro de Aveiro
- Capela de N.S. da Alegria
- Estação de Comboios CP
- Museu de Arte Nova
- Biblioteca Municipal (estação meteorológica)
- Casa dos Morgados da Pedricosa
- Centro de Congressos
- Universidade de Aveiro, Edifício da Antiga Reitoria
- Bombeiros Velhos de Aveiro (estação meteorológica)

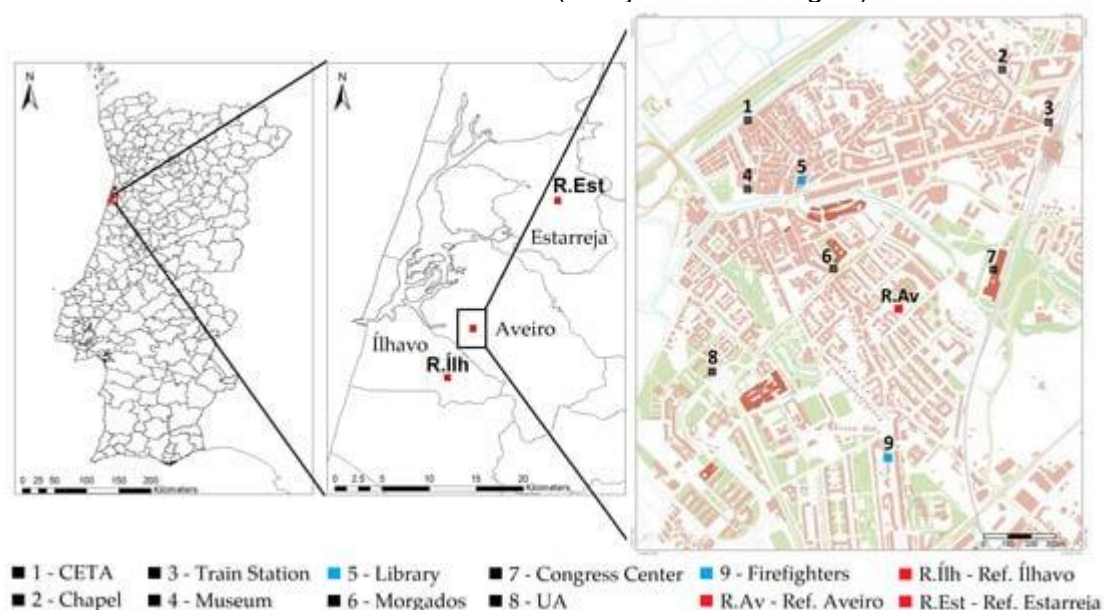


Figura 20 - Localização da rede de sensores STEAM City de qualidade do ar, ruído (azul e preto) e meteorologia (azul) de estações de referência (Graça et al., 2023).

A localização dos sensores foi escolhida tendo em conta fatores como acesso a eletricidade, minimização da exposição a elementos meteorológicos, evitar proximidade a fontes de poluição, proximidade às principais artérias, parques de estacionamento e zonas turísticas, entre outros (Graça et al., 2023). O resultado foi a instalação dos sensores ou no topo ou na lateral dos edifícios a uma altura que varia entre os 2 e os 15 metros. Os sensores STEAM City estão equipados com sensores de PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , NO , e CO e ruído (Graça et al., 2023).

Para além da rede STEAM City Aveiro tem uma estação de medição de qualidade do ar de referência que está integrada na rede de medição de referência portuguesa e é gerida pela CCDRC) classificada como uma estação urbana de tráfego (Graça et al., 2023). Esta estação está localizada na Escola Secundária José Estevão junta à movimentada Avenida 25 de Abril. Nesta estação realizam-se medições dos poluentes PM_{10} , NO_2 , NO , NO_x e CO desde 2003.

Em 2021, a zona Aveiro/ Ílhavo teve um total de 93 dias com uma qualidade do ar muito boa, 186 boa, 76 média e 10 fraca segundo o índice de qualidade do ar APA. Relativamente à concentração de partículas PM_{10} verificaram-se 8 excedências ao valor

limite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2021, valor que baixou para 3 em 2022. A Figura 21 a concentração média diária de partículas medida na estação de referência de Aveiro no ano de 2022.



Figura 21 - Concentração média diária de partículas para o ano 2022 avaliada pela estação de medição de qualidade do ar de Aveiro da Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro (APA, 2023a).

Capítulo 4: Implementação dos sensores ambientais de baixo custo

4.1 Operacionalização de sensores de baixo custo

O primeiro passo na implementação dos sensores PM e SOM começou pela exploração do seu funcionamento. Era necessário compreender como estes funcionavam, como funciona a recolha de dados e como estes podem ser extraídos dos sensores. Inicialmente foi avaliada a possibilidade de ligação dos sensores a um dispositivo móvel via Bluetooth através da aplicação “Serial Bluetooth Terminal”. Esta revelou-se insuficiente uma vez que tinha uma capacidade de registo de dados muito curta, o que fazia com que se perdessem dados quando se realizava uma amostragem com mais do que 20 recolhas de dados. De seguida foi avaliada a viabilidade da recolha de dados ser realizada via WiFi através do servidor “Thingspeak”. Contudo esta opção também apresentou grandes limitações visto que apenas permitia a utilização de um sensor de cada vez e que o limite do número de dados que o servidor armazenava era insuficiente perdendo-se parte dos dados em amostragens superiores a 30 minutos. Não havendo outra opção para a extração dos dados dos sensores concluiu-se que os sensores não eram capazes de realizar as recolhas de dados pretendidas. Verificou-se ainda que a frequência de aquisição de dados dos sensores era muito alta, na ordem de uma recolha por segundo. Uma frequência de medição tão alta pode tornar difícil a leitura e compreensão dos dados para os utilizadores dos sensores em contexto de jogo educativo.

Então, em conjunto com a equipa do projeto EduCITY colaborou-se no desenvolvimento e reprogramação dos sensores e da app EduCITY de forma possibilitar

a ligação dos sensores à app que esta registasse os dados recolhidos juntamente com a hora e a localização do dispositivo móvel no momento da recolha. Os sensores foram programados de forma a enviarem os dados para a app EduCITY sempre que o sensor realizasse uma recolha de dados. Para além disso os sensores foram programados de forma a possibilitar a alteração da frequência de aquisição de dados. Assim os sensores passaram a integrar as recolhas realizadas fazendo a média aritmética dos valores recolhidos para o intervalo de tempo pretendido.

Uma vez terminado o desenvolvimento dos sensores e da app EduCITY, foi realizado um novo teste de forma a avaliar a comunicação e registo dos dados estava a ser feita corretamente através do novo sistema não tendo sido verificados erros tanto na transmissão dos dados como no registo dos mesmos.

4.2 Avaliação do desempenho de sensores de baixo custo de qualidade do ar

A utilização dos sensores de baixo custo na avaliação da de qualidade do ar promete mudar o panorama da monitorização da qualidade do ar. Contudo, muitas vezes estes apresentam elevados níveis de incerteza, com pouca exatidão nos resultados e um desvio crescente ao longo do tempo de utilização (Narayana et al., 2022). Vários trabalhos confirmam a exequibilidade da implementação de sensores de baixo custo. No entanto, a exposição dos sensores a fatores ambientais como humidade ou temperatura variáveis e a poluentes variados conforme ocorrem em muitas áreas urbanas influencia negativamente a qualidade dos resultados medidos (Borrego et al., 2016; Narayana et al., 2022). Em vários estudos de avaliação deste tipo de sensores apenas alguns foram capazes de cumprir níveis de referência de agências regulatórias como a Agência Europeia do Ambiente ou a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (Narayana et al., 2022). Por estas razões é consensual que o uso que o de sensores de baixo curso requer uma caracterização prévia de forma a garantir que estes cumprem os requisitos das medições a efetuar (Morawska et al., 2018).

Segundo Narayana (2022) existem 4 passos na implementação de redes de medição de qualidade do ar com sensores de baixo custo.

- 1- Seleção de sensores de acordo com as condições e necessidades de amostragem.
- 2- Calibração os sensores em laboratório com condições ambientais controladas e diferentes concentrações. Uma vez concluída deve ser realizados testes para avaliar o desempenho dos sensores (precisão e exatidão) e se não for satisfatória deve ser repetida a calibração.
- 3- Calibração de sensores no campo e avaliação de desempenho relativo a sensores de referência ou outros sensores.
- 4- Análise frequente durante o uso dos sensores de forma a identificar necessidades de recalibração.

No âmbito desta dissertação não foi possível realizar calibração dos sensores PM uma vez que estes não o permitem. Para além disso e por falta de disponibilidade de equipamentos não foi possível comparar os sensores com atmosferas padrão, com outros equipamentos e com métodos referência em condições controladas.

Metodologias de comparação de sensores de baixo custo

Segundo Karagulian et al. (2019) e Narayana et al. (2022) existem vários protocolos desenvolvidos por várias instituições para avaliação do desempenho de sensores de baixo custo, contudo, estes estabelecem diferentes requisitos de amostragem, metodologias de tratamento dos dados, durações dos ensaios e sazonalidades. Por haver uma diversidade tão grande de protocolos de teste é difícil fazer

a comparação dos resultados de diferentes artigos (Karagulian et al., 2019; Narayana et al., 2022). Segundo Narayana et al. (2022) quando possível a avaliação dos sensores de baixo custo em campo deve ser realizada através posicionamento dos sensores de baixo custo o mais próximo possível dos sensores a comparar de forma a estarem expostos às mesmas condições de amostragem. Os sensores de baixo custo devem ser posicionados entre 1 e 4 metros de distância dos sensores a comparar. Posteriormente os resultados obtidos pelos diferentes sensores são comparados de forma a avaliar a exatidão dos mesmos. Os testes estatísticos mais comuns para comparação de sensores de baixo custo e sensores de referência/outras redes de sensores são o coeficiente de correlação linear, e coeficiente de correlação de spearman sendo estes testes estáticos que necessitam de um elevado número de resultados que cubram a gama de detecção dos equipamentos (Castell et al., 2017; Moltchanov et al., 2015; Narayana et al., 2022; Rogulski & Badyda, 2020; van Zoest et al., 2019).

Os sensores PM têm como objetivo comunicar com público dados ambientais através de um índice de qualidade do ar. Para o utilizador dos sensores os dados em bruto têm pouco significado sendo mais relevante o índice de qualidade do ar resultante uma vez que esse representa informação compreensível e, por isso, importa avaliar a exatidão do índice resultante das medições dos sensores EduCITY PM. Um índice classifica a concentração de poluentes segundo intervalos fixos, ou seja, uma diferença de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pode resultar numa classificação diferente segundo o índice de qualidade do ar. Mesmo que os resultados sejam semelhantes (baixo desvio absoluto), o índice resultante pode ser diferente e por isso, poderão ser considerados satisfatórios resultados que estiverem um nível acima ou abaixo índice obtido através dos sensores com o qual foi comparado.

Frequência de aquisição de dados

No âmbito deste trabalho, o uso de sensores ambientais em jogos educativos teve o objetivo comunicar o estado da qualidade do ar aos participantes. Essa comunicação no projeto EduCITY é feita por meio de um índice de qualidade do ar. Se a frequência de aquisição de dados for muito alta os participantes terão dificuldade em ler e compreender a informação que lhes é apresentada. Se a variabilidade dos resultados for muito alta, ou seja, se os resultados mostrarem grandes variações com picos de concentração podem transmitir ideias erradas uma vez que um índice de qualidade do ar não é relativo a picos momentâneos de concentração de poluentes, mas a horizontes temporais mais alargados. Adicionalmente, espera-se que, através dos sensores, os participantes sejam capazes de relacionar a poluição atmosférica com as diferentes fontes e de conseguir refletir sobre a concentração de poluentes em diferentes contextos urbanos. Uma frequência de amostragem muito alta poderia levar à detecção de alterações pontuais, que não refletem a qualidade do ar e um dado local e que se podem dever a situações pontuais, não refletindo os fatores de fundo que se pretendia que estes avaliassem de forma que os participantes conseguissem alcançar os objetivos do uso dos sensores. É por isso necessário comparar o desempenho dos sensores para diferentes frequências de aquisição de dados, comparando o seu desempenho e sensibilidade de forma a assegurar que os resultados cumprem os requisitos estabelecidos.

Para além de avaliar a exatidão dos equipamentos é importante avaliar a sua precisão através da comparação do desvio entre os sensores. Adicionalmente e uma vez que é possível definir a frequência de aquisição de dados é necessário perceber a frequência que melhor se adequa para as atividades a desenvolver. O desvio padrão e o coeficiente de variação são utilizados para testar a repetibilidade e reprodutibilidade na comparação entre sensores de baixo custo (Narayana et al., 2022).

4.2.1 Metodologia de avaliação do desempenho dos sensores PM

A comparação dos sensores de qualidade do ar EduCITY teve 2 partes:

- 1- Comparação entre os sensores PM₁ PM₂ e PM₃ para diferentes frequências de aquisição de dados;
- 2- Comparação dos sensores PM com sensores de referência com sensores de baixo custo da rede Aveiro STEAM City.

Metodologia de amostragem para comparação entre os sensores PM₁ PM₂ e PM₃ para diferentes frequências de aquisição de dados

De forma a comparar o desempenho dos sensores PM para diferentes frequências de aquisição de dados procedeu-se à comparação dos resultados dos 3 sensores PM. Esta comparação foi feita em ambiente interior com porta aberta e janelas fechadas. A amostragem foi realizada num gabinete de trabalho com grandes dimensões do Departamento de Educação da Universidade de Aveiro com 3 pessoas presentes no local. Os 3 sensores foram posicionados lado a lado longe dos ocupantes da sala e realizaram-se amostragens com pedidos de registo de 20 segundos, 1 minuto, 5 minutos, 7 minutos e 10 minutos realizando-se as amostragens sequencialmente por esta ordem. A duração da amostragem foi diferente para cada frequência sendo 7 minutos, 15 minutos, 1 hora, 1 hora e 20 minutos e 1 hora e 40 minutos respetivamente. Cada amostragem para cada frequência de aquisição de dados foi repetida 3 vezes em dias diferentes. A Tabela 4 resume as amostragens realizadas para cada frequência de amostragem.

Tabela 4 - Resumo das amostragens para avaliação da frequência de amostragem dos sensores PM

Período de registo	Frequência de aquisição de dados [amostragens/minuto]	Duração total de amostragem	Nº de dados recolhidos
20 segundos	3,00	7 minutos	21
1 minuto	1,00	15 minutos	15
5 minutos	0,20	1 hora	12
7 minutos	0,14	1 hora e 20 minutos	11
10 minutos	0,10	1 hora e 40 minutos	10

Metodologia de tratamento de dados para comparação entre os sensores PM₁ PM₂ e PM₃ para diferentes frequências de aquisição de dados

O tratamento dos dados relativos à comparação entre os sensores PM₁ PM₂ e PM₃ começou pela representação dos resultados através de diagramas de caixa e bigodes por cada dia de amostragem e por frequência de aquisição de dados. A partir destes gráficos foram analisados os padrões de funcionamento de cada sensor. De forma a analisar a dispersão dos resultados foi calculado o desvio padrão de cada amostragem e o desvio padrão médio para cada frequência de aquisição de dados e para cada sensor através do programa Microsoft Excel. Os resultados do desvio padrão médio foram representados graficamente com diagramas de barras. Posteriormente foram representados com diagramas de caixa e bigodes os resultados das amostragens com um período de registo de dados de 5, 7 e 10 minutos por frequência de amostragem de forma a possibilitar a comparação dos resultados dos vários sensores para a mesma frequência. A partir dos dados destas amostragens foi calculada a amplitude de cada amostragem através da diferença entre o valor máximo e mínimo.

Os cálculos cuja fórmula não surge discriminada, foram realizados através do software Microsoft Excel.

Depois de conhecido o comportamento dos sensores PM para diferentes frequências de aquisição de dados, e de se identificar a frequência que melhor se ajusta às necessidades de um projeto de ciência cidadã, procedeu-se à avaliação da exatidão dos sensores.

Metodologia de amostragem para comparação dos sensores PM com sensores de referência com sensores de baixo custo da rede Aveiro STEAM City.

A avaliação dos sensores PM foi realizada seguindo a metodologia proposta por Narayana et al. (2022) através da comparação dos sensores PM com sensores da rede Aveiro STEAM City e com a estação de referência de monitorização da qualidade do ar da CCDRC.

A amostragem de partículas PM₁₀ e PM_{2,5} foi realizada em 4 pontos da rede STEAM City: a estação de comboios pela sua importância do local em contexto urbano e por ser um foco de tráfego rodoviário, o Museu de Arte Nova por se localizar no centro da cidade, a Casa dos Morgados pela sua localização próxima de uma das artérias mais movimentadas da cidade e nos Bombeiros velhos de Aveiro por estarem localizados numa rua com alta intensidade de tráfego rodoviário próximos de semáforos onde se verifica acumulação de tráfego. Estes pontos estão assinalados na Figura 22. A escolha destes locais permitiu uma amostragem em vários pontos representativos centro de Aveiro. A escolha dos pontos de amostragem teve também em conta o estado de funcionamento dos sensores da rede STEAM City que, por vezes, por falhas de equipamento, se encontram fora de serviço. Inicialmente estava pensada a realização de amostragem noutros pontos da rede que por esse mesmo motivo não foram realizadas. Para além disso foram realizadas amostragens junto da estação de referência de monitorização da qualidade do ar da CCDRC. As amostragens foram realizadas de forma que os sensores se localizassem o mais próximo possível dos sensores com os quais se pretendia comparar. A Figura 23 ilustra o posicionamento dos sensores Aveiro STEAM City em relação aos sensores PM durante a amostragem na estação de comboios. Os sensores foram sempre posicionados lado a lado e, quando possível, colocaram-se os sensores numa superfície horizontal, como ilustra a Figura 24. Nos casos em que isso não foi viável, os sensores foram posicionados em uma superfície horizontal segurada com as mãos à altura do tronco durante o período de amostragem. Os sensores da STEAM City encontram-se a uma altura que varia entre os 2 e os 15 metros e, por isso, por vezes não foi possível realizar a amostragem à distância máxima aconselhada de 4 metros. No caso da estação referência os sensores foram posicionados dentro da distância definida. A Tabela 5 resume a informação sobre cada amostragem realizada nomeadamente: local, hora, data, condições meteorológicas, e observação de ocorrências que possam ter afetado a amostragem. As condições meteorológicas foram obtidas em <https://climetua.fis.ua.pt/>.

A rede Aveiro STEAM City são fornece as concentrações médias para intervalo de 5 minutos. Para cada ponto a amostragem com os sensores PM foi de pelo menos 15 minutos de forma a se obter pelo menos 3 replicas comparáveis com os sensores da rede STEAM City. O sensor de referência da CCDRC fornece médias horarias e por isso a amostragem neste ponto foi realizada para um período mais alargado de, pelo menos, meia hora. Este processo foi repetido três vezes em dias diferentes. O período de aquisição de dados utilizado pelos sensores PM foi de 5 minutos.

Tabela 5 - Resumo das amostragens realizadas para comparação dos sensores PM com a rede Aveiro STEAM City e outras informações relevantes.

Local	Data e hora	Condições meteorológicas	Notas
--------------	--------------------	---------------------------------	--------------

Estação Comboios	28/07/2023 10:35 - 10:50	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 81%	Prédio em construção próximo do local de amostragem
	06/09/2023 12:25 – 12:40	Quase sem nuvens, Temperatura 27°C, Humidade relativa 65%	Prédio em construção próximo do local de amostragem
	11/07/2024 10:00 – 12:20	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 96%	Dois prédios em construção próximos do local de amostragem
Museu de Arte Nova	28/07/2023 11:50 – 12:10	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 80%	Rua encontrava-se cortada e em obras
	06/09/2023 14:25 – 14:40	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 56%	Rua encontrava-se cortada e em obras
	11/07/2024 11:05 – 11:25	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 89%	Baixo tráfego rodoviário e intenso aroma a comida
Casa dos Morgados da Pedricosa	28/07/2023 13:59 – 14:14	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 85%	Intensidade de tráfego rodoviário moderada
	06/09/2023 14:30 – 14:45	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 54%	Intensidade de tráfego rodoviário moderada
	11/07/2024 11:45 – 12:00	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%	Intensidade de tráfego rodoviário moderada
Estação de Referência de Qualidade do ar da CCDRC	28/07/2023 13:15 – 13:45	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Rua encontrava-se cortada e em obras
	06/09/2023 17:11 – 17:39	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 54%	Rua encontrava-se cortada e em obras
	07/09/2023 16:40 – 17:30	Quase sem nuvens, Temperatura 26°C, Humidade relativa 71%	Rua encontrava-se cortada e em obras
	11/07/2024 13:30 – 14:00	Encoberto, Temperatura 23°C, Humidade relativa 85%	Baixa intensidade de tráfego rodoviário
Bombeiros Velhos	28/07/2023 15:01 – 15:15	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 86%	Alta intensidade de tráfego rodoviário
	07/09/2023 15:00 – 15:35	Quase sem nuvens, Temperatura 26°C, Humidade relativa 71%	Alta intensidade de tráfego rodoviário
	11/07/2024 14:25 – 14:45	Encoberto, Temperatura 22°C, Humidade relativa 80%	Estrada parcialmente

			cortada devido a obras
--	--	--	------------------------



Figura 22 - Pontos de amostragem para comparação dos sensores PM com outras redes de sensores.



Figura 23 - Exemplo da disposição dos sensores durante as amostragens realizadas na Estação CP.



Figura 24 - Disposição dos sensores PM durante as amostragens realizadas na Estação CP.

Metodologia de tratamento de dados para comparação dos sensores PM com sensores de referência com sensores de baixo custo da rede Aveiro STEAM City.

Foi determinado o índice de qualidade do ar EduCITY a partir dos resultados da rede Aveiro STEAM City, da estação de referência de os sensores PM. Para isso foi necessário desenvolver o índice de qualidade do ar EduCITY, alterando a cronologia definida inicialmente para esta dissertação. Esse desenvolvimento surge descrito no Capítulo 5. De forma a compara os resultados das redes de sensores foi calculada a percentagem de valores com índice igual ao índice com o qual se pretendia comparar através da Equação 1.

$$\text{Índice igual (\%)} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de amostragens com índice igual ao obtido através dos sensores STEAM City/de referência}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de amostras}} * 100 \quad \text{Equação 1}$$

Foi ainda calculada a percentagem de resultados dos sensores PM que resultaram num índice igual, ou um nível acima/abaixo do obtido a partir das outras redes de sensores. Esta comparação, à qual se atribuiu a designação de concordância, foi realizada através da Equação 2.

$$\text{Concordância (\%)} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de amostragens com índice igual ou um nível abaixo/acima do obtido através dos sensores STEAM City/de referência}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de amostras}} * 100 \quad \text{Equação 2}$$

De forma a avaliar a exatidão, calculou-se o desvio absoluto de todos os resultados através da Equação 3.

$$Desvio\ Absoluto = \left| \frac{Resultado\ sensor}{PM} - \frac{Resultado\ sensor\ STEAM\ City}{ou\ de\ referência} \right| \quad \text{Equação 3}$$

Foi ainda calculado o desvio absoluto médio de cada sensor através da equação 4.

$$Desvio\ absoluto\ médio\ sensor\ PM = \frac{\sum desvio\ abosluto\ amostragens\ sensor\ PM}{n^o\ total\ de\ amostragens} \quad \text{Equação 4}$$

E o desvio absoluto médio de todas as amostragens para um determinado dia e local através da equação 5

$$Desvio\ absoluto\ médio\ amostragem = \frac{\sum desvio\ abosluto\ amostragens\ num\ determinado\ dia\ e\ local}{n^o\ total\ de\ amostragens} \quad \text{Equação 5}$$

Por fim foram comparados os resultados do grau de concordância e do desvio absoluto para cada dia de amostragem através do cálculo da concordância média e do desvio absoluto médio para todas as amostragens de um determinado dia com de forma a avaliar a influência das condições de amostragem nos resultados dos sensores PM.

4.2.2 Resultados - frequência de aquisição de dados dos sensores PM

Os resultados das amostragens realizadas para a avaliação da frequência de aquisição de dados dos sensores PM_1, PM_2 e PM_3 foram representados graficamente através de diagramas de caixa e bigodes utilizando o programa Microsoft Excel. Estes resultados estão apresentados na Figura 25 até à Figura 30.

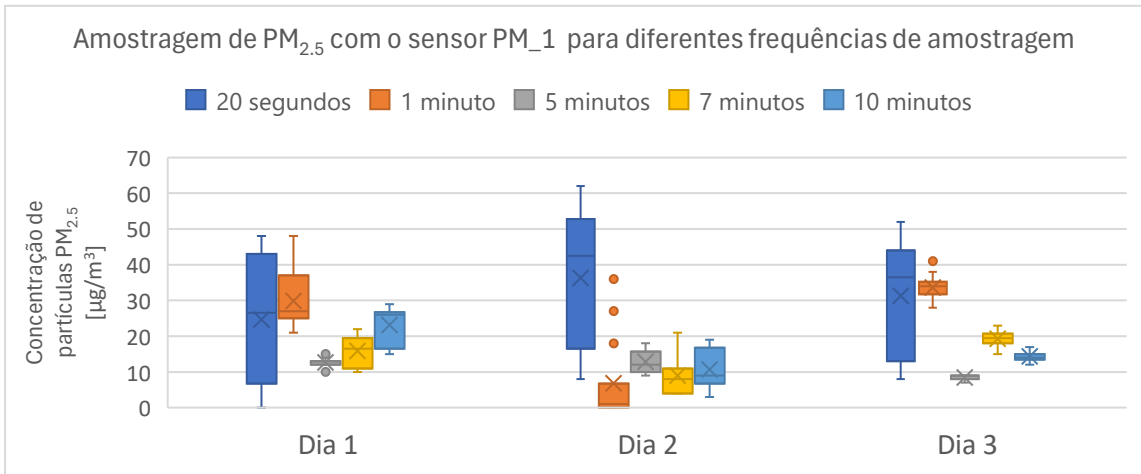


Figura 25 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_1 para partículas PM_{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.

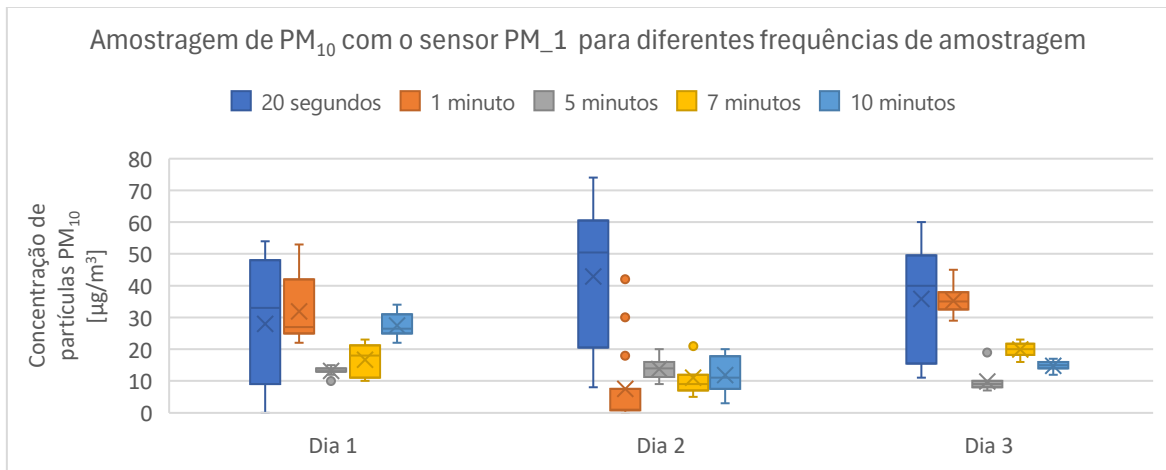


Figura 26 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_1 para partículas PM₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.

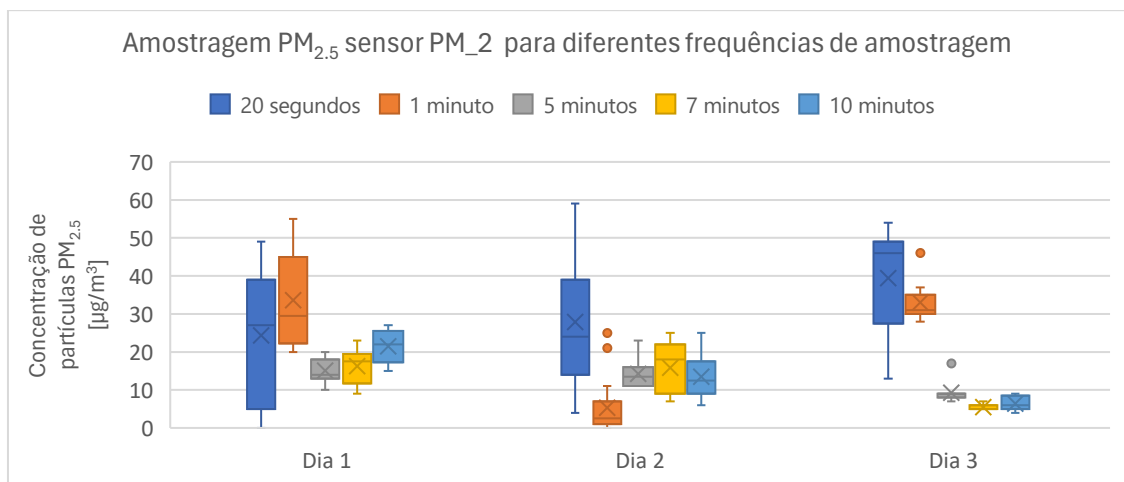


Figura 27 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM_2 para partículas PM_{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.

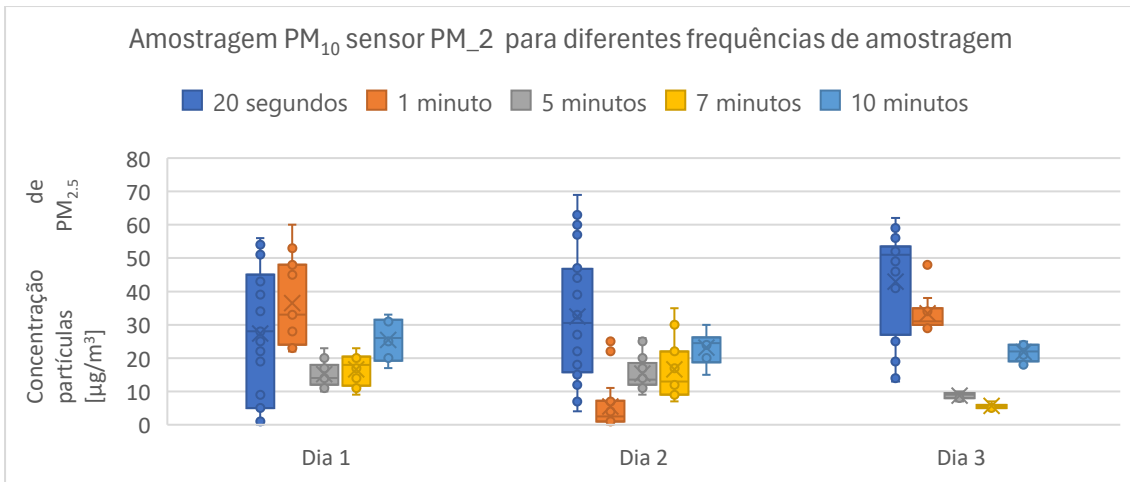


Figura 28 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM₂ para partículas PM₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.

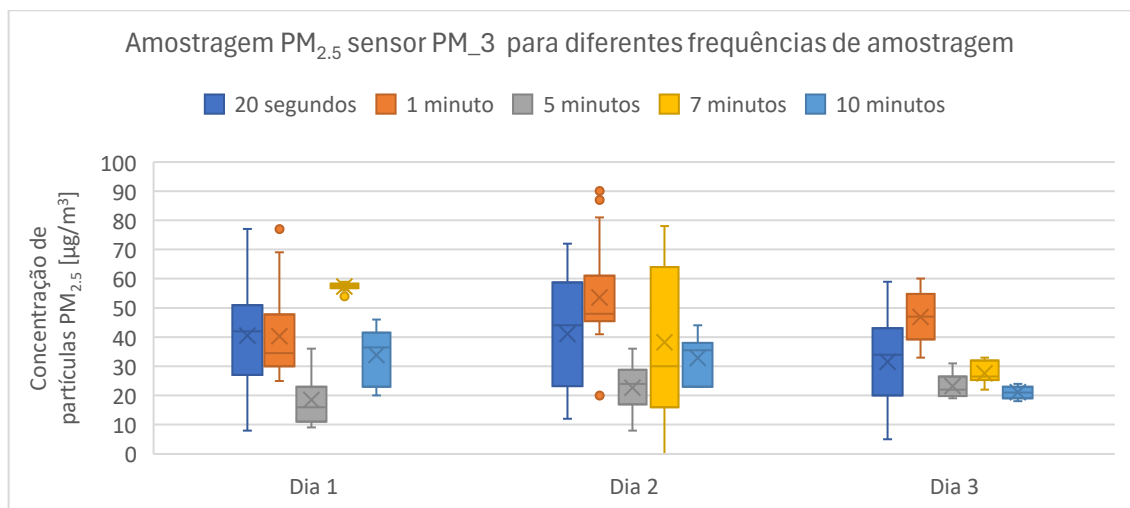


Figura 29 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM₃ para partículas PM_{2.5} e para diferentes frequências de aquisição de dados.

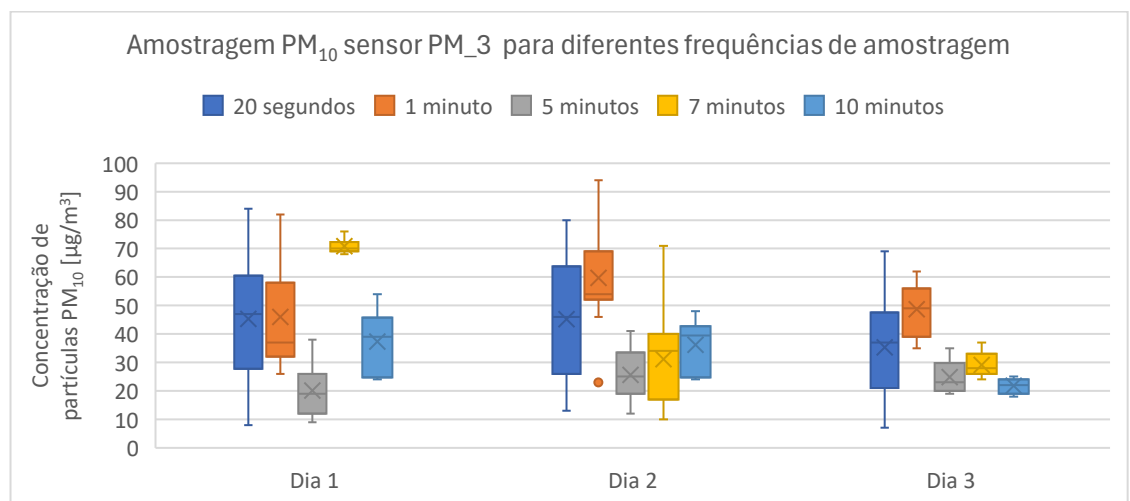


Figura 30 - Resultados das 3 replicas da amostragem do sensor PM₃ para partículas PM₁₀ e para diferentes frequências de aquisição de dados.

Analisando os resultados do sensor PM₁ é visível a diferença da resposta do equipamento para as diferentes frequências de aquisição de dados. A dispersão dos resultados é mais elevada para períodos de aquisição de dados menores (20 segundos e 1 minuto). Verifica-se também uma maior concordância entre os resultados obtidos com períodos de aquisição de dados maiores (5, 7 e 10 minutos), ou seja, o valor médio destas amostragens encontra-se relativamente próximo do que comparado com as restantes. Sendo as amostragens realizadas no mesmo dia em sequencialmente, e em condições estáveis não seria esperada uma variação tão expressiva como se verifica entre os 20 segundos 1 minutos e os restantes períodos. Para além disso em ambiente interior e tendo em conta as condições de amostragem, concentrações tão elevadas como as registadas pelas com frequências de aquisição de dados mais altas serão pouco prováveis. Comparando os resultados para PM₁₀ e PM_{2.5} verifica-se que o sensor se comporta de forma semelhante na avaliação dos dois parâmetros. Contudo verifica-se também uma grande proximidade das concentrações dos dois poluentes para cada amostragem o que indica que o sensor possa estar a separar incorretamente as partículas por tamanho.

Analisando os resultados do sensor PM₂ verifica-se que são muito semelhantes aos resultados do sensor PM₁ verificando-se uma maior dispersão dos resultados para frequências de aquisição de dados mais altas. Nos dias 1 e 2 é perceptível a concordância dos resultados dos sensores PM₁ e PM₂ para todas as frequências de aquisição de dados. Verifica-se o mesmo para as amostragens com um período de aquisição de dados de 20 segundos e 1 minuto do dia 3, mas para as restantes não se verifica a mesma concordância entre sensores.

Os resultados do sensor PM₃ são diferentes dos restantes sensores. Verifica-se da mesma forma uma maior dispersão para frequências de amostragem altas, contudo verifica-se também uma maior dispersão dos resultados para as restantes frequências. Os valores médios das amostragens do sensor PM₃ também são diferentes dos restantes sensores. Conclui-se por isso que o sensor PM₃ apresenta um comportamento diferente dos restantes.

De forma a registar um número de dados semelhante em cada amostragem foi necessário que a duração de amostragem variasse consoante a frequência de aquisição de dados. Assim para frequências de aquisição de dados mais altas a duração total de amostragem foi mais curta e para frequências mais baixas como mostra a Tabela 4. Sendo as amostragens realizadas em ambiente interior com baixa circulação de ar, baixa ocupação da sala e com poucas movimentações dos seus ocupantes seria esperado que concentração de partícula se mantivesse relativamente constante. Num intervalo de tempo de 7 minutos isso seria ainda mais evidente uma vez que dadas as características da amostragem, seria espectável da concentração de partículas não variasse de forma muito significativa neste intervalo de tempo. No entanto verifica-se o contrário com os resultados das montagens com uma frequência de 20 segundos a variarem por vezes entre os 10 e os 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ o que para as condições de amostragem é muito improvável que aconteça.

De seguida foi calculado o desvio padrão médio para as amostragens de cada sensor e para cada frequência de aquisição de dados. Os resultados estão presentes na Tabela 6 e estão representados graficamente na Figura 31 e na Figura 32.

Tabela 6 – Desvio padrão médio por sensor, poluente e frequência de amostragem.

Período de registo		20 seg	1 min	5 min	7 min	10 min
Duração total de amostragem		7 min	15 min	1 h	1 h 20 min	1 h 40 min
PM_1	Desvio padrão médio PM ₁₀ [µg/m ³]	15	8	3	4	4
PM_2		18	8	3	5	4
PM_3		20	14	8	7	7
PM_1	Desvio padrão médio PM _{2.5} [µg/m ³]	16	7	2	4	6
PM_2		15	8	3	4	4
PM_3		17	13	7	10	6

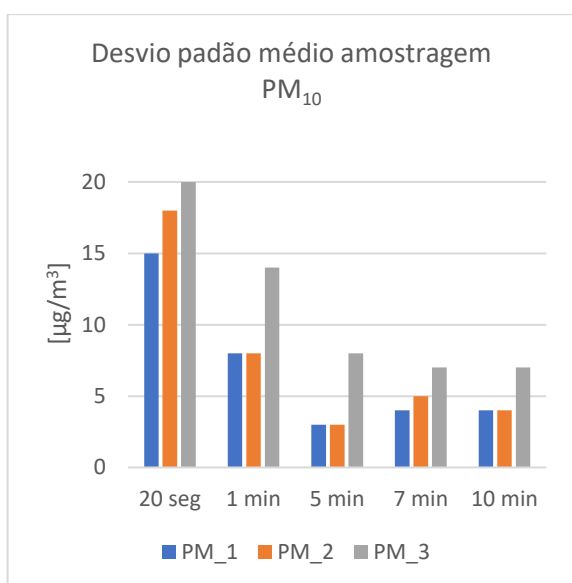


Figura 31 - Desvio padrão médio dos 3 dias de amostragem de PM₁₀ por sensor e por frequência de aquisição de dados

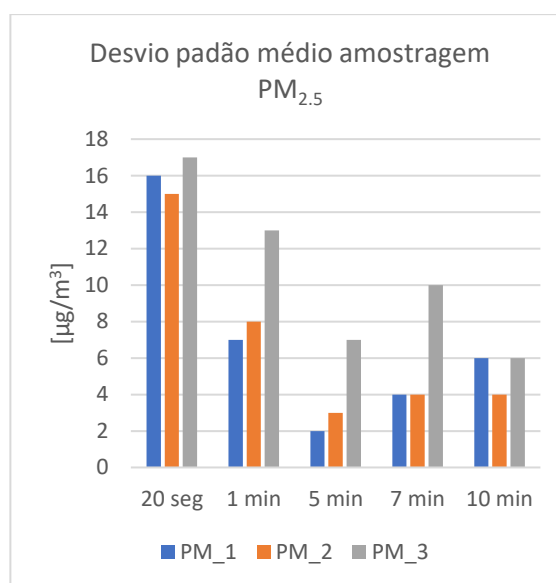


Figura 32 - Desvio padrão médio dos 3 dias de amostragem de PM_{2.5} por sensor e por frequência de aquisição de dados

Dadas as condições estáveis das amostragens realizadas (interior de uma sala, com janelas fechadas, com porta aberta para o interior do edifício, sem qualquer arejamento adicional e com baixo número de ocupantes e com baixa movimentação dos mesmos), e sendo os sensores integrativos era esperada uma menor variabilidade da concentração de partículas quanto maior fosse o período de amostragem. Por isso seria também esperado também que o desvio padrão fosse menor quanto menor fosse esse intervalo. Analisando a Figura 31 e a Figura 32 é possível concluir que o desvio padrão é menor para os períodos de aquisição de dados mais baixos mas que a partir dos 5 minutos esse desvio volta a aumentar contrariamente ao esperado.

Verifica-se também que o sensor PM₃ regista sistematicamente valores mais elevados quando comparado com os restantes sensores. Para além disso verifica-se que o período de aquisição de dados de 5 minutos é aquele que apresenta um menor desvio padrão e por isso conclui-se que a o período de aquisição de dados de 5 minutos é aquele que obteve os resultados mais precisos.

De seguida serão realizados em detalhe os resultados da amostragem com um período de amostragem de 5, 7 e 10 minutos de forma a reforçar as conclusões alcançadas.

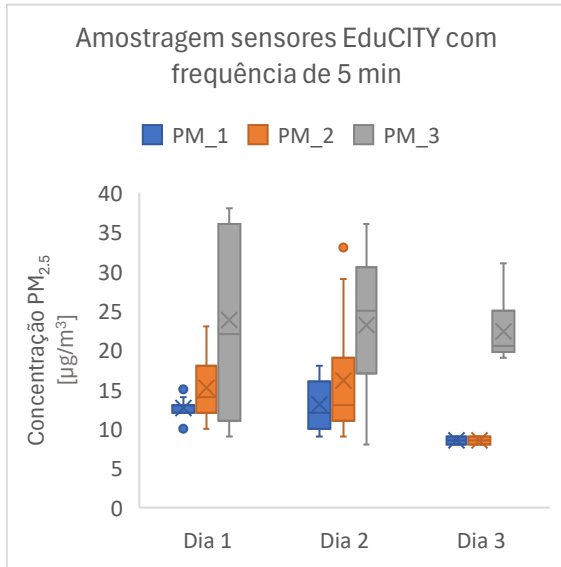


Figura 33 - Amostragem de $PM_{2.5}$ com frequência de 5 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

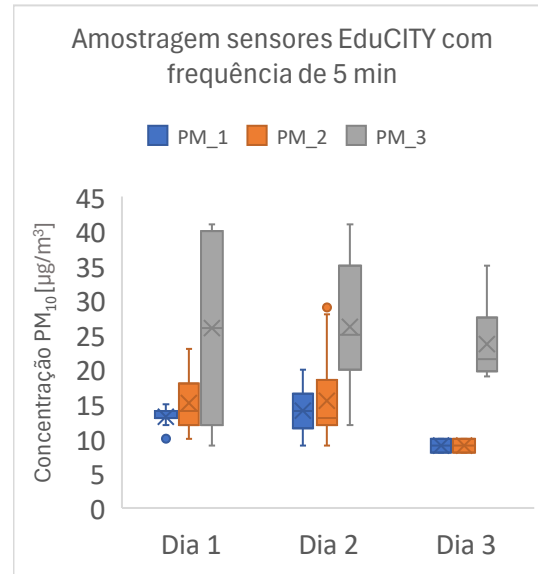


Figura 34 - Amostragem de PM_{10} com frequência de 5 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

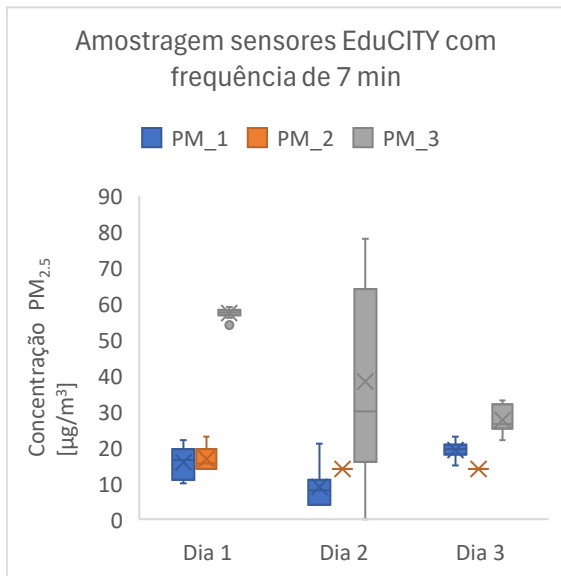


Figura 35 - Amostragem de PM_{10} com frequência de 7 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

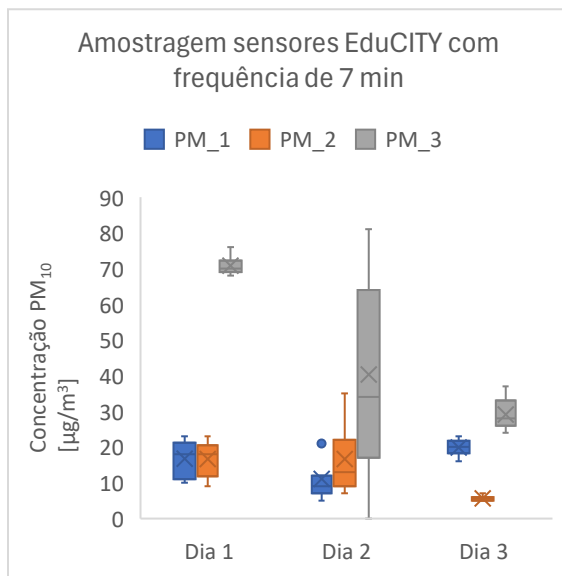


Figura 36 - Amostragem de $PM_{2.5}$ com frequência de 7 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

~

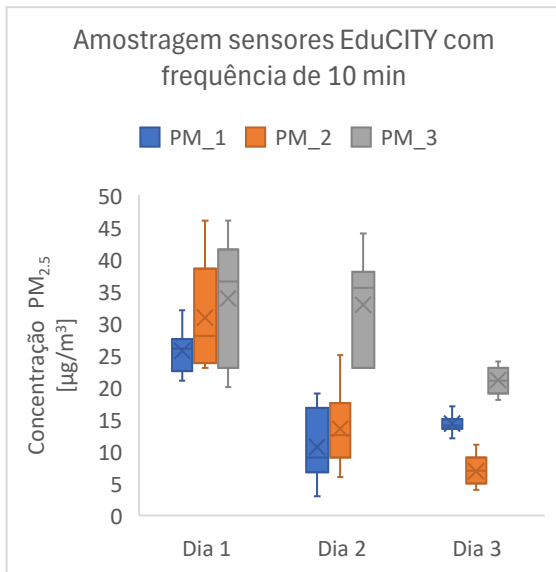


Figura 37 - Amostragem de $PM_{2.5}$ com frequência de 10 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

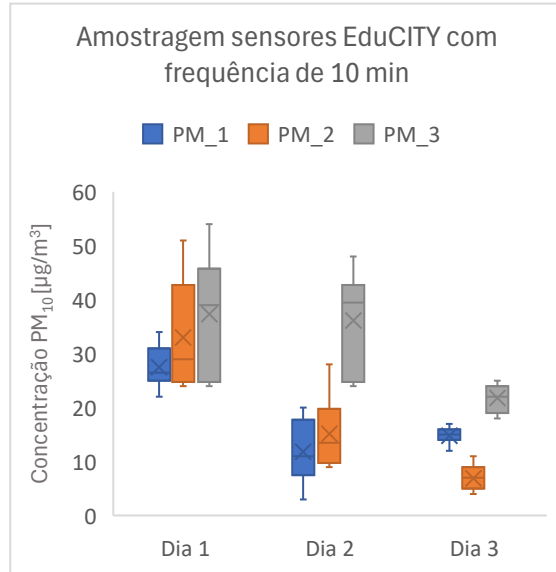


Figura 38 - Amostragem de PM_{10} com frequência de 10 minutos realizada para avaliação da frequência de aquisição de dados.

A Figura 33 e a Figura 34 mostram os resultados da amostragem para uma frequência de 5 minutos. É visível a discrepância entre os resultados do sensor PM_3 relativamente aos outros dois sensores. Para o caso desta amostragem a amplitude dos resultados máxima é de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a menor é de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nota-se ainda que as caixas dos diagramas relativos às amostragens dos sensores PM_1 e PM_2 estão dentro da gama de incerteza dos sensores.

A Figura 35 e a Figura 36 ilustram os resultados da amostragem para uma frequência de 7 minutos. Novamente tem-se que os sensores PM_1 e PM_2 apresentam valores semelhantes o que é distante dos resultados do sensor PM_3 . Excluindo a amostragem 2 do sensor PM_3 por ser muito discrepante das restantes, tem-se que a amplitude máxima é de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a mínima de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores iguais aos obtidos para a amostragem com frequência de 5 minutos. Conclui-se que as diferenças entre as amostragens com frequências de 5 e 7 minutos não são significativas, não existindo melhorias nos resultados obtidos.

A Figura 37 e a Figura 38 ilustram os resultados da amostragem com uma frequência de 10 minutos. Nestas amostragens obteve-se um resultado pior do que nas amostragens com um período de aquisição de 5 e 7 minutos. Neste caso a amplitude dos resultados foi de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor da amplitude mínima está na ordem dos $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Verifica-se também o aumento do tamanho das caixas em relação às amostragens discutidas anteriormente.

De um modo geral, verifica-se que os resultados mais precisos, ou seja, os resultados com uma menor dispersão foram obtidos através das amostragens um período de aquisição de 5 e 7 minutos e que se obteve um desvio padrão menor para as amostragens com um período de aquisição de 5 minutos. Conclui-se que um período de aquisição de dados de 5 minutos tem resultados mais precisos. Os sensores PM são integrativos, ou seja, quando se seleciona uma certa frequência de aquisição de dados o sensor realiza a média de todos os valores obtidos nesse intervalo de tempo e transmite esse resultado. Assim sendo existia a possibilidade de, para frequências de aquisição de dados mais altas, estes serem sensíveis a variações momentâneas da concentração de partículas e por isso registarem uma maior dispersão de resultados. No caso de esse ser o único fator a influenciar a dispersão dos resultados e o desvio padrão seria esperado

que estes diminuíssem com o aumento do período de aquisição de dados. Contudo a partir da Figura 31 e da Figura 32 é possível verificar que as amostragens com um período de aquisição de 7 e 10 minutos tem um desvio padrão superior ao registado para um período e 5 minutos, ou seja, um maior período de medição não significa uma menor dispersão dos resultados contrariamente ao esperado. Isto indica que a frequência de aquisição de dados pode estar a influenciar funcionamento do sensor podendo induzir erros no seu funcionamento. O facto de se ter obtido resultados tão diferentes para amostragens realizadas nos mesmos dias, com condições de amostragem idênticas também leva a querer que a frequência de aquisição e dados possa afetar a capacidade do sensor avaliar a concentração de partículas.

Percebe-se também que o sensor PM_3 regista sistematicamente valores mais elevados do que os outros 2 sensores bem como uma maior dispersão desses resultados. Salvo algumas exceções verifica-se também que o sensor PM_2 regista valores ligeiramente acima do que o sensor PM_1.

Verifica-se ainda que os resultados da concentração de partículas PM₁₀ e PM_{2.5} são sempre muito próximos sendo por vezes iguais o que indica que os sensores possam estar a separar incorretamente as partículas por tamanho medindo incorretamente a sua concentração.

Conclui-se por isso que a um período de aquisição e dados de 5 minutos é aquele que resulta em resultados mais precisos, contudo, a partir destes resultados não é possível retirar conclusões quanto à exatidão dos sensores. Como trabalho futuro seria aconselhado repetir a amostragem para várias frequências de amostragem comparando os resultados com sensores de referência ou com outros sensores de forma a avaliar se os resultados mais precisos são também mais exatos.

4.2.3 Resultados da comparação dos sensores PM com outras redes de medição

Os resultados dos sensores PM foram comparados com os resultados da rede Aveiro STEAM City e com a estação de referência de monitorização de qualidade do ar de Aveiro. Os dados da estação de referência foram fornecidos pela CCDRC. Por falha dos equipamentos não foi possível obter os dados da rede Aveiro STEAM City para o museu de arte nova no dia 28/07/23. Verificaram-se também falhas no funcionamento do equipamento PM_3 que impediram a recolha de dados em alguns momentos e a falha do equipamento PM_1 no dia 11/07/24 entre as 11:55 e as 12:00. Os resultados das medições com os equipamentos PM bem como os dados da rede STEAM City e da estação de referência estão presentes na Tabela 7.

Para cada resultado foi determinado o índice de qualidade do ar EduCITY. Foram também calculados o desvio absoluto médio para cada amostragem e o desvio absoluto médio de cada sensor. Calculou-se ainda a percentagem de dados dos sensores PM que obtiveram um índice igual ao índice obtido através do sensor com o qual foram comparados e bem como o nível de concordância. Os resultados de todos os cálculos e determinações estão presentes na Tabela 7

Tabela 7 - Resultados da amostragem comparativa dos sensores PM com sensores STEAM City e com estação de referência de monitorização de qualidade do ar da CCDRC.

Legenda : índice de qualidade do ar EduCITY [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]						
	Muito bom	Bom	Moderado	Fraco	Mau	Muito mau
PM_{2.5}	0-10	10-20	21-25	26-50	50-75	101-150
PM₁₀	0-20	21-40	41-50	51-100	75-800	151-1200

	Data	Hora	Sensor PM_1		Sensor PM_2		Sensor PM_3		Sensor STEAM City / Sensor de referência		Desvio absoluto médio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	
			PM _{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM _{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM _{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM _{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM _{2.5} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	PM ₁₀ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Estação de comboios	28/07/2023	10:35 - 10:40	14	15	28	32	76	90	5	10	26	26
		10:40 - 10:45	6	7	32	36	68	83	4	8		
		10:45 - 10:50	7	8	30	34	-	-	6	13		
	06/09/2023	14:25 - 14:30	22	21	15	16	27	28	6	12	20	15
		14:25 - 14:35	23	26	20	22	37	41	5	11		
		14:25 - 14:35	35	40	12	14	30	31	6	12		
	11/07/2024	10:00 - 10:05	35	40	41	47	61	71	6	12	37	38
		10:05 - 10:10	28	31	39	47	50	56	6	10		
		10:10 - 10:15	40	45	38	45	46	52	6	11		
10:15 - 10:20		30	33	49	56	57	64	7	12			
Museu de arte nova	28/07/2023	11:55 - 12:00	20	22	28	32	61	68	-	-	-	-
		12:00 - 12:05	16	18	31	38	49	56	-	-		
		12:05 - 12:10	24	26	31	35	53	58	-	-		
	06/09/2023	14:25 - 14:30	6	6	14	16	17	19	6	12	7	3
		14:30 - 14:35	4	5	15	16	21	21	5	9		
		14:35 - 14:40	6	6	13	14	17	18	6	10		
	11/07/2024	11:05 - 11:10	25	28	28	32	-	-	5	9	20	19
		11:10 - 11:15	12	12	25	28	-	-	4	7		
		11:15 - 11:20	18	18	36	37	-	-	5	8		
11:20 - 11:25		19	20	36	39	-	-	5	8			
Estação de Referência	28/07/2023	13:15 - 13:45	-	10	-	30	-	51	-	15 ¹	-	15
	06/09/2023	17:11 - 17:39	-	20	-	23	-	-	-	8 ¹	-	14
	07/09/2023	16:41 - 17:00	-	12	-	15	-	42	-	6 ¹	-	14
		17:00 - 17:30	-	11	-	9	-	50	-	13 ¹	-	14
	11/07/2024	13:40 - 14:00	-	24	-	29	-	63	-	20 ¹	-	19

¹ Fonte: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro, I.P.

Casa Morgados	28/07/2023	13:59 - 14:04	6	6	19	20	54	61	4	6	22	22	
		14:04 - 14:09	2	2	9	10	60	67	4	6			
		14:09 - 14:14	3	3	33	36	45	51	4	6			
	06/09/2023	14:30 - 14:35	8	8	20	22	31	34	8	13	10	5	
		14:35 - 14:40	14	15	12	13	30	33	9	13			
		14:40 - 14:45	0	0	19	21	28	29	10	16			
	11/07/2024	11:45 - 11:50	38	40	26	27	44	49	8	11	27	28	
		11:50 - 11:55	30	31	28	35	40	44	6	8			
		11:55 - 12:00	-	-	20	24	40	45	6	8			
Bombeiros Velhos	28/07/2023	15:01 - 15:06	18	20	41	46	55	61	3	6	32	33	
		15:06 - 15:11	18	19	28	31	58	64	4	8			
		15:11 - 15:15	18	18	35	39	55	61	4	8			
	07/09/2023	15:00 - 15:15	16	17	19	22	23	23	7	15	7	3	
		15:15 - 15:30	13	15	14	15	7	7	8	14			
		15:30 - 15:35	15	16	11	11	12	13	8	13			
	11/07/2024	14:25 - 14:30	22	24	25	29	41	45	4	6	24	25	
		14:30 - 14:35	28	31	26	30	43	48	4	6			
		14:35 - 14:40	33	37	26	29	-	-	4	6			
		14:40 - 14:45	12	14	27	30	-	-	3	5			
	nº de dados com um índice igual ao sensor a comparar			10	25	1	12	1	4				
	% resultados com índice igual			26%	63%	3%	29%	3%	12%				
nº de dados com um índice um nível acima do sensor a comprar			13	13	14	24	3	7					
Concordância			66%	98%	42%	88%	14%	33%					
Desvio absoluto médio			13	12	20	18	29	33					

Os resultados presentes na Tabela 7 confirmam a discordância dos resultados entre sensores PM. Verifica-se que o sensor PM_1 é aquele que obtém valores mais próximos dos sensores com o qual é comparado obtendo uma percentagem de valores com um índice igual de 65% para PM₁₀ e uma concordância 95%. O sensor PM_2 regista uma percentagem de valores com um índice igual de 29% e um nível de concordância de 88% para PM₁₀. O uso de sensores em projetos de ciência cidadã não necessita que o valor absoluto dos resultados seja muito próximo do valor medido por equipamentos de referência, contudo é necessário que a conhecimento transmitido aos participantes, que neste caso corresponde ao índice de qualidade do ar, esteja próximo do real. Os sensores PM estão localizados muito próximo do solo e, por vezes, a distância dos sensores com os quais foram comparados maior do que recomendado na literatura e, por isso, por vezes as condições das amostragens não foram as ideais. Isto faz com que seja espectável algum desvio dos resultados. Contudo a concordância, critério estabelecido para avaliação dos sensores, considera como satisfatórios valores dentro de uma gama suficientemente alargada. Por isso definiu-se como para como aceitável uma concordância de pelo menos 95%. Um sensor com uma taxa de erro superior a 5% representa um nível muito significativo que transmite uma ideia errada da qualidade ambiental. Contudo verifica-se que a percentagem de resultados com um índice igual é bastante baixa para os sensores PM_1 e PM_2. O sensor PM_3 regista valores de

concordância de 33%, muito abaixo do pretendido. Fica assim evidente o mau funcionamento do sensor PM_3.

É ainda possível verificar que os resultados são bastante diferentes relativamente à medição da concentração de PM_{2.5} com os sensores PM a registarem valores significativamente diferentes dos resultados da rede STEAM City. Assim a concordância na medição de partículas PM_{2.5} dos sensores PM_1, 2 e 3 é de 66%, 37% e 15%, valores significativamente mais baixos do que os obtidos para PM₁₀ e abaixo do valor definido como aceitável. Olhando para os resultados presentes da Tabela 7, é possível verificar que os resultados dos sensores PM para a medição de partículas de PM_{2.5} são sistematicamente muito próximos ou iguais aos resultados da concentração de PM₁₀. Por estas razões conclui-se que os sensores PM não realizam corretamente a separação das várias partículas por tamanhos não sendo eficazes a avaliar a concentração de partículas PM_{2.5}.

Verifica-se que os sensores registam valores de desvio absoluto semelhantes para ambos os tamanhos de partículas. Por definição as partículas PM_{2.5} representam uma fração das partículas PM₁₀, ou seja, a sua concentração deverá ser mais baixa do que a concentração de PM₁₀ e por isso um desvio absoluto semelhante para ambos os tamanhos de partículas significa um maior desvio relativo para PM_{2.5}. Para PM₁₀ o sensor PM_1 regista um desvio absoluto médio de 11 µg/m³ e o sensor PM_2, regista 18 µg/m³. Um desvio próximo de 20 µg/m³ poderá significar um desvio muito significativo capaz de alterar o índice de qualidade do ar resultante o que se verifica na concordância do equipamento.

Por fim, é possível concluir, que, com um desvio absoluto de 36 µg/m³ o sensor PM_3 apresenta resultados muito diferentes do esperado e que impossibilitam a sua utilização num projeto de ciência cidadã.

De forma a avaliar a influencia das condições de amostragem no desempenho dos sensores analisaram-se os resultados por dia.

Na Tabela 8 apresenta os resultados do cálculo da concordância o desvio absoluto médio de todas as amostragens realizadas no mesmo dia. São ainda apresentas as condições ambientais registadas em cada dia e notas. Os resultados da amostragem de PM_{2.5} forma excluídos desta análise devido ao mau desempenho dos sensores na avaliação deste parâmetro. Verifica-se que os dias 06/07/23 e 07/09/23 apresentam temperaturas acima de 25°C, uma humidade relativa abaixo de 72% e céu limpo ou quase sem nuvens. Por outro lado, os dias 28/07/24 e 11/07/24 apresentam temperaturas abaixo dos 25°C, com o dia 28 a ter uma temperatura em torno dos 24 °C, mas apresentam uma humidade relativa elevada acima dos 80%.

Tabela 8 – Resultados da análise da concordância entre sensores PM e sensores STEAM City e sensor de referência da CCDRC para a amostragem de PM₁₀

	Número total de amostragens	Concordância Média	Desvio Absoluto Médio [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Condições Meteorológicas
28/07/23	35	71%	24	Céu limpo ou quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%
06/09/23	29	97%	9	Quase sem nuvens, Temperatura 27°C, Humidade relativa 65%
07/09/23	15	87%	8	Quase sem nuvens, Temperatura 26°C, Humidade relativa 71%
11/07/24	31	77%	26	Céu encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%

Através destes resultados é possível verificar que nos dias em que a humidade relativa se encontrava abaixo dos 80% o nível de concordância entre sensores é mais elevado (97% e 87% comparando com 71% e 77%) e do desvio absoluto médio é menor (11 e 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ comparando com 30 e 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Os sensores PM usam um método ótico de dispersão de infravermelho, métodos que são muito sensíveis a fatores ambientais como humidade relativa. Por essa razão em dias de maior humidade relativa é esperado que uma menor exatidão dos sensores estando os resultados o que verifica com os sensores PM. Os resultados parecem indicar por isso que os sensores PM são influenciados por fatores ambientais como humidade relativa sendo aconselhável o seu uso em dias em que este parâmetro se encontre abaixo de 80%. De forma a avaliar melhor a influencia de fatores ambientais no desempenho dos sensores dever-se-ia realizar um maior número de amostragens em dias com diferentes condições meteorológicas. As amostragens realizadas pelos sensores STEAM City e de referência vão desde os 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ até aos 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ uma gama de resultados muito reduzida que impossibilita a utilização de métricas como o coeficiente de correlação linear ou coeficiente de spearman. De forma a ultrapassar esta limitação poder-se-ia realizar um maior número e amostragens, assegurando as condições ótimas de humidade relativa, em diferentes alturas do dia e em dias com grande concentração de partículas como durante episódios de poeiras do Norte de Africa ou incêndios de forma a avaliar o desempenho dos sensores para várias concentrações.

4.3 Avaliação do desempenho de sensores de baixo custo de ruído

Os sensores de baixo custo prometem revolucionar a monitorização do ruído urbano respondendo às limitações da monitorização tradicional possibilitando uma amostragem mais densa no tempo e no espaço (Quintero et al., 2019a).

Contudo, a informação do fabricante relativa à performance destes sensores é muitas vezes limitada e não reflete, por exemplo, as condições ambientais a que estes estão geralmente expostos durante a amostragem (Picaut et al., 2020b; Quintero et al., 2019a; Wu et al., 2022). Adicionalmente a sua performance tende a deteriorar-se ao longo do tempo existindo a necessidade de recalibração frequente (Picaut et al., 2020b; Wu et al., 2022). Estas limitações, em tudo semelhantes aquelas encontradas para sensores de baixo custo de qualidade do ar, fazem com que seja necessário avaliar os sensores de ruído antes do seu uso.

A influência que as condições ambientais comuns durante a amostragem, podem ter nos resultados levam a que seja comum existirem duas fases de testagem: numa primeira fase em condições controladas, posicionam-se os sensores de baixo custo próximos de sensores de referência expondo-os a uma fonte sonora que gera diferentes ruídos com diferentes frequências e intensidades sonoras, e numa segunda fase os sensores são testados em condições normais de amostragem em ambiente exterior juntamente com sensores de referência ou com outros sensores de ruído (Picaut et al., 2020b; Quintero et al., 2019b; Wu et al., 2022).

O teste estatístico mais comum para comparação de sensores de baixo custo de ruído e sensores de referência/outras redes de sensores é o coeficiente de correlação linear, sendo que para ser estatisticamente significativo este teste necessita de um elevado número de resultados que cubram a gama de deteção dos equipamentos (Can et al., 2016; Castell et al., 2017; Marouf et al., 2018; Picaut et al., 2020a; Quintero et al., 2019b). Para além disso são utilizados o desvio absoluto médio e a incerteza de medição. O coeficiente de variação para comparação entre sensores de baixo custo (Can et al., 2016; Castell et al., 2017; Marouf et al., 2018). Pode ser ainda usada estatística descritiva com representação dos resultados em diagramas de caixa e bigodes para comparação de resultados entre sensores de baixo custo e para avaliação da discrepância dos resultados (Marouf et al., 2018).

Os sensores SOM têm como objetivo comunicar com público dados ambientais através de um índice de ruído. Para o utilizador dos sensores os dados em bruto têm pouco significado sendo mais relevante o ruído resultante uma vez que esse sim representa informação facilmente compreensível. Ou seja, importa avaliar a exatidão do índice resultante das medições dos sensores EduCITY SOM. O índice EduCITY classifica a intensidade sonora segundo intervalos fixos, ou seja, uma diferença de 1 dB(A) pode resultar numa classificação diferente segundo o índice de qualidade do ar. Mesmo que os resultados sejam semelhantes (baixo desvio absoluto), o índice resultante pode ser diferente e por isso, considerou-se um resultado satisfatório se os sensores SOM resultarem num índice igual, ou um nível acima/abaixo do obtido a partir das outras redes de sensores.

4.3.1 Metodologia de avaliação do desempenho dos sensores SOM

A avaliação dos sensores SOM teve 2 fases:

- 1- Comparação dos valores medidos pelos equipamentos SOM com diferentes frequências de aquisição de dados;
- 2- Comparação dos sensores SOM com sensores da rede Aveiro STEAM City.

Metodologia de amostragem para comparação entre os sensores SOM_1 e SOM_2 para diferentes frequências de aquisição de dados

A avaliação dos sensores SOM começou pela avaliação do limite mínimo de detecção. Para isso o dispositivo foi colocado numa sala silenciosa e foram registados os resultados.

Posteriormente de forma a avaliar de que forma diferentes frequências de aquisição de dados podem influenciar os resultados dos sensores procedeu-se à comparação dos sensores SOM_1 e SOM_2 utilizando diferentes frequências de aquisição de dados e expondo-os a diferentes intensidades e frequências sonoras. Idealmente esta comparação seria realizada em simultâneo com sensores de referência, mas por falta de equipamento não foi realizada. Posicionaram-se os sensores SOM_1 e SOM_2 junto a uma fonte de ruído tal como mostra o esquema da Figura 39. Em todas as amostragens os sensores foram colocados na mesma sala com portas e janelas fechadas, com a persiana fechada e sem qualquer ocupante no interior. A janela da sala dava para uma rua sem tráfego automóvel. A partir do exterior da sala foram monitorizados eventos ruidosos que pudessem influenciar os resultados, no caso de ser um evento ruidoso muito significativo ou prolongado a amostragem foi descartada e repetida, no caso de serem eventos pontuais foi anotada a hora do evento e excluiu-se da análise os dados recolhidos durante esse período. A fonte de ruído escolhida foi um computador portátil Microsoft Surface Laptop 2 que reproduziu frequências sonoras de 110 hz, 330 hz e 605 hz através do gerador das frequências online <https://muted.io/overtone-series/> repetindo cada uma das amostragens para um volume de 50% e de 100% da capacidade da fonte sonora. O portátil encontrava-se sempre ligado á corrente elétrica para garantir que fontes de ruído como o sistema de ventilação do mesmo se mantinham constantes ao longo de todos os ensaios.

Para cada uma das frequências do ruído e intensidades da fonte sonora foram realizados ensaios com frequências de aquisição de dados de 2, 10, 20, 40 segundos e de 1 minuto. O ruído apresenta uma maior variabilidade em ambiente urbano com picos que o ser humano é capaz de detetar. Uma frequência de aquisição de dados maior seria menos sensível a esses picos, e o resultado das amostragens não os iriam refletir, o que pode causar estranheza nos participantes que ao percecionarem um evento ruidoso poderiam não vê-lo refletido nos resultados. Uma frequência de aquisição de dados mais elevada regista melhor eventos sonoros de curta duração, contudo, uma frequência demasiado elevada pode também levar a dificuldade na leitura e compreensão dos resultados. E por isso as frequências de aquisição de dados testadas são maiores do que as utilizadas para testagem dos sensores PM. O período de amostragem variou de acordo com a frequência de amostragem. Para a uma frequência de aquisição de dados de 2 segundos o período de amostragem foi de 5 minutos, para 10 segundos 10 minutos, para 20 segundos foi de 20 minutos, para 40 segundos foi de 35 minutos e para 10 minutos foi de 40 minutos. A Tabela 9 resume as amostragens realizadas para a avaliação da influência da frequência de aquisição de dados nos resultados dos sensores SOM.

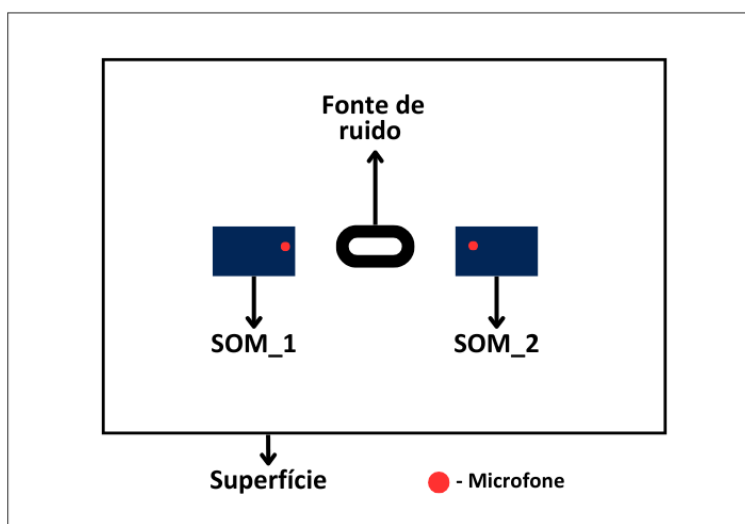


Figura 39 - Esquema de amostragem de avaliação da frequência aquisição de dados dos sensores SOM.

Tabela 9 - Resumo das amostragens para avaliação da frequência de aquisição de dados dos sensores SOM

Período de recolha de dados	Frequência de aquisição de dados [amostragens/minuto]	Tempo total de amostragem	Número de dados recolhidos
2 segundos	30	5 minutos	150
10 segundos	6	10 minutos	60
20 segundos	3	20 minutos	60
40 segundos	1,5	35 minutos	52
1 minuto	1	40 minutos	40

Metodologia de tratamento de dados comparação entre os sensores SOM_1 e SOM_2 para diferentes frequências de aquisição de dados

Os resultados da amostragem realizadas foram representados através de diagramas de caixa e bigodes.

Uma vez que os resultados dos dois sensores SOM são bastante concordantes entre si estando o desvio entre sensores dentro da incerteza de medição dos equipamentos os resultados foram realizados através do valor médio dos dois equipamentos com recurso a estatística descritiva. Nesse sentido foi calculado o valor médio de todas as amostragens para cada frequência para cada intensidade da fonte sonora e o valor médio dos resultados obtidos pelos dois sensores para cada amostragem Equação 6, o desvio absoluto através da Equação 7, o coeficiente de variação através da Equação 8, o coeficiente de variação médio para cada frequência de aquisição de dados e a percentagem de amostragens que se encontra fora da gama de medição do equipamento através da equação através da Equação 9. Estes cálculos foram realizados através do programa Microsoft Excel incluindo aqueles cuja fórmula não surge discriminada uma vez que foram realizados de forma automática no mesmo programa.

$$\text{Média logarítmica} = 10 * \log \frac{\sum_i^n 10^{\frac{x_i}{10}}}{n} \quad \text{Equação 6}$$

De notar que x corresponde aos valores obtidos através dos sensores SOM e n, o número total de amostragens.

$$\text{Desvio absoluto}[dB(A)] = \left| \frac{\text{Valor médio} - \text{Valor médio de todas}}{\text{amostragem} \quad \text{as amostragens}} \right| \quad \text{Equação 7}$$

$$\text{Coeficiente de variação} [\%] = \frac{\text{Desvio absoluto}}{\text{Valor médio}} * 100 \quad \text{Equação 8}$$

$$\text{Amostragens} < 30 \text{ dB(A)} [\%] = \frac{n^{\circ} \text{ de dados inferiores a } 30}{n^{\circ} \text{ total de dados}} * 100 \quad \text{Equação 9}$$

Metodologia de amostragem para comparação entre os sensores SOM_1 e SOM_2 com sensores da rede Aveiro STEAM City.

Uma vez terminada a avaliação da frequência de aquisição de dados e selecionada a frequência de 15 segundos procedeu-se à comparação dos sensores SOM em ambiente exterior com a comparação com os sensores da rede Aveiro STEAM City. A amostragem foi realizada nos 4 pontos da rede STEAM City assinalados na Figura 40 que foram selecionados pelas mesmas razões que foram expostas no capítulo 4.1.1. A frequência de aquisição de dados utilizada foi de 15 segundos. À semelhança do realizado para as amostragens em ambiente exterior dos sensores de partículas PM os sensores de ruído foram posicionados o mais próximo possível do sensor com o qual se pretendia comparar como ilustra a Figura 24. Seguiu-se a metodologia descrita no capítulo 4.1 para a amostragem.

Os dados da rede Aveiro STEAM City têm uma frequência de aquisição de dados de 5 minutos. De forma a obter resultados comparáveis entre os dois tipos de sensores foi calculada a média logarítmica para 5 minutos de medições dos sensores SOM. Esse cálculo foi realizado através da Equação 6.

De forma a obter pelo menos 3 amostragens comparáveis com os sensores STEAM City o tempo de amostragem em cada ponto foi de pelo menos 15 minutos. Este processo foi repetido 3 vezes em dias diferentes. A Tabela 10 apresenta o resumo das amostragens realizadas bem como informações relevantes como informação meteorológica e outras ocorrências que possam influenciar os resultados.

Tabela 10 - Resumo das amostragens realizadas para comparação dos sensores SOM com a rede Aveiro STEAM City e outras informações relevantes.

Local	Data e hora	Condições meteorológicas	Notas
Estação Comboios	28/07/2023 11:00 - 11:05	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Prédio em construção próximo do local de amostragem
	06/09/2023 14:50 - 15:05	Quase sem nuvens, Temperatura 27°C, Humidade relativa 65%	Atuação musical a decorrer nas proximidades
	11/07/2024 10:00 - 12:20	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%	
Museu de Arte Nova	28/07/2023 11:35 - 11:50	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Rua encontrava-se em obras durante a amostragem

	06/09/2023 15:50 – 16:05	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 65%	Rua encontrava-se em obras durante a amostragem
	11/07/2024 11:05 – 11:25	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%	
Casa dos Morgados da Pedricosa	28/07/2023 14:15 – 14:30	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Presença de um grande grupo de pessoas e música nas proximidades
	06/09/2023 16:20 – 16:35	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 65%	
	11/07/2024 11:40 – 12:05	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%	
Bombeiros Velhos	28/07/2023 14:45 – 14:50	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	
	07/09/2023 15:20 – 15:35	Quase sem nuvens, Temperatura 26°C, Humidade relativa 71%	
	11/07/2024 14:25 – 14:45	Encoberto, Temperatura 22°C, Humidade relativa 88%	Estrada parcialmente cortada



Figura 40 - Pontos de amostragem para comparação dos sensores SOM com sensores Aveiro STEAM City.

Metodologia de tratamento de dados para comparação entre os sensores SOM_1 e SOM_2 com sensores da rede Aveiro STEAM City.

O tratamento dos dados começou pela determinação do índice de qualidade de ruído a partir dos resultados da rede Aveiro STEAM City, e dos sensores SOM. Para isso foi necessário desenvolver o índice de ruído EduCITY, alterando a cronologia definida inicialmente para esta dissertação. Esse desenvolvimento surge descrito no Capítulo 5. De forma a compara os resultados das redes de sensores foi calculada a percentagem de valores com índice igual ao índice com o qual se pretendia comparar através da Equação 10.

$$\text{Índice igual (\%)} = \frac{\begin{array}{l} n^{\circ} \text{ de amostragens} \\ \text{com índice igual ao} \\ \text{obtido através dos sensores} \\ \text{STEAM City} \end{array}}{n^{\circ} \text{ total de amostras}} * 100 \quad \text{Equação 10}$$

Foi calculada também a percentagem de resultados dos sensores SOM com um índice igual, ou um nível acima/abaixo do obtido a partir das outras redes de sensores. Esta comparação, à qual se atribuiu a designação de concordância, foi realizada através da Equação 11.

$$\text{Concordância (\%)} = \frac{\begin{array}{l} n^{\circ} \text{ de amostragens com índice igual ou} \\ \text{um nível abaixo/acima} \\ \text{do obtido através dos sensores} \\ \text{STEAM City} \end{array}}{n^{\circ} \text{ total de amostras}} * 100 \quad \text{Equação 11}$$

De forma a avaliar a exatidão dos resultados, calculou-se o desvio absoluto de todos os resultados através da Equação 12.

$$\text{Desvio Absoluto} = \left| \frac{\text{Resultado sensor} - \text{Resultado sensor STEAM City}}{\text{EduCITY}} \right| \quad \text{Equação 12}$$

Foi ainda calculado o desvio absoluto médio de cada sensor através da equação 13.

$$\text{Desvio absoluto médio sensor PM} = \frac{\sum \text{desvio abosluto amostragens sensor SOM}}{n^{\circ} \text{ total de amostragens}} \quad \text{Equação 13}$$

E o desvio absoluto médio de todas as amostragens para um determinado dia e local através da equação 14

$$\text{Desvio absoluto médio amostragem} = \frac{\sum \text{desvio abosluto amostragens num determinado dia e local}}{n^{\circ} \text{ total de amostragens}} \quad \text{Equação 14}$$

Por fim foram comparados os resultados do grau de concordância e do desvio absoluto médio com as condições de amostragem e as notas recolhidas durante o período de amostragem de forma a avaliar a influência das mesmas nos resultados dos sensores SOM.

4.3.2 Resultados - frequência de aquisição de dados dos sensores SOM

Através da testagem preliminar dos sensores foi possível perceber que em ambientes silenciosos estes registavam valores na ordem dos 30 dB(A) em linha o valor mínimo de detecção do equipamento fornecido pelo fabricante. Verificou-se ainda que mesmo quando expostos a um ambiente sonoro constante ou silencioso os sensores registavam alguma variabilidade nos resultados com resultados fora do limite de detecção do equipamento. Verificou-se ainda que estes tinham uma frequência de aquisição de dados próxima de 1 segundo. À semelhança do verificado com os sensores PM uma frequência de aquisição de dados tão baixa poderia estar a não ser benéfica para os objetivos do estudo. Para além disso uma variação tão grande de valores torna difícil a sua leitura e compreensão.

Os resultados da amostragem realizadas para diferentes frequências de aquisição de dados foram representados através de diagramas de caixa e bigodes visíveis da Figura 41 até à Figura 52.

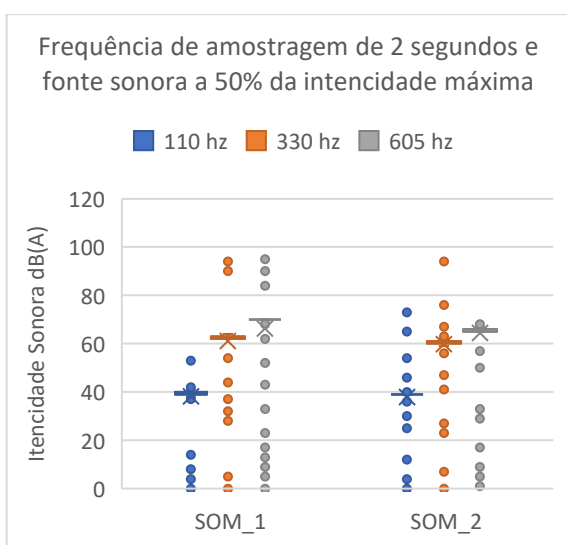


Figura 41 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 2 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

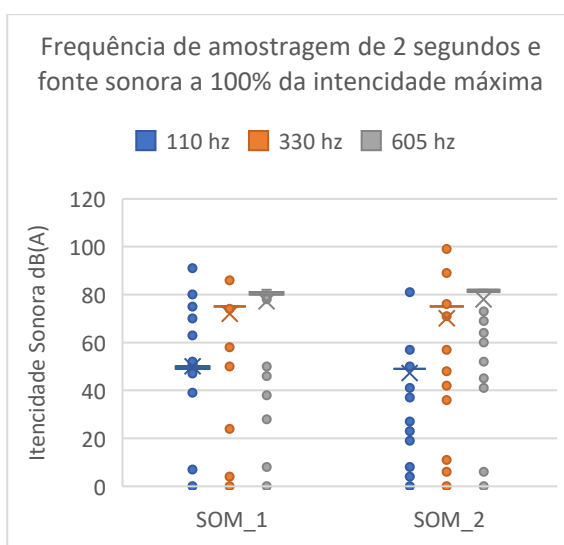


Figura 42 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 2 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.

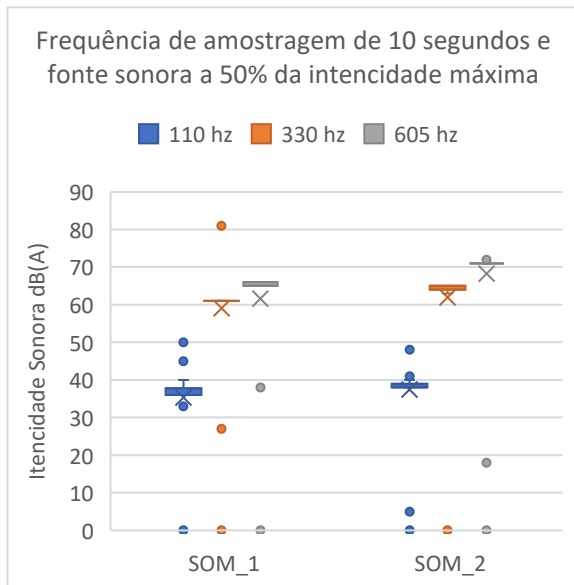


Figura 43 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 10 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

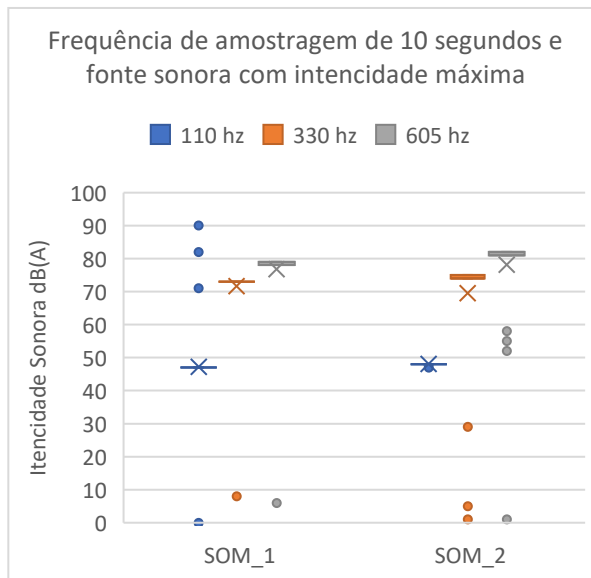


Figura 44 - Amostragem de ruído com sensores EduCITY SOM para frequência de amostragem de 10 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.

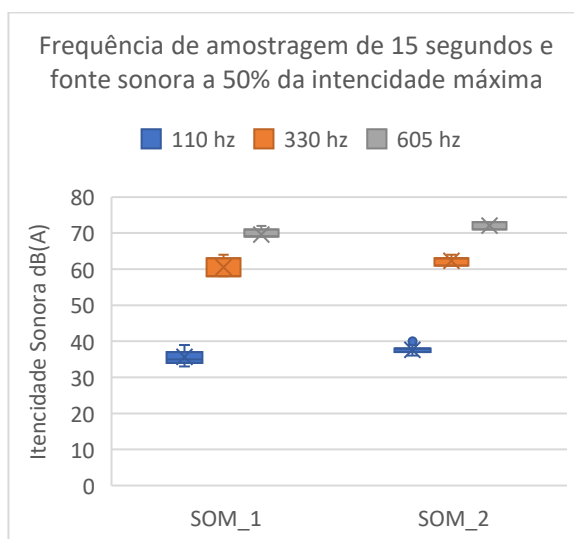


Figura 45 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de amostragem de 15 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

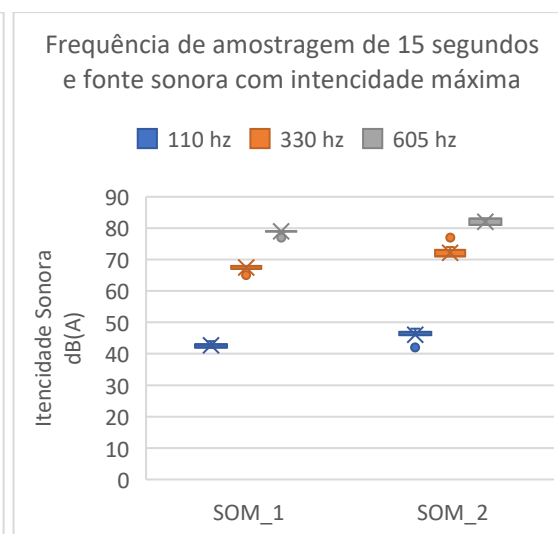


Figura 46 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de amostragem de 15 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

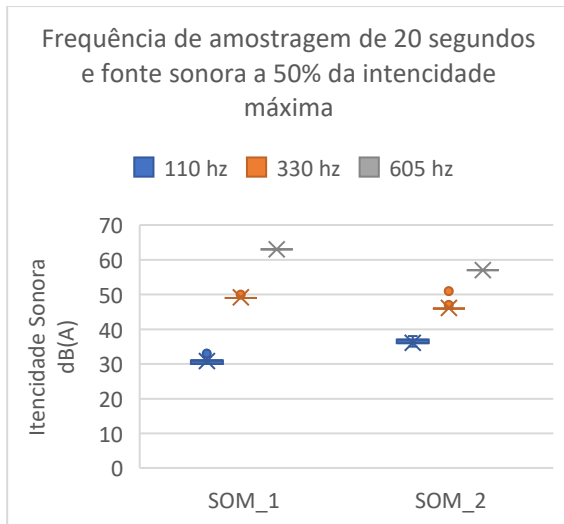


Figura 47 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 20 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

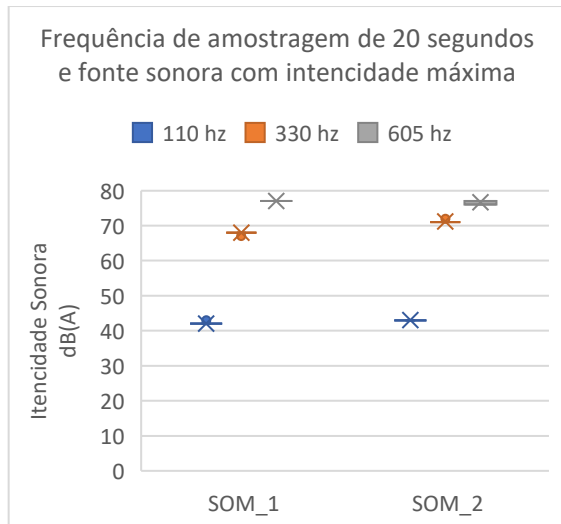


Figura 48 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 20 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.

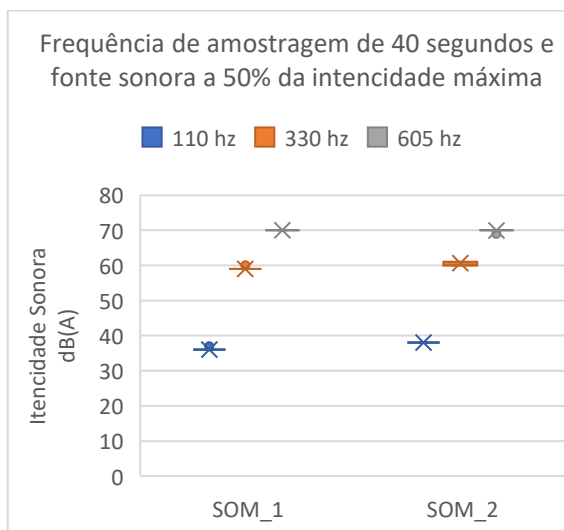


Figura 49 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 40 segundos e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

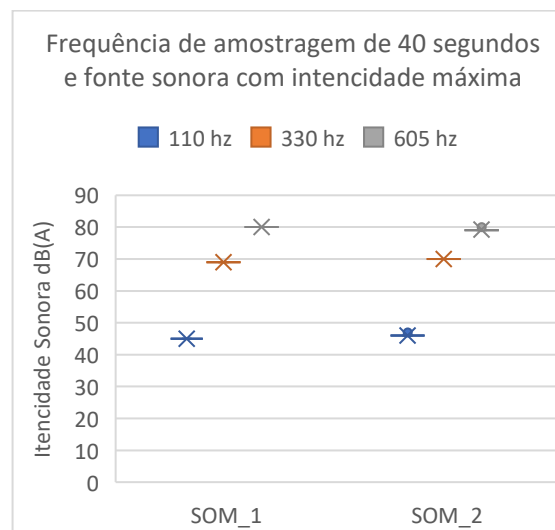


Figura 50 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 40 segundos e fonte sonora com intensidade máxima.

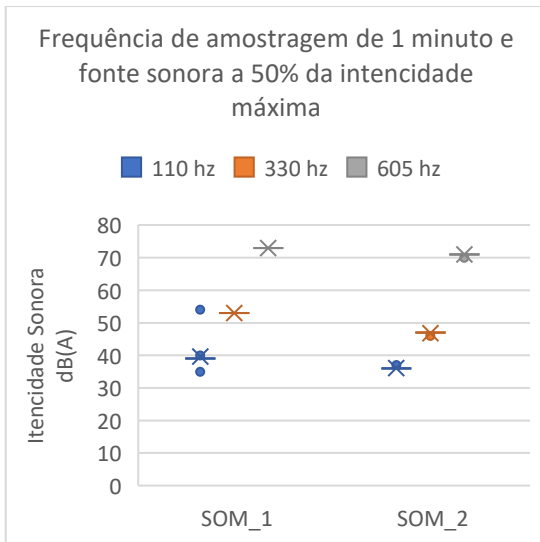


Figura 51 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência aquisição de dados de 1 minuto e intensidade de fonte sonora a 50% da intensidade máxima.

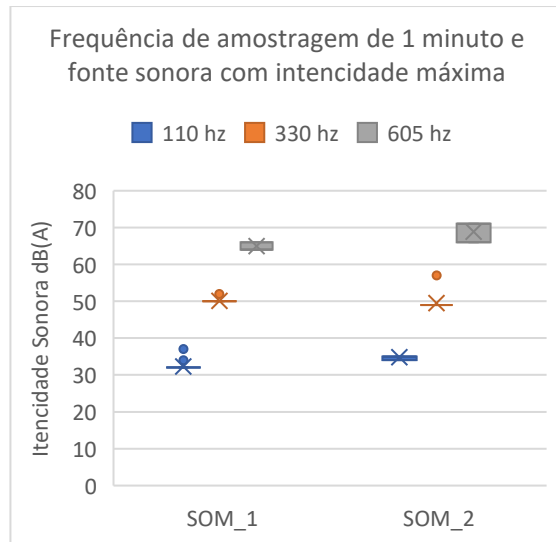


Figura 52 - Amostragem de ruído com sensores SOM_1 e 2 para frequência de aquisição de dados de 1 minuto e fonte sonora com intensidade máxima.

Uma vez que os dois sensores foram expostos a um ruído constante e igual durante cada amostragem, era esperado que os resultados fossem iguais.

Analisando os resultados verifica-se que os diagramas de caixa e bigodes em todas as amostragens são muito achatados e que a maior parte dos valores obtidos se concentram em volta do valor médio, ou seja, de uma forma geral não se verifica uma grande dispersão dos resultados. Verifica-se ainda a concordância entre os valores obtidos pelos dois sensores (SOM_1 e SOM_2) não sendo perceptíveis grandes diferenças através dos gráficos. Isto contrasta com os resultados dos sensores PM que resultaram numa grande dispersão de resultados e em valores diferentes obtidos para cada sensor. Contudo é possível concluir que para frequências de aquisição de dados de 2 e 10 segundos existe um maior número de resultados discrepantes com alguns valores a sair fora do limite de deteção do equipamento. Sendo a fonte sonora contínua é possível concluir que estes valores resultam de erros dos equipamentos. Relativamente às frequências de aquisição de dados de 15, 20 e 40 segundos e 1 minuto verifica-se que praticamente não existem valores discrepantes ou que estes se encontram muito próximos do valor médio e que não há registo de valores fora do limite de deteção do equipamento.

Os resultados do cálculo do valor médio de todas as amostragens para uma determinada frequência e intensidade estão presentes na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do cálculo da média aritmética de todas as amostragens por frequência de ruído e intensidade de fonte sonora.

Média					
50% Intensidade			100% Intensidade		
110 Hz	330 Hz	605 Hz	110 Hz	330 Hz	605 Hz
36 dB(A)	57 dB(A)	66 dB(A)	45 dB(A)	70 dB(A)	78 dB(A)

Cada valor representa a média das 6 amostragens de cada sensor realizadas para as diferentes frequências de aquisição de dados. Uma vez que não foi possível comparar as amostragens realizadas com equipamentos de referência este valor foi tido como o

valor de referência para a realização de cálculos como o desvio absoluto e do coeficiente de variação.

A Tabela 12 resume os resultados das amostragens realizadas bem como os resultados da análise estatística realizada.

Tabela 12 - Resultados do tratamento dos dados para avaliação da influência da frequência de aquisição de dados no funcionamento dos sensores SOM.

Intensidade e frequência fonte sonora	Freq. de amostragem	Diferença resultados SOM_1 SOM_2 [dB(A)]	Média [dB(A)]	Desvio absoluto [dB(A)]	Desvio absoluto médio [dB(A)]	Coeficiente de variação	Coeficiente de variação médio	Porcentagem de amostragens inferiores a 30 dB(A)
110 hz 50%	2 seg.	0	38	2	2	19%	8%	4%
	10 seg.	3	36	0		22%		5%
	15 seg.	1	38	2		1%		0%
	20 seg.	5	34	3		3%		0%
	40 seg.	2	37	1		0%		0%
	1 min.	3	34	3		3%		0%
110 hz 100%	2 seg.	3	49	3	3	23%	7%	5%
	10 seg.	1	48	2		13%		2%
	15 seg.	3	44	1		1%		0%
	20 seg.	1	42	3		3%		0%
	40 seg.	1	46	0		0%		0%
	1 min.	-	39	6		1%		0%
330 hz 50%	2 seg.	1	60	3	4	15%	6%	2%
	10 seg.	3	60	3		20%		4%
	15 seg.	5	61	3		1%		0%
	20 seg.	11	52	6		1%		0%
	40 seg.	2	60	3		1%		0%
	1 min.	1	50	7		2%		0%
330 hz 100%	2 seg.	2	71	1	1	23%	7%	5%
	10 seg.	2	71	0		19%		5%
	15 seg.	4	69	1		1%		0%
	20 seg.	3	70	1		0%		0%
	40 seg.	1	70	1		0%		0%
	1 min.	-	71	1		0%		0%
605 hz 50%	2 seg.	2	65	1	4	19%	7%	4%
	10 seg.	7	65	1		21%		4%
	15 seg.	4	71	5		0%		0%
	20 seg.	14	56	10		0%		0%
	40 seg.	0	70	4		0%		0%
	1 min.	4	67	1		3%		0%
605 hz 100%	2 seg.	0	77	0	2	19%	7%	4%
	10 seg.	4	76	1		19%		3%
	15 seg.	2	80	2		0%		0%
	20 seg.	1	76	2		6%		0%

	40 seg.	1	80	2		0%		0%
	1 min.	-	73	5		0%		0%
	Média	3	Média	2				

Analisando a Tabela 12 verifica-se que a diferença média das amostragens do sensor SOM_1 e SOM_2 é de 3 dB(A) o que indica que os sensores têm um desempenho semelhante. Contudo verifica-se em duas amostragens, realizadas no mesmo dia para um período de aquisição de dados 20 segundos se obteve uma amplitude de 14 dB(A) e de 11dB(A) que se pode dever por exemplo a erros relacionados com baixa bateria de um dos equipamentos. É ainda possível verificar que o desvio absoluto é semelhante para todas as frequências de aquisição de dados sendo a média 2 dB(A). Relativamente ao coeficiente de variação verifica-se que as frequências de aquisição de dados de 2 e 4 segundos resultam em valores mais elevados entre os 13% e os 23%. Para as restantes frequências de aquisição de dados esse valor está na sua maioria entre os 0% e os 3% valores significativamente mais baixos que indicam uma menor dispersão dos resultados. O mesmo acontece para a percentagem de valores obtidos que estão fora do limite de deteção do equipamento, para períodos de aquisição de dados de 2 e 10 segundos as percentagens vão desde 2% até 5% sendo que nas restantes frequências esse valor é sempre em 0. É por isso possível concluir que a partir dos 15 segundos o grau de confiança nas medições dos equipamentos é maior obtendo-se uma menor percentagem de valores discrepantes e não se obtendo valores fora do limite de deteção do equipamento. Devido à alta variabilidade de ruído em contexto urbano é necessário que o sensor registre eventos ruidosos pontuais de forma possibilitar que o participante observar o impacto desses fenomenos no nível do ruído. Por esta razão a frequência de aquisição e dados escolhida é de 15 segundos por ser a frequência mais baixa que apresenta resultados satisfatórias de desvio absoluto, coeficiente de variação e percentagem de amostragens fora do limite de deteção.

Analisando o desempenho dos sensores para as diferentes frequências sonoras e diferentes intensidades de fonte sonora é possível verificar que estes têm um comportamento semelhante com o desvio absoluto médio a variar entre 1 dB(A) e os 4 dB(A) e com o coeficiente de variação médio a variar entre os 7% e os 8% indicando que os sensores têm um desempenho semelhante quando expostos a ruídos com diferentes intensidades sonoras e diferentes frequências.

4.3.3 Resultados da comparação dos sensores SOM com sensores da rede Aveiro STEAM City

Realizou-se a comparação dos dados obtidos em todos os pontos de amostragem com a exceção dos pontos “Estação CP” e no “Museu de Arte Nova” no dia 28/07/2023 uma vez que por falha do equipamento não foi possível obter os dados da rede Aveiro STEAM City. Os dados foram analisados através do programa Microsoft Excel. Para cada dado foi determinado o índice de ruído EduCITY o desvio absoluto entre os sensores SOM e o sensor STEAM City e o desvio absoluto médio para cada amostragem, a percentagem de resultados com índice igual aos resultados da rede STEAM City a e concordância com a rede STEAM City. O resumo dos resultados obtidos está presente na Tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da amostragem comparativa dos sensores SOM com sensores STEAM City.

Legenda: índice de ruído EduCITY [dB(A)]					
Repousante	Baixo	Incomodativo	Fatigante	Nocivo	Perigoso
0-30	30-65	65-80	80-100	100-120	120

	Data	Hora	Sensor SOM_1	Sensor SOM_2	Sensor STEAM City	Desvio absoluto [dB(A)]		Desvio absoluto médio
			[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	Sensor SOM_1	Sensor SOM_2	
Estação CP	28/07/2023	11:00 - 11:05	64	62	-	-	-	-
		11:05 - 11:10	64	63	-	-	-	
		11:10 - 11:15	62	60	-	-	-	
	06/09/2023	14:50 - 14:55	68	65	59	9	6	6
		14:55 - 15:00	64	65	57	7	8	
		15:00 - 15:05	70	67	64	6	3	
	11/07/2024	10:00 - 10:05	53	53	50	3	3	3
		10:05 - 10:10	52	53	49	3	4	
		10:10 - 10:15	52	53	50	2	3	
10:15 - 10:20		54	57	52	2	5		
Museu de Arte Nova	28/07/2023	11:35 - 11:40	69	68	-	-	-	-
		11:40 - 11:45	59	66	-	-	-	
		11:45 - 11:50	73	70	-	-	-	
	06/09/2023	15:50 - 15:55	60	64	61	1	3	2
		15:55 - 16:00	62	62	61	1	1	
		16:00 - 16:05	63	63	60	3	3	
	11/07/2024	11:05 - 11:10	56	57	65	9	8	10
		11:10 - 11:15	55	56	67	12	11	
		11:15 - 11:20	56	57	66	10	9	
11:20 - 11:25		54	56	65	11	9		
Casa dos Morgados	28/07/2023	14:15 - 14:20	63	60	52	11	8	7
		14:20 - 14:25	63	62	55	8	7	
		14:25 - 14:30	60	59	55	5	4	
	06/09/2023	16:20 - 16:25	64	59	56	8	3	4
		16:25 - 16:30	57	60	55	2	5	
		16:30 - 16:35	54	61	55	1	6	
	11/07/2024	11:40 - 11:45	56	56	52	4	4	1
		11:45 - 11:50	55	54	54	1	0	
		11:50 - 11:55	56	55	55	1	0	
12:00 - 12:05		55	55	54	1	1		
Bombeii	28/07/2023	14:45 - 14:50	59	59	65	6	6	6
		14:50 - 14:55	60	60	64	4	4	

		14:55 - 15:00	61	60	68	7	8	
	07/09/2023	15:20 - 15:25	65	66	68	3	2	3
		15:25 - 15:30	68	61	65	3	4	
		15:30 - 15:35	66	63	67	1	4	
	11/07/2024	14:25 - 14:30	50	51	54	4	3	4
		14:30 - 14:35	50	50	50	0	0	
		14:35 - 14:40	47	48	54	7	6	
		14:40 - 14:45	48	50	53	5	3	
nº de dados com um índice igual ao sensor a comparar			29	28	Média	5	5	
% resultados com índice igual			85%	82%				
nº de dados com um índice um nível acima do sensor a comprar			34	34				
Concordância			100%	100%				

Através dos resultados presentes na Tabela 13 verifica-se que o absoluto médio de todas as amostragens para ambos os sensores foi de 5 dB(A), um valor superior aos 1,5 dB descritos pelo fabricante como a incerteza de medição do equipamento mas satisfatórios tendo a conta as condições de amostragem. Como os sensores SOM se encontram mais próximos da superfície e por isso, mais próximos das fontes de ruído era esperado que existissem diferenças entre os resultados. Os índices de ruído obtido através dos dois tipos de sensores foram comparados obtendo-se uma percentagem e resultados com um índice igual de 85% no caso do sensor SOM_1 e de 82% no caso do sensor SOM_2. Verifica-se que por vezes apenas do índice obtido ser diferente o desvio absoluto é muito baixo e que por isso os resultados são concordantes. O nível de concordância foi de 100% para ambos os sensores. Olhando para estes resultados e tendo em conta o desvio absoluto médio de 5 dB(A) em ambos os casos leva a concluir que os resultados dos sensores SOM são comparáveis com os resultados da rede Aveiro STEAM City e que estes estão aptos para serem utilizados pelo público em atividades do projeto EduCITY.

Analisando a Tabela 14 e comparando o desvio absoluto médio de cada amostragem com as condições meteorológicas e com as notas retiradas no momento das amostragens verifica-se que não se encontra qualquer relação entre estes fatores o que indica que o desvio dos sensores se pode dever a erros no funcionamento do sensor resultando de bateria baixa ou a outros fatores desconhecidos.

Tabela 14 - comparação do desvio absoluto dos sensores com as condições meteorológicas e com observações relevantes para a amostragem.

Local	Data e hora	Condições meteorológicas	Notas	Desvio absoluto médio [dB(A)]
Estação Comboios	28/07/2023 11:00 - 11:05	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Prédio em construção próximo do local de amostragem	-
	06/09/2023 14:50 - 15:05	Quase sem nuvens, Temperatura 27°C, Humidade relativa 65%	Atuação musical a decorrer nas proximidades	6
	11/07/2024 10:00 - 12:20	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%		3
Museu de Arte Nova	28/07/2023 11:35 - 11:50	Céu limpo, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Rua encontrava-se em obras durante a amostragem	-
	06/09/2023 15:50 - 16:05	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 65%	Rua encontrava-se em obras durante a amostragem	2
	11/07/2024 11:05 - 11:25	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%		10
Casa dos Morgados da Pedricosa	28/07/2023 14:15 - 14:30	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%	Presença de um grande grupo de pessoas e música nas proximidades	7
	06/09/2023 16:20 - 16:35	Quase sem nuvens, Temperatura 25°C, Humidade relativa 65%		4
	11/07/2024 11:40 - 12:05	Encoberto, Temperatura 20°C, Humidade relativa 88%		1
Bombeiros Velhos	28/07/2023 14:45 - 14:50	Quase sem nuvens, Temperatura 24°C, Humidade relativa 84%		6
	07/09/2023 15:20 - 15:35	Quase sem nuvens, Temperatura 26°C, Humidade relativa 71%		3
	11/07/2024 14:25 - 14:45	Encoberto, Temperatura 22°C, Humidade relativa 88%	Estrada parcialmente cortada	4

Capítulo 5: Desenvolvimento dos índices ambientais

5.1 Desenvolvimento dos índices ambientais em contexto de ciência cidadã

Apesar dos efeitos na saúde da exposição a poluição ambiental serem os mesmos em todo o mundo não existe uniformidade nos diferentes índices de qualidade do ar ou de ruído. Isto porque um índice serve principalmente como ferramenta de comunicação e por isso é influenciado por vários fatores como a finalidade dessa comunicação, o público alvo, o meio de comunicação ou mesmo o nível de poluição atmosférica ou ruído de uma dada região. Contudo independentemente disto é importante que o índice reflita corretamente os impactos na saúde da exposição a poluentes. Um índice com intervalos com valores limite mais baixos, pode levar a uma percepção do risco mais aproximada da realidade o que por sua vez pode levar os seus utilizadores a uma maior predisposição na adoção de medidas de proteção da saúde (Yang et al., 2024). Por outro lado, esse mesmo índice em regiões severamente poluídas que resultaria sempre numa classificação má o que pode levar a uma normalização do risco e a cansaço na adoção de medidas preventivas perdendo-se o impacto positivo (Yang et al., 2024). É assim necessário encontrar o equilíbrio entre aquilo que é a comunicação rigorosa do risco de um determinado poluente ambiental e a finalidade da comunicação desse risco (Yang et al., 2024). Um bom índice tem em consideração as interações entre o público e o ambiente, a complexidade é adaptada ao público-alvo e deve incorporar representações gráficas (Karatzas, 2009). Esta informação deve ainda estar localizada do tempo e espaço e deverá, se possível, ter em consideração o risco para a saúde associado ao público-alvo. Isto é particularmente relevante para grupos de risco que por serem mais suscetíveis à poluição ambiental deverão seguir outro tipo de concelhos.

Por outro lado, os sensores ambientais usados no âmbito desta dissertação são sensores de baixo custo que têm um tempo de aquisição de dados muito inferior aos intervalos de tempo normalmente descritos pelos índices de qualidade do ar ou ruído. Estes geralmente são relativos aos impactos na saúde de pelo menos uma hora de exposição visto que os impactos documentados pela literatura também são relativos a estes períodos mais alargados. É por isso necessário adaptar os índices às características dos sensores de forma a não transmitir ideias erradas.

De forma a desenvolver o índice de ruído e o índice de qualidade do ar EduCITY foi realizada uma pesquisa de literatura cinzenta e literatura científica com o objetivo de resumir as práticas atuais na comunicação com o público de medições ambientais de ruído e qualidade do ar. Esta pesquisa tem o objetivo de reunir aquilo que é resultado de pesquisa científica nesta área bem como aquilo que é o trabalho de agências governamentais, organizações não governamentais e outras entidades. A partir da informação recolhida através desta pesquisa pretende-se compreender quais são as fontes nas quais se baseiam os índices, qual o método de cálculo do índice, quais são os intervalos de concentração de poluentes ou de intensidade de sonora, quais os concelhos para a saúde, qual o número de intervalos, que cores são usadas para comunicar o risco e quais são as descrições de cada intervalo. A partir destas informações pretende-se definir as linhas orientadoras para o desenvolvimento dos índices EduCITY.

Para a realização desta pesquisa de literatura optou-se por uma metodologia integrativa adaptada de a partir de Souza et al. (2010). A revisão integrativa permite a “integração” de estudos de diferentes com diferentes abordagens metodológica, diferentes perspetivas ou mesmo estudos experimentais e não experimentais (Souza et al., 2010). A revisão integrativa é por isso apropriada para abordar tópicos complexos e com grande variedade de informação e o que permite o desenvolvimento de conhecimento novo (Renner et al., 2022; Souza et al., 2010).

A metodologia da revisão de literatura adotada foi a seguinte:

- 1- Elaboração da questão de investigação: elaboração da pergunta que determina o que é incluído e excluído e que informação é recolhida a partir de cada estudo.
- 2- Pesquisa de literatura: Pesquisa em bases de dados que deve ser abrangente. Elaboração de critérios de inclusão e exclusão, de acordo com a questão de investigação, para assegurar confiabilidade dos resultados.
- 3- Recolha de dados: extração dos dados relevantes para o estudo.
- 4- Análise crítica dos dados recolhidos: Ponderação dos dados de acordo com o nível de rigor da informação. Informação classificada de acordo com a fonte: Nível 1- Website; Nível 2- Dissertações e mestrado; Nível 3- Website de instituições governamentais ou semelhante; Nível 4- Literatura científica.
- 5- Discussão dos resultados: Comparação dos dados recolhidos identificando pontos em comum, comparação de metodologias e desenvolvimento de um índice novo.
- 6- Apresentação de conclusões da revisão integrativa.

Na pesquisa de literatura cinzenta em motores de busca como o Google é difícil selecionar os resultados devido ao seu elevado número. Por isso, é necessário limitar o número resultados admitidos dependendo do motor de busca para apresentar em primeiro lugar os resultados mais relevantes (Godin et al., 2015). Assim, limitou-se os resultados da pesquisa de literatura cinzenta aos primeiros 25 de cada pesquisa realizada.

5.2 Metodologia para o desenvolvimento do índice de qualidade do ar EduCITY e resultados

Este trabalho foi adaptado a partir de Figueiredo et al., (no prelo). A pesquisa de literatura tem o objetivo de responder à questão de investigação definida no referido estudo: “Quais são as práticas atuais na comunicação com o público via índice de dados científicos resultantes de sensores de qualidade do ar?”.

Em dezembro de 2023 realizou-se uma pesquisa no motor de busca Google utilizando as seguintes equações de pesquisa:

- 1) "air quality index" OR "air pollution index",
- 2) "índice de qualidade do ar" OR "índice de poluição atmosférica".

Os resultados desta pesquisa foram selecionados de acordo com os critérios de seleção presentes na Tabela 15.

Tabela 15 - Critérios de inclusão e exclusão utilizados na revisão de literatura sobre índices de qualidade do ar.

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
É relativo a um índice de qualidade do ar	Não é relativo a um índice de qualidade do ar
É relativo a ambiente exterior	É relativo a ambiente interior
É relativo a ambiente urbano	Não é relativo a ambiente urbano
É relativo ao uso de dados ambientais para promover a consciencialização pública	Não é relativo ao uso de dados ambientais para promover a consciencialização pública
Apresenta a versão mais atualizada da informação	Apresenta uma versão desatualizada da informação

Dos resultados válidos desta revisão de literatura cinzenta foram extraídos os dados seguintes quando disponíveis: autor/fonte da informação, descrição, cor, intervalo de concentração de partículas PM_{10} e $PM_{2.5}$, concelhos para a saúde de cada intervalo, método de cálculo do índice e informação na qual se baseia para desenvolvimento dos índices.

O resultado da pesquisa de literatura cinzenta foram 16 websites. Destes foi extraída a informação relevante estando este trabalho resumido nas tabelas presentes no Anexo 1. As tabelas presentes neste Anexo resumem as informações de cada índice de qualidade do ar com foco nos poluentes PM_{10} e $PM_{2.5}$ os intervalos de cada índice, a descrição, concentrações limite de PM_{10} e $PM_{2.5}$ e descrição de efeitos na saúde de cada poluente, método do cálculo do índice e a informação na qual se baseia o índice.

A partir desta pesquisa foram encontrados 11 índices de qualidade do ar que se distinguem nas cores que ilustram cada índice, nos intervalos de concentração, nos concelhos para a saúde e no número de intervalos. Alguns índices optaram por subdividir intervalos numerando os numa escala de 0 a 10 ou 0 a 500, enquanto outros apenas diferenciam os intervalos pela cor ou descrição.

O número de categorias de cada índice varia entre 4 e 6. Os índices com o menor número de categorias sendo estas geralmente, baixo, moderado, alto e muito alto, são subdivididos por escalas numéricas de 0 a 10. Os índices com 5 e 6 categorias subdividem respetivamente uma e duas categorias da escala anterior permitindo que concelhos para a saúde sejam mais adaptados e detalhados. Assim nos índices com um maior número de categorias existe uma definição mais evidente do limiar inferior a partir do qual a exposição a poluentes tem efeitos significativos na saúde e nas concentrações mais altas existe uma maior severidade nos efeitos na saúde descritos. Destaca-se também que alguns índices definem impactos específicos da exposição aos diferentes poluentes usados no cálculo do índice. As cores utilizadas para ilustração dos índices variam amplamente sendo utilizados tons mais claros como verde, amarelo e laranja (por esta ordem) para ilustrar as concentrações de poluentes mais baixas e tons escuros como vermelho roxo castanho e preto (por esta ordem) para as concentrações mais altas. Em alguns casos o verde é substituído nas categorias iniciais por azul talvez numa alusão à imagem do céu azul indicativo de uma atmosfera limpa. Também se verifica uso de tons muito vivos de rosa para ilustrar concentrações mais altas optando por uma cor chamativa em detrimento de cores mais escuras.

A grande generalidade dos índices baseia a definição dos intervalos e os efeitos/concelhos para a saúde em diretrizes da OMS, da EPA, da EEA e/ou em diretrizes/legislação/agências de proteção ambiental. Todos os índices bem como as diretrizes nas quais se baseiam são relativos aos efeitos de pelo menos uma hora de exposição a poluentes. Os índices consideram diferentes períodos no cálculo de médias sendo que alguns têm mesmo médias variáveis considerando períodos mais curtos em episódios de alta concentração ou alta variabilidade de poluentes.

A descrição dos efeitos para a saúde e as orientações para proteção da mesma estes são geralmente feitas em separado para a população geral e para grupos de risco. As recomendações dos primeiros intervalos (muito bom/bom) indicam pouco nenhum impacto na saúde permitindo atividade física ao ar livre a toda a gente. No intervalo seguinte (regular/moderado) é recomendado a população sensível que limite a sua atividade física intensa uma vez que pode experienciar sintomas leves e não são feitas recomendações para a população geral. O intervalo seguinte (mau/fraco) e recomendada a redução da atividade física intensa para grupos de risco que podem ver os seus sintomas agravados. Este grupo deve ainda monitorizar os seus sintomas, seguir de forma rigorosa medicações prescritas e evitar áreas poluídas e outros fatores de risco. A população geral deve limitar atividades físicas ao ar livre se apresentar sintomas. O próximo nível (mau/muito mau), os sintomas nos grupos sensíveis agravam-se, há um aumento do risco de morte prematura e, por isso, os grupos sensíveis devem limitar todas as atividades físicas intensas, vigiar sintomas, seguir tratamentos médicos prescritos e permanecer em ambientes interiores o máximo possível. Na população em geral, há um

agravamento dos sintomas devendo-se evitar atividades intensas, limitar o tempo ao ar livre, evitar outros fatores de risco e, quando estiverem em ambientes interiores, deve manter-se portas e janelas fechadas. Alguns índices têm ainda um último patamar (perigoso/crítico) para concentrações onde até mesmo exposição de curta duração pode ter efeitos significativos para a saúde e aumentar o risco de morte prematura. Isto é mais comum em índices desenvolvidos para regiões severamente poluídas. Neste patamar os efeitos na saúde citados são os mesmos, mas é utilizada linguagem mais alarmante salientando o risco de morte prematura e apelando ao especial cuidado da população especialmente dos grupos de risco.

O cálculo dos índices considera todos os poluentes sendo que o índice é definido pela pior classificação obtida de entre todos os poluentes.

Verifica-se que o índice da EPA é o mais utilizado que com alterações ou de forma integral aparece em 6 dos 16 websites encontrados.

No desenvolvimento de um índice de qualidade do ar são tidos em conta os seguintes fatores: impactos na saúde da exposição a poluição atmosférica definidos pela OMS, legislação e diretrizes de agências governamentais sobre qualidade do ar, padrões de qualidade do ar do local para o qual se está a desenvolver o índice e o público-alvo.

O índice desenvolvido neste trabalho foi utilizado em Aveiro, uma cidade de média dimensão, por crianças entre os 9º e 12º ano de escolaridade. Assim, este índice deve considerar diretrizes de qualidade de ar Nacionais e Europeias, diretrizes da OMS sobre impactos da poluição atmosférica na saúde, idade do público alvo e as características dos sensores de baixo custo EduCITY.

Os intervalos de concentração do índice proposto são uma solução de compromisso entre o índice de qualidade do ar da AEA, que está baseado nas recomendações da organização mundial de saúde e nas diretivas europeias sobre qualidade do ar, o índice de qualidade do ar da APA, minimizando às diferenças entre o índice EduCITY e o índice disponibilizado pela APA. As recomendações/concelhos para proteção da saúde são adaptadas a partir do índice da EPA e do índice do Departamento de Água e Regulação Ambiental do Governo da Austrália Ocidental que apresenta recomendações específicas para PM. Essas recomendações são adaptadas para o público alvo excluindo recomendações para crianças e idosos. Os sensores de baixo custo do projeto EduCITY têm uma frequência de aquisição de dados na ordem dos minutos. Portanto, é necessário considerar as informações sobre os níveis de risco comunicadas como indicativas de exposição a curto prazo. Por fim, as recomendações de saúde devem considerar o período de exposição ao qual se referem diferenciando os impactos da exposição momentânea e de curta duração que são medidos pelos sensores PM daquilo que é uma exposição mais prolongada cujos efeitos são descritos por estas recomendações.

O resultado do desenvolvimento do índice surge descrito na Tabela 16.

Tabela 16 - Índice de qualidade do ar EduCITY.

Descrição	Intervalos de concentração [µg/m ³]		Recomendações / Concelhos de saúde
	PM _{2.5}	PM ₁₀	
Muito bom	0-10	0-20	A qualidade do ar é muito boa. Não existem riscos para a saúde.
Bom	11-21	21-40	Aproveita o dia como é habitual.
Moderado	21-25	41-50	Pessoas sensíveis (ex. doenças respiratórias) podem experienciar sintomas em exposições prolongadas e (>1h). Nesse caso deve-se reduzir atividade física no exterior.
Fraco	26-50	51-100	Exposição prolongada (>1h) poderá piorar sintomas. Grupos de risco (ex. doenças respiratórias) devem evitar atividades físicas no exterior. População geral deve evitar outros fatores de risco e reduzir atividade física no exterior.
Mau	50-75	101-150	Grupos de risco e outros que experienciem sintomas devem permanecer no interior com sempre que possível. Atividade física no exterior deve ser evitada.
Muito mau	75-800	151-1200	Perigoso para grupos de risco que devem evitar toda a atividade física. População em geral deve permanecer em ambiente interior com janelas fechadas especialmente no caso de experienciar sintomas.

5.3 Metodologia para o desenvolvimento do índice de ruído EduCITY e resultados

A pesquisa de literatura tem o objetivo de responder a seguinte questão de investigação: “Quais são as práticas atuais na comunicação com o público via índice de dados científicos resultantes de sensores de ruído”. Esta pesquisa foi realizada em fevereiro de 2024.

Para isso foi realizada uma pesquisa na base de dados Scopus com a seguinte equação de pesquisa: “noise pollution index” OR “noise index” OR “noise pollution index” OR “noise index”.

Devido ao alto número de resultados encontrados a partir desta pesquisa optou-se por analisar apenas os primeiros 30 resultados dependendo da base de dados para selecionar os resultados mais relevantes. Os resultados foram selecionados segundo os critérios presentes na Tabela 17.

Tabela 17 - Critérios de inclusão e exclusão utilizados na revisão de literatura sobre índices de ruído.

Critério de inclusão	Critério de exclusão
Faz uso de escalas/ índices/ descrições subjetivas de ruído	Não faz uso de escalas/ índices/ descrições subjetivas de ruído
É relativo a ruído ambiente	Não é relativo a ruído ambiente
É relativo a dB ou dB(A)	Não é relativo a dB ou dB(A)

Como a primeira pesquisa resultou em 0 artigos selecionados, foi realizada uma segunda pesquisa com uma nova equação de pesquisa: “noise pollution scale” or “noise pollution levels” or “noise scale” or “noise levels”. Seguindo a mesma metodologia da pesquisa anterior resultou novamente em 0 artigos selecionados.

Devido à ausência de resultados indicativa de que este é um tema pouco explorado atualmente procedeu-se a uma pesquisa de literatura cinzenta através do motor de busca Google. Foram realizadas 4 pesquisas distintas e as equações de pesquisa inseridas no motor de busca foram as seguintes:

- 1) “Escala de poluição sonora” OR “Noise pollution scale”
- 2) “Escala de poluição sonora” OR “Noise scale”
- 3) “Subjective noise description” OR “Descrição subjetiva de poluição sonora”
- 4) “Noise pollution threshold” OR “Limiar de poluição sonora”

Esta pesquisa resultou em 7 escalas/índices/descrições subjetivas de ruído. Destes resultados foram extraídos os dados as seguintes informações quando disponíveis: autor/ fonte da informação, descrição, cor, intervalo de intensidade sonora e concelhos para a saúde de cada intervalo, método de cálculo do índice e informação em que se baseia para desenvolvimento dos índices.

Devido ao reduzido número de resultados realizou-se uma segunda parte do processo de revisão de literatura com o objetivo de sistematizar os efeitos na saúde associados aos diferentes níveis de intensidade sonora. A questão de investigação que se pretendia responder era: “Quais são os efeitos para a saúde humana da exposição de curto prazo a diferentes níveis de intensidade sonora?”

Para responder a esta pergunta realizou-se uma pesquisa na base de dados Scopus com a seguinte equação de pesquisa: “noise pollution health effects” or “noise health effects” or “noise pollution limit values” or “noise limit values” or “noise pollution guidelines” or “noise guidelines”

Os artigos foram selecionados segundo os critérios presentes na Tabela 17 o que resultou em 0 artigos selecionados.

Por último foi realizada uma pesquisa no google acadêmico com a seguinte equação de pesquisa: “noise pollution impacts on health”. Foram analisados os primeiros 30 resultados que foram selecionados através dos critérios definidos na Tabela 17. Esta pesquisa resultou em 11 artigos selecionados.

A revisão de literatura cinzenta resultou em 7 escalas/índices/descrições subjetivas de ruído. Estes resultados são todos muito diferentes tanto nas descrições como na escolha de cores que caracteriza cada intervalo de ruído. Verifica-se, no entanto, alguma semelhança nos intervalos de nível de pressão sonora em que se dividem os índices. Os resultados desta pesquisa estão descritos na Tabela 18.

Tabela 18 - Sistematização da informação recolhida a partir da revisão de literatura cinzenta sobre escalas/índices/descrições subjetivas de ruído.

Website	Descrição	Nível de pressão sonora
(Nível 2) Dissertação de mestrado: “Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para fins de planejamento urbano” (Saliba Santos, 2020)		0-20
		20-40
		40-60
		60-80
		80-100
		100-120
		>120
(Nível 2) Dissertação de mestrado: “Avaliação objetiva e subjetiva do ruído ambiental do campus politécnico da ufpr” (Kaminski Schittini, 2020)	Muito silencioso	0-20
		20-40
	Silencioso	40-60
	Barulhento	60-80
		80-100
	Muito barulhento	100-120
	Intolerável	120-140
	>140	
(Nível 2) Monografia para obtenção do grau de Bacharel: “Análise da poluição sonora nas regiões administrativas do distrito federal” (Raphael Pinto Mattos, 2019)	Muito Baixo	0-20
	Baixo	20-40
	Moderado	40-60
	Moderado/ Alto	60-80
	Alto	80-100
	Muito Alto	100-120
	Ensurdecedor	120-140
(Nível 2) Dissertação de mestrado: “O ruído nas escolas” (Rainho Pereira Branco, 2013)	Risco, Interfere na conversação, incomodativo	0-90
	Lesivo	90-120
	Altamente lesivo	>120
	Alteração do Sono	0-30
	Dificuldade para a comunicação	30-35
	Doenças graves (exterior)	35-55
	Danos auditivos (ruído diário durante 24 h)	55-70
	Danos auditivos (ruído diário durante 1 h)	70-85

	Danos auditivos em crianças (nível máximo de ruído)	85-120
	Danos auditivos em adultos (nível máximo de ruído)	120-140
(Nível 2) Dissertação de mestrado: “Monitorização do Ruído no Metropolitano de Lisboa” (Torres Delgado, 2021)	Nível em que a audição inicia	0-10
	Ruído apenas audível	10-20
	Ambiente considerado quieto em relação a ruído	30-40
	Agradável	50-60
	Uso de telemóvel torna-se difícil	70
	Gera irritabilidade	80
	Dano auditivo que gera irritabilidade	90
	Perceção de ruído muito alto e incomodidade alta	100
	Perceção de som extremamente alto e incomodidade alta	110
	Esforço vocal máximo em resposta	120-130
Dor no aparelho auditivo, incomodidade extrema	140	
(Nível 3) Página web sobre ruído da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2021b)	Repousante	0-50
	Incomodativo	50-80
	Fatigante	80-100
	Perigoso	100-120
	Doloroso	>120

De modo geral, os resultados definem o primeiro intervalo sonoro como sendo desde os 0 até aos 40 dB descrevendo-o como baixo, calmo ou repousante e ilustrando-o através tons claros de verde, amarelo ou azul. Alguns dos índices fazem subdivisões adicionais, mas apresentam descrições que as tornam muito semelhantes. Um dos índices faz distinção dos 30 dB considerando o valor máximo de ruído que permite o sono sem perturbações. De um modo geral o próximo intervalo vai desde os 40 até aos 60 dB sendo caracterizando como silencioso, agradável ou moderado ou sem impactos significativos para a saúde e ilustrado com cores mais escuras como laranja ou amarelo-escuro. O próximo intervalo vai desde os 60 até aos 80 dB e é caracterizado como barulhento moderadamente alto podendo ter efeitos para a saúde como incomodo e perturbadores da comunicação. O intervalo seguinte vai desde os 80 até aos 90 dB em alguns casos enquanto em outros está entre os 80 e os 100 dB. Estes intervalos são caracterizados como alto, barulhento ou fatigante podendo gerar irritabilidade e perda auditiva dependendo do tempo de exposição e é ilustrado por vermelho-claro e amarelo-escuro. A este segue-se o intervalo entre os 100 e o 120 dB caracterizado como muito barulhento, muito alto ou perigoso, lesivo podendo causar incomodidade alta e danos auditivos em períodos curtos. É ilustrado por laranja-escuro ou vermelho-claro. O último patamar é o superior a 120 dB caracterizado como intolerável, ensurdecedor, doloroso e altamente lesivo podendo causar incomodidade extrema, dano auditivo em exposição de muito curta duração e dificuldade de comunicação sendo ilustrado por vermelho-escuro.

Através desta revisão bibliográfica não foram encontrados projetos, agências governamentais, ONG ou semelhantes que usem índices de ruído para comunicar dados da medição de poluição sonora em contexto urbano.

Verifica-se ainda que grande generalidade dos indicadores usados para relacionar poluição sonora e efeitos na saúde são indicadores como L_{den} , L_{dia} e L_{noite} . Uma vez que

os sensores de ruído EduCITY não calculam este tipo de indicador seria errado utilizar este tipo de informação uma vez que se estaria a informar o utilizador sobre os efeitos na saúde diferentes daquilo é medido pelos sensores.

Devido ao reduzido número de índices de ruído encontrados foi realizada uma segunda parte da pesquisa de literatura onde se procurou identificar os efeitos na saúde de determinados níveis de pressão sonora de forma a melhor justificar a escolha dos intervalos e da descrição dos possíveis efeitos na saúde.

A pesquisa na base de dados Scopus com esse objetivo resultou em 0 artigos depois de aplicar os critérios de seleção.

Por fim a pesquisa realizada no Google Académico em resultou em 11 artigos depois de aplicar os critérios de seleção. O resumo dos efeitos na saúde do ruído foram reunidos na Tabela 19.

Tabela 19 - Sistematização de resultados da revisão da literatura sobre impactos do ruído na saúde.

Intensidade Sonora	Tempo de exposição	Efeitos na saúde	Referência
>30 dB	Exposição contínua	Perturbação do sono.	Jariwala, 2017 Jamir et al., 2014 Firdaus & Ahmad, 2010
>50 dB	Mais do que 50 eventos sonoros por noite	Perturbação do sono.	S. A. Stansfeld & Matheson, 2003
	Diária anual	Aumento do risco de Enfarte Agudo do Miocárdio (EAM) e de Hipertensão Arterial.	Hammer et al., 2014 Aluko & Nna, 2015 Jamir et al., 2014
	Prolongada (horas)	Provoca dificuldade de concentração e incomodo.	Hammer et al., 2014 Jamir et al., 2014
65 dB	Exposição diária (24h)	Resposta do Sistema Neuroendócrino com aumento de níveis de cortisol e adrenalina. Aumento da frequência cardíaca, pressão arterial e do risco de EAM. Efeitos negativos saúde mental.	Jariwala, 2017 Baffoe et al., 2022 S. Stansfeld, 2015 Aluko & Nna, 2015
70 dB	Curta duração	Não causa perda auditiva.	Jariwala, 2017 Firdaus & Ahmad, 2010
	Exposição diária (24h)	Perda auditiva e consequências para saúde mental e física	A. Gupta et al., 2018 Jamir et al., 2014
>80 dB	Curta duração	Resposta do Sistema Neuroendócrino com aumento de níveis de cortisol, adrenalina. Aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial.	Jariwala, 2017 Jamir et al., 2014 Aluko & Nna, 2015

	Exposição anual	Níveis de colesterol alto	Aluko & Nna, 2015
>85 dB	Exposição prolongada (8h)	Perda auditiva permanente e aumento de pressão arterial. Potencialmente perigoso.	S. A. Stansfeld & Matheson, 2003 A. Gupta et al., 2018 Firdaus & Ahmad, 2010 Jariwala, 2017
>100 dB	Exposição de curta duração (15 min)	Perda auditiva permanente.	A. Gupta et al., 2018 Jamir et al., 2014
>120 dB	Qualquer	Perda auditiva permanente.	A. Gupta et al., 2018 Jariwala, 2017

Segundo os resultados da revisão de literatura conclui-se que 30 dB é considerado o limite a partir do qual o ruído apresenta efeitos para a saúde perturbando o sono. A partir do limiar dos 50 dB a exposição anual tem efeitos na saúde cardiovascular e pode gerar dificuldades de concentração. A partir dos 65 dB a exposição diária pode gerar problemas para a saúde cardiovascular, saúde mental e pode gerar incomodidade e stress. Os 70 dB são o limiar a partir do qual pode provocar perda auditiva com exposição diária. Nos 85 dB o tempo de exposição para o mesmo tipo de consequências para a saúde baixa para 8 horas sendo que para 110 dB esse período é de 15 minutos. O último limiar considerado é o dos 120 dB limiar a partir do qual qualquer exposição independentemente da duração pode gerar perda auditiva. De uma forma geral os efeitos negativos na saúde do ruído dependem da intensidade e do tempo de exposição.

Consequências para a saúde dependem da duração. Então os efeitos na saúde descritos vão depender também disso. Assim o índice de ruído desenvolvido teve de o ter em conta. De forma a desenvolver os diferentes patamares do índice de ruído recorreu-se aos resultados da revisão de literatura cinzenta e, através das conclusões desta pesquisa, definiu-se o primeiro esboço de índice de ruído que está ilustrado na Tabela 20.

Tabela 20 - Primeiro esboço do índice de ruído EduCITY.

Índice	dB(A)
Repousante	0 - 40
Baixo	41- 60
Incomodativo	61 - 80
Fatigante	81 - 100
Perigoso	101 - 120
Doloroso	+ 120

O índice tem o seu primeiro intervalo dos 0 aos 40 dB tal como na generalidade dos índices encontrados. A este intervalo atribuiu-se a descrição de “Repousante”, o mesmo descritivo do que é usado pela APA no seu índice e uma vez que aparece definido nos diversos índices como repousante e não tendo efeitos para a saúde. As descrições do índice desenvolvido seguem as denominações do índice da APA sempre que o intervalo se ajustava a esse índice. O próximo intervalo foi definido entre os 40 e os 60 dB uma vez que vários índices indicam os 60 dB como sendo o limiar de um ambiente considerado calmo, ruído baixo ou não causando perturbações à comunicação. De forma a refletir esta ideia de modo a diferenciar este intervalo do anterior atribuiu-se a descrição de “baixo”. O próximo patamar considerado foi o dos 80 dB por ser considerado o nível

de intensidade sonora a partir do qual existem maiores efeitos negativos para a saúde como fadiga ou irritabilidade. Assim o patamar dos 60-80 dB descrito foi descrito como “Incomodativo”. O patamar seguinte é a dos 100 dB a partir do qual se considera haver mais perigosidade na exposição ao ruído com possíveis efeitos na saúde auditiva e agravamento de outros como fadiga, incomodo ou irritabilidade. Descreveu-se o intervalo entre os 80-100 dB como fatigante. O patamar seguinte é o dos 120 dB patamar a partir do qual qualquer exposição poderá provoca perda auditiva e dor. Por isso descreveu-se o patamar entre 100-120 dB como “Perigoso” e o patamar acima de 120 dB como “Doloroso”.

Uma vez desenvolvido o primeiro esboço do índice realizou-se uma comparação com as conclusões da revisão de literatura relativa aos efeitos na saúde da exposição a diferentes níveis de intensidade sonora. Este trabalho foi realizado com o objetivo de ajustar os intervalos aos efeitos na saúde descritos na literatura de forma a refletirem melhor a evidencia científica. Para isso foram comparados patamares que estavam associados a efeitos na saúde significativamente mais graves em comparação com o patamar anterior e aqueles que eram diferentes entre a revisão de literatura e o índice. Assim foram considerados o patamar dos 30 dB patamar a partir do qual existe perturbação do sono o patamar e o patamar dos 65 dB patamar a partir do qual a exposição muito prolongada pode levar a efeitos adversos na saúde.

Por fim a cada um dos intervalos finais foi atribuída uma descrição dos potenciais efeitos na saúde a partir destas mesmas conclusões. Com estas descrições pretendia-se associar o nível de risco de exposição a determinados níveis de ruído e a determinado tempo de exposição de forma a permitir uma correta percepção da interação entre o ambiente sonoro e o organismo.

A Tabela 21 apresenta o resultado do desenvolvimento do índice de ruído EduCITY.

Tabela 21 - Índice de ruído EduCITY.

Índice/ cor	dB(A)	Efeitos para a saúde
Repousante	0-30	Sem efeitos na saúde
Baixo	31-65	Pode perturbar o sono.
Incomodativo	66-80	Exposição diária (24H) leva a problemas cardiovascular e stress.
Fatigante	81-100	Exposição prolongada (8H) pode levar a perda auditiva permanente, problemas cardiovascular, stress e incomodo.
Nocivo	101-120	Exposição de curta duração (15 min) pode levar a perda auditiva permanente.
Perigoso	+121	Perda auditiva permanente.

Capítulo 6: Desenvolvimento de jogos educativos e de questionários de avaliação da app EduCITY

O principal objetivo dos jogos é aumentar a consciencialização para os problemas ambientais da poluição atmosférica e sonora na cidade de Aveiro. O jogo apresenta 5 pontos chave que pretende transmitir:

- 1- Associação entre poluição e as suas fontes;
- 2- Associação entre ações do quotidiano e poluição;
- 3- Associação entre poluição e consequências para saúde;
- 4- Noções base sobre poluição e poluentes;
- 5- Boas práticas para diminuição de risco associado à exposição a poluentes.

Para garantir a fiabilidade dos jogos, o uso dos sensores não é obrigatório. Pretende-se que os sensores sirvam como ferramenta complementar, permitindo aos utilizadores a quantificação da poluição ambiental aproximando-os do ambiente que os rodeia. Assim os sensores são usados numa lógica de aprendizagem prática. O percurso do jogo foi desenhado para permitir este tipo de exploração.

O percurso dos jogos tem em consideração as características da cidade para maximizar as vantagens do uso de sensores de baixo custo, ou seja, passa por ruas com grande intensidade de trânsito, com outras menor intensidade, zonas de velocidade reduzida e por parques urbanos, tanto quanto possível. Outros pontos de interesse como estações de medição de qualidade do ar/ruído, paragens de autocarro e outros locais ligados às problemáticas foram também incluídos. Adicionalmente foram selecionados pontos de relevância patrimonial de forma a criar alguma diversidade de perguntas, motivando mais o utilizador para o jogo e fomentando a ligação dos utilizadores à cidade.

Os jogos foram desenvolvidos para crianças com o 8 ano de escolaridade básica concluído. Para isso foram avaliadas as aprendizagens essenciais do 8º ano de escolaridade de forma a garantir que os conhecimentos abordados estão de acordo com o nível de ensino.

6.1 Metodologia de desenvolvimento de jogos educativos

O primeiro passo do desenvolvimento do jogo foi a definição do público-alvo. Devido à complexidade dos temas, à qual acresce o uso dos sensores durante a atividade optou-se por adaptar o jogo aos conhecimentos de alunos a partir do 9º ano de escolaridade básica.

Relativamente ao uso de sensores de baixo custo, o projeto EduCITY dispõe de 3 equipamentos para monitorização da concentração de partículas $PM_{2.5}$ e PM_{10} e 2 para a monitorização do ruído. As atividades são desenvolvidas por turmas com até 28 alunos, divididas em grupos de 3 a 4, o que significa que poderá haver mais grupos do que sensores e por isso nem todos terão a oportunidade usufruir dos sensores. Por esta razão, o uso dos sensores não é obrigatório para responder corretamente às perguntas. O jogo deve-se focar em incentivar a curiosidade dos participantes na utilização os sensores ambientais através das introduções e feedbacks das questões.

De forma a minimizar o número de participantes que não fazem uso dos sensores em cada turma optou-se por desenvolver os dois jogos no mesmo percurso permitindo que sejam jogados em simultâneo e que se tire partido também dos 5 sensores em simultâneo.

De seguida foram definidos os pontos de interesse que fazem parte do percurso do jogo. As atividades a serem desenvolvidas no âmbito desta dissertação foram realizadas em contexto escolar e por isso existe uma limitação temporal associada ao tempo de aula. Para além disso, a capacidade de atenção dos alunos vai diminuindo à medida que o tempo passa e se implicar grandes percursos a pé, o jogo torna-se mais

cansativo e menos agradável contribuindo negativamente para a aprendizagem. O projeto EduCITY ao longo da sua implementação realizou várias atividades com diferente número de perguntas e percursos o que permitiu perceber que a partir dos 45 minutos de jogo o nível de atenção, interesse e empenho dos jogadores diminuiu. Um jogo para ter esta duração deverá ter aproximadamente 23 questões e um percurso de 600 metros. Escolheu-se desenvolver o jogo na zona próxima das Escolas Secundárias José Estevão, Mário Sacramento e Homem Cristo para minimizar as deslocações dos alunos e facilitar a participação dos mesmos em contexto escolar. Por outro lado, esta é uma zona com diversos elementos relevantes para a temáticas da poluição atmosférica e do ruído como é o caso da estação de medição de qualidade do ar da CCDRC, estação de medição de qualidade do ar e ruído da rede Aveiro STEAM CITY, ruas com alta intensidade de tráfego rodoviário e um parque urbano.

Assim, definiu-se o primeiro ponto de interesse do jogo na estação de medição de qualidade do ar de referência da CCDRC, que se situa no recinto Escola Secundária José Estevão e é visível a partir da Avenida 25 de Abril. Para além disso, a rua onde se situa este ponto de interesse é uma rua com velocidade reduzida e é atravessada em toda a sua extensão por uma via ciclável constituindo fatores relevantes para a gestão do ruído urbano ou da poluição atmosférica.

O segundo ponto de interesse é o exterior do Museu de Santa Joana. Este local, sendo um local histórico de Aveiro, foi escolhido dada a sua proximidade ao primeiro ponto de interesse, por estar localizado próximo de um sensor de qualidade do ar e ruído da rede STEAM City e por ser um local de importância patrimonial para a cidade o que permite fomentar a ligação entre os participantes e o jogo e permite a introdução de questões sobre o património adicionando diversidade aos temas abordados.

O terceiro ponto de interesse é a paragem de autocarro localizada no lado sudeste da Avenida Santa Joana. As razões para a escolha deste ponto de interesse prendem-se com o facto de ser uma infraestrutura de transportes o que permite a introdução de questões relacionadas com mobilidade e os seus impactos, com o facto de se situar numa rua com 4 faixas de rodagem e grande intensidade de tráfego rodoviário.

O quarto ponto de interesse é a Federação Académica de Desporto Universitário. A escolha deste ponto prende-se pela proximidade aos restantes, pela relevância patrimonial deste edifício e pela importância do desporto para a saúde e para a implementação de boas práticas de minimização de risco de exposição a poluição atmosférica. Neste ponto de interesse são introduzidas questões relacionadas com consequências da poluição atmosférica e ruído na saúde.

O quinto e último ponto de interesse é o parque Infante D. Pedro. Este ponto faz parte de um corredor verde da cidade de Aveiro permitindo aos utilizadores a comparação da concentração de poluentes atmosféricos e intensidade do ruído entre zonas com alta intensidade de tráfego e uma área verde. Neste ponto de interesse são introduzidas perguntas sobre importância dos espaços verdes e sobre fontes naturais de poluentes.

De forma a garantir que os utilizadores estão familiarizados com os conteúdos do jogo analisaram-se as aprendizagens essenciais definidas pela direção geral da educação para o 9º ano de escolaridade para as disciplinas de matemática, físico-química e ciências da natureza.

Com o objetivo de assegurar que um jogo é eficaz no desenvolvimento de competências para a sustentabilidade é necessário garantir que este promove um bom processo de aprendizagem. Para isso é essencial que este seja motivador e que promova o interesse dos participantes. De seguida são discutidos os vários aspetos tidos em conta no desenvolvimento do jogo:

- 1- Fornecer informação antes da pergunta: de modo a garantir uma experiência de jogo menos frustrante, é necessário garantir que a resposta a cada pergunta é dada com base em conhecimento e não de modo aleatório (Hu et al., 2022). Isto é garantido através da elaboração de perguntas que vão ao encontro das aprendizagens essenciais ou fornecendo a informação

necessária a responder através de recursos educativos como são os vídeos, áudios ou conteúdos em realidade aumentada. Assim sendo foram desenvolvidos vários recursos educativos que ajudam o utilizador a responder às perguntas.

- 2- Discurso do jogo em linguagem falada: de forma a melhorar a legibilidade do discurso e aumentar o interesse dos utilizadores este deve ser desenvolvido em linguagem falada conversacional (Hu et al., 2022).
- 3- Eliminação de redundância: Informação irrelevante ou que não seja importante para a atividade deve ser eliminada de forma a diminuir frustração e desinteresse. Sempre que possível privilegiar recursos multimédia em detrimento de texto (Hu et al., 2022).
- 4- Narrativa: desenvolver o jogo de forma que sejam compreensíveis as razões para uma determinada sequência de perguntas iniciando o jogo com perguntas mais gerais e ir acrescentando conhecimentos (Pellas & Mystakidis, 2020).
- 5- Grau de dificuldade: assegurar que os desafios propostos são desafiantes de acordo com a idade e nível de escolaridade dos participantes tendo em conta também que os desafios não poderão ter demasiados passos ou ser demasiado complexos o que pode levar a frustração e desinteresse. Contudo, um grau de dificuldade demasiado baixo pode ter efeitos negativos (Pellas & Mystakidis, 2020).

6.2 Desenvolvimento do jogo educativo “EduCITY e a qualidade do ar”

O desenvolvimento das perguntas do jogo “EduCITY e a qualidade do ar” passou pela idealização de perguntas para cada ponto de interesse de forma que estas se relacionassem, na medida do possível, com o ambiente envolvente.

Assim, no primeiro ponto de interesse do jogo, o elemento mais importante é a estação de medição de qualidade do ar de referência da CCDRC. Esta estação realiza as medições que podem ser consultadas por toda a população a partir do site e app QualAR. Neste ponto são introduzidas várias informações sobre qualidade do ar, tais como: principais fontes de poluição, principais poluentes, química da atmosfera, impactos na saúde, noção de risco/impactos na saúde associados à exposição a poluição atmosférica, e boas práticas para minimização desse risco. Para além disso é apresentada a app QualAR e a sua importância para a minimização do risco de exposição a poluentes.

No segundo ponto de interesse, o Museu de Santa Joana, são abordados os seguintes tópicos: noções de risco/impactos na saúde associados à exposição a poluição atmosférica, e boas práticas para minimização desse risco, características das partículas PM. São ainda abordadas questões sobre o património histórico do ponto de interesse.

No terceiro ponto de interesse, paragem de autocarro localizada no lado Sudeste da Avenida Santa Joana, os temas abordados são mobilidade e as suas externalidades, boas práticas na mobilidade, relação entre decisões políticas e a poluição atmosférica e ligação entre atividades antrópicas e poluição atmosférica.

No quarto ponto de interesse, a Federação Académica de Desporto Universitário, os temas abordados são: risco/impactos na saúde associados à exposição a poluição atmosférica, e boas práticas para minimização desse risco e importância da prática desportiva.

No quinto e último ponto de interesse, o parque Infante D. Pedro, os temas abordados são os serviços ambientais fornecidos por uma zona verde urbana e fatores naturais que influenciam a qualidade do ar.

As perguntas iniciais, nos primeiros dois pontos de interesse, são perguntas de observação onde o utilizador tem necessidade de consultar conteúdos em realidade aumentada, recursos multimédia ou elementos de mobiliário urbano para responder

corretamente às perguntas. Com estas perguntas pretende-se introduzir o tema da poluição atmosférica: apresentar as principais fontes, explicar a ligação entre as ações do dia-a-dia a emissão de poluentes, familiarizar o jogador com os diferentes poluentes e características dos mesmos, introduzir os principais impactos na saúde da exposição a poluentes de forma a desenvolver uma noção de risco relacionado com a exposição a poluição atmosférica. Por fim introduz-se o tema das boas práticas em relação a mitigação desse meso risco informando sobre a possibilidade da consulta do estado da qualidade do ar e de como proceder de forma a evitar essa exposição a poluentes. Nos próximos pontos de interesse e à medida que o jogo vai avançando surgem perguntas mais difíceis que abrangem conhecimento e raciocínio matemático ou a interpretação de imagens para serem respondidas. Nestes pontos de interesse pretende-se continuar a explorar os conteúdos introduzidos anteriormente e abordar outros assuntos como relação entre decisões políticas e o combate a poluição ou a importância da ciência na definição dessas políticas. O jogo termina com perguntas sobre como a qualidade do ar pode ser afetada por fatores naturais, fatores muito desvalorizados ou mesmo ignorados pela maior parte da população.

O resultado deste trabalho está descrito no Apêndice 1.

De forma a fornecer a informação necessária para responder a algumas perguntas surge a necessidade de desenvolver recursos educativos. As perguntas dos dois primeiros pontos requerem informação complementar para serem respondidas que é fornecida na forma de AR Books. A recolha dos marcadores de RA que despoletam estes AR Books informação foram realizadas várias saídas de campo para recolher fotografias de marcadores naturais e para os testar posteriormente. Uma vez escolhidos os marcadores de realidade aumentada foram desenvolvidos os conteúdos destes recursos que estão descritos nos Apêndices 5, 6 e 7. Adicionalmente foram também desenvolvidos ou adaptados gráficos e imagens que ilustram as perguntas ou os conteúdos em realidade aumentada e que estão presentes nos Apêndices 3, 5 e 6.

6.3 Desenvolvimento do jogo educativo “EduCITY e ruído”

O primeiro ponto de interesse do jogo “EduCITY e o ruído” não é a estação de medição de qualidade do ar da Escola Secundária José Estevão, mas a entrada da Escola Secundária José Estevão uma vez que o ponto de interesse anterior em nada se relaciona com o tema do jogo. Este ponto de interesse encontra-se poucas dezenas de metros do primeiro ponto de interesse do jogo “EduCITY e a qualidade do ar”. No primeiro ponto de interesse são introduzidos conceitos básicos como a definição de ruído, características de um ruído, a sua presença no nosso dia-a-dia e aproveita-se a velocidade de circulação reduzida da rua para introduzir o conceito de políticas públicas de controlo de ruído e de responsabilidade política.

No segundo ponto de interesse, o Museu de Santa Joana, os temas abordados são: interação do ruído com o ser humano, ligação entre as fontes e o ruído urbano e por fim colocam-se duas perguntas sobre o património histórico.

No terceiro ponto de interesse, paragem de autocarro localizada no lado Sudeste da Avenida Santa Joana, os temas abordados são: escala logarítmica do ruído, associação entre ação do dia-a-dia e o ruído urbano e de forma ligar as perguntas ao ponto de interesse são feitas duas perguntas relacionadas com mobilidade de poluição atmosférica. Para além disso estas perguntas são incluídas neste jogo por terem um grau de dificuldade superior exigindo raciocínio matemático ou conhecimentos de físico-química.

No quarto ponto de interesse, a Federação Académica de Desporto Universitário, à semelhança do jogo anterior os temas abordados são: impactos/riscos para a saúde da exposição a ruído.

No último ponto de interesse, o parque Infante D. Pedro, os temas abordados são: boas práticas para redução do risco de exposição a ruído os serviços ambientais fornecidos por uma zona verde urbana.

As perguntas dos primeiros dois pontos de interesse são perguntas introdutórias onde se expõe algumas das principais características do ruído, definição de ruído, diferença entre intensidade e frequência, introduz-se o conceito de dB e de dB(A), principais fontes de ruído, presença do ruído no nosso dia-a-dia e percepção humana do ruído. No próximo ponto de interesse são aprofundados alguns dos temas referidos anteriormente: é aprofundada a explicação da escala logarítmica, é demonstrado o resultado da soma de 2 fontes sonoras e reforça-se a ligação entre fontes e o ruído. No ponto de interesse seguinte aprofunda-se e especifica-se as consequências possíveis do ruído na saúde e introduz-se o tema do índice de ruído. No último ponto de interesse é introduzida a questão das boas práticas para a proteção da saúde na sequência do tema saúde introduzido no ponto anterior e por fim são explorados os serviços ambientais dos espaços verdes à semelhança do que é feito no jogo 1 e usando os mesmos conteúdos em RA.

O resultado deste trabalho está descrito no Apêndice 2.

Ao longo do jogo várias perguntas são acompanhadas por informação complementar na forma de recursos multimédia vídeo e imagem. Foi também desenvolvido 1 AR Book seguindo os mesmos passos descritos no capítulo anterior de forma a fornecer ao utilizador informação adicional para responder a 2 perguntas do ponto de interesse 4. Este recurso educativo está descrito no Apêndice 6. Adicionalmente foram também desenvolvidos ou adaptados gráficos e imagens que ilustram as perguntas ou os conteúdos em realidade aumentada e que estão presentes nos Apêndices 2 e 6.

6.4 Metodologia para o desenvolvimento de questionários de avaliação das competências para a sustentabilidade

A necessidade de alcançar um desenvolvimento sustentável nunca foi tão evidente, mas esta mudança não é alcançável apenas através de decisões políticas ou de inovações tecnológicas (Bianchi et al., 2022). Para uma mudança de paradigma desta magnitude são necessárias alterações sociais mais profundas que são geradas através da aprendizagem ao longo da vida e da criação de consensos sociais (Bianchi et al., 2022). A resolução de problemas globais necessita de ação em vários níveis incluindo a nível local e individual. Esta ação individual surge do entendimento coletivo sobre a necessidade de ação e da criação de estratégias partilhadas de combate aos problemas ambientais. É neste quadro que “a Comissão Europeia desenvolveu o GreenComp como um quadro de referência para as competências em matéria de sustentabilidade a nível da EU” (Bianchi et al., 2022). Este quadro proporciona uma referência para o que significa e implica a sustentabilidade e para aquilo que é visto como as competências da sustentabilidade (Bianchi et al., 2022). O GreenComp serve como “catalisador em prol da sustentabilidade ambiental” uma vez que fornece as linhas orientadoras para o desenvolvimento de ferramentas educativas, estabelecendo 12 competências aplicáveis a todos os níveis de escolaridade, todas as idades e todos os contextos de aprendizagem (formal, não formal e informal).

Segundo o GreenComp “As competências em matéria de sustentabilidade capacitam os aprendentes para incorporar valores de sustentabilidade e adotar sistemas complexos, a fim de tomar ou solicitar medidas que restabeleçam e mantenham a saúde dos ecossistemas e reforcem a justiça, gerando visões de um futuro sustentável” e “A aprendizagem para a sustentabilidade ambiental visa fomentar uma mentalidade de sustentabilidade, desde a infância até à idade adulta, com o entendimento de que os seres humanos fazem parte da natureza e dependem da mesma. Os aprendentes estão equipados com conhecimentos, aptidões e atitudes que os ajudam a tornar-se agentes de mudança e contribuem individual e coletivamente para moldar o futuro, respeitando os limites do planeta”

O GreenComp organiza-se em 4 domínios de competência que se dividem em 12 competências para a sustentabilidade, descritos na Tabela 22. A cada uma destas competências correspondem ainda conhecimentos, atitudes e aptidões, descritos no Anexo 2, necessários para desenvolver de forma sustentada uma determinada competência para a sustentabilidade.

Tabela 22 - 12 competências para a sustentabilidade segundo o GreenComp (adaptado de BIANCHI et al., 2022).

Competência		Descritor
1	Valorizar a sustentabilidade	“Refletir sobre valores pessoais e sobre como valores variam de pessoa para pessoa”
2	Apoiar a equidade	“Apoiar a equidade e justiça para as gerações atuais e futuras”
3	Promover a natureza	“Reconhecer que os seres humanos fazem parte da natureza e respeitar as necessidades e direitos das outras espécies”
4	Pensamento sistémico	“Abordar o problema de sustentabilidade de todas as partes; ter em conta o tempo, o espaço e o contexto” e “compreender a forma como os elementos interagem”

5	Pensamento crítico	“Avaliar informações e argumentos, identificar pressupostos, pôr em causa o status quo e refletir sobre a forma como os antecedentes pessoais, sociais e culturais influenciam o pensamento e as conclusões”
6	Enquadramento de problemas	“Formular os desafios atuais ou potenciais como um problema de sustentabilidade em termos de dificuldade, pessoas envolvidas, tempo e delimitação geográfica, a fim de identificar abordagens adequadas para prever e prevenir problemas, bem como para atenuar e adaptar-se a problemas já existentes”
7	Literacia sobre o Futuro	“Prever futuros alternativos sustentáveis, (...) e identificando as medidas necessárias para alcançar (...)”
8	Adaptabilidade	Gerir as transições e os desafios e (...) tomar decisões relacionadas com o futuro face à incerteza, à ambiguidade e ao risco
9	Pensamento exploratório	“Adotar uma forma relacional de pensar, explorando e associando diferentes disciplinas, utilizando a criatividade e a experiência com ideias ou métodos inovadores”
10	Agência política	“Explorar o sistema político, identificar a responsabilidade política e a responsabilização por comportamentos não sustentáveis e exigir políticas eficazes”
11	Ação coletiva	“Agir em prol da mudança em colaboração com outros”
12	Ação individual	“Identificar o próprio potencial de sustentabilidade e contribuir ativamente”

O trabalho realizado para esta dissertação não ambiciona alcançar mudanças sociais profundas. No entanto, um maior conhecimento dos problemas ambientais pode levar a uma melhoria das competências para a sustentabilidade e o GreenComp é o quadro de referência que escolhido para a avaliação dessas competências.

Para isso, optou-se por aplicar dois questionários idênticos pré e pós para cada jogo, questionários desenvolvidos a partir do GreenComp.

A primeira fase do desenvolvimento do questionário passou pela análise do documento GreenComp e pela compilação dos conhecimentos, aptidões e atitudes associados a cada competência para a sustentabilidade. Posteriormente esses conhecimentos, aptidões e atitudes bem como as descrições de cada competência foram adaptados para conhecimentos aptidões e atitudes relativos a qualidade do ar ou a ruído ambiente. Posteriormente estas novas afirmações foram analisadas de forma a eliminar afirmações semelhantes e a juntar afirmações complementares. Uma vez que os jogos não abordam todas as competências para a sustentabilidade, procedeu-se à exclusão das afirmações cujo tema não era abordado pelo jogo. A partir destas afirmações foram desenvolvidas as questões para avaliação dos conhecimentos, aptidões e atitudes sobre qualidade do ar e sobre ruído. Algumas das afirmações estão na negativa de forma a garantir a fiabilidade das respostas e a despistar eventuais questionários que não fossem preenchidos corretamente.

De forma a avaliar as mudanças nos conhecimentos optou-se por elaborar algumas questões de escolha múltipla que abordassem conceitos abordados nos jogos e aplicar essas questões nos questionários pré e pós atividade.

Adicionalmente e de forma a avaliar a opinião dos participantes relativamente aos jogos e recursos educativos desenvolvidos, bem como a experiência do uso dos sensores e índices EduCITY, foi desenvolvido um questionário para ser aplicado no final da atividade juntamente com as perguntas referidas anteriormente

6.5 Desenvolvimento de questionários para avaliação das competências para a sustentabilidade

O desenvolvimento dos questionários começou com uma análise do documento GreenComp versão portuguesa e pela compilação dos conhecimentos, aptidões e atitudes relativas a cada competência para a sustentabilidade, sumariando essa informação em forma de tabela. Os resultados dessa análise estão descritos no Anexo 2. Posteriormente, os resultados dessa primeira análise foram adaptados para Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre qualidade do ar. O resultado desse trabalho está sistematizado no Apêndice 7.

As afirmações resultantes desta adaptação foram analisadas de forma a encontrar afirmações semelhantes ou complementares. As afirmações semelhantes foram eliminadas para evitar repetição e aquelas que se complementavam foram combinadas de forma a eliminar uma das afirmações, mas a manter todo o seu conteúdo. Este trabalho permitiu reduzir a informação àquilo que é essencial, facilitando o trabalho de síntese dos questionários resultantes. As afirmações resultantes foram analisadas e comparadas com os tópicos abordados nos jogos. As afirmações referentes a tópicos não abordados pelo jogo foram eliminadas. O resultado deste trabalho está no Apêndice 8.

O passo final na realização do questionário foi o de desenvolver afirmações para avaliação dos conhecimentos, aptidões e atitudes sobre qualidade do ar. Este trabalho resultou nas seguintes afirmações:

- 1- Considero que em Aveiro a poluição atmosférica não é um problema significativo.
- 2- Considero que a poluição atmosférica varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade.
- 3- Considero que devo evitar fazer atividade física ao ar livre em dias de má qualidade do ar.
- 4- Considero que a poluição atmosférica não afeta a saúde dos aveirenses.
- 5- Considero que as minhas ações do dia-a-dia influenciam a qualidade do ar.
- 6- Considero que o uso das lareiras tem consequências negativas para a qualidade do ar.
- 7- Considero que os espaços verdes ajudam a melhorar a qualidade do ar.
- 8- Considero importante o uso de meios de mobilidade suave sempre que possível (bicicleta, andar a pé).
- 9- Considero que a qualidade do ar em Aveiro é muito boa.
- 10- Acredito que, em Portugal, morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica como demonstra um estudo de José Brito (2022).
- 11- Considero que os carros elétricos têm zero emissões para a atmosfera.
- 12- Considero que as ações individuais têm pouco impacto na qualidade do ar.

- 13- Considero que a qualidade do ar varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano.
- 14- Considero que o estudo da poluição atmosférica está relacionado com as mais diferentes áreas como a Biologia, Geografia, Físico-química, Ciências da Saúde e a Sociologia.
- 15- Considero necessária a promoção de mobilidade suave mesmo que isso implique retirar espaço aos carros.
- 16- Considero que o investimento em transportes públicos pode levar a diminuição da emissão de poluentes.

Na Tabela 23 é apresentada a correspondência entre as afirmações e as competências

Tabela 23 - Correspondência entre as competências para a sustentabilidade e as afirmações sobre qualidade do ar desenvolvidas.

Competência	Afirmação
Valorizar a sustentabilidade	3, 9, 8
Promover a natureza	5, 7, 12
Pensamento sistémico	1, 2, 4, 6, 9, 13
Pensamento crítico	3, 10, 11
Enquadramento de problemas	13, 14, 15
Literacia sobre o Futuro	4, 9, 11, 15, 16
Agência política	11, 15, 16
Ação individual	5, 8, 12

Para desenvolver o questionário de avaliação das competências sobre ruído seguiu-se a mesma metodologia usada anteriormente partindo-se das afirmações descritas na Tabela 22 que foram adaptadas para conhecimentos, aptidões e atitudes sobre ruído que estão descritos no Apêndice 9.

As afirmações resultantes foram analisadas de forma a eliminar duplicados, a juntar afirmações semelhantes e a eliminar tópicos que não são abordados pelo jogo “EduCITY e o ruído”. O resultado está descrito no Apêndice 10.

Por fim, desenvolveram-se as afirmações para avaliação dos conhecimentos, aptidões e atitudes sobre ruído. Este trabalho resultou nas seguintes afirmações:

1. Considero que em Aveiro o ruído não é um problema significativo.
2. Considero que a poluição sonora varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade.
3. Considero importante evitar a exposição a locais ruidosos.
4. Fico preocupado(a) com a minha saúde auditiva quando a música está demasiado alta.

5. Considero que a poluição sonora não afeta a saúde dos Aveirenses.
6. Considero que as ações do meu dia a dia contribuem para a poluição sonora.
7. Considero que eventos como as festas de S. Gonçalinho ou a Feira de Março contribuem significativamente para a poluição sonora.
8. Considero que os espaços verdes ajudam a diminuir o ruído nas cidades.
9. Considero que o nível de ruído em Aveiro é baixo.
10. Acho importante minimizar a minha exposição a ruído no meu dia-a-dia.
11. Considero importante o uso de protetores auditivos em ambientes ruidosos.
12. Considero que as ações individuais têm pouco impacto para a poluição sonora.
13. Considero que a poluição sonora varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano.
14. Considero que a poluição sonora implica as mais diferentes áreas como Biologia, Físico-química, Saúde e Sociologia.
15. Considero necessárias estratégias de redução de ruído mesmo que estas sejam inconvenientes como diminuição de velocidade de circulação ou colocação de lombas nas estradas.

Na Tabela 24 é apresentada a correspondência entre as afirmações e as competências.

Tabela 24 - Correspondência entre as competências para a sustentabilidade e as afirmações sobre ruído desenvolvidas.

Competência	Afirmação
Valorizar a sustentabilidade	1, 3, 10, 11
Promover a natureza	6, 8, 12
Pensamento sistémico	1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 11, 13
Pensamento crítico	1, 15
Enquadramento de problemas	2, 7, 13, 14
Literacia sobre o Futuro	4, 5, 9, 15
Agência política	15
Ação individual	6, 12, 13

Com o objetivo de recolher a opinião dos participantes optou-se por associar cada afirmação a uma escala de Likert com 7 opções, onde o 7 corresponde a “Corresponde exatamente” e 1 corresponde a “Não corresponde de todo”. Esta escala foi escolhida uma vez que permite uma opção de resposta neutra (4) e permite 3 níveis de resposta concordantes (5, 6, 7) e 3 discordantes da afirmação (1, 2, 3).

De forma a avaliar a alteração dos conhecimentos relativos a qualidade do ar e ruído foram elaboradas questões de escolha múltipla relativas aos conteúdos abordados nos jogos educativos que foram incluídas nos questionários pré e pós atividade.

Por último foram elaboradas afirmações para os participantes darem a sua opinião acerca dos jogos educativos, dos recursos multimédia e da experiência do uso dos sensores de baixo custo. Através das afirmações desenvolvidas os participantes podem dar a sua opinião do jogo, acerca de: novidade dos conceitos abordados pelo jogo, do nível de interesse dos recursos multimédia, do grau de dificuldade, do nível de interesse, da experiência geral da atividade, da experiência de utilização dos sensores de baixo custo e da utilidade do uso dos sensores

O resultado da elaboração dos questionários está descrito nos Apêndices 11, 12, 13 e 14.

6.6 Desenvolvimento de questionários para avaliação dos jogos educativos e da experiência do uso dos sensores

O processo de avaliação dos jogos tem duas partes: a avaliação do jogo e recursos educativos e a avaliação da sua eficácia na promoção de competências para a sustentabilidade. Para os participantes darem a sua opinião à cerca dos jogos educativos, dos recursos multimédia e da experiência do uso dos sensores de baixo custo foram elaboradas algumas afirmações. Através das afirmações desenvolvidas os participantes podem dar a sua opinião, à cerca da novidade dos conceitos abordados, do nível de interesse dos recursos multimédia, do grau de dificuldade, do nível de interesse geral. Relativamente aos sensores, os assuntos abordados pelas afirmações formam opinião sobre a experiência da utilidade do uso e a motivação para o uso dos sensores. A experiência do uso dos sensores está também relacionada com a forma como os dados são observados pelos participantes e, por isso, foram elaboradas afirmações para os participantes darem a opinião sobre a facilidade de compreensão dos índices EduCITY. A avaliação das afirmações é realizada através de uma escala de Likert com 7 níveis. O resultado desse trabalho está descrito nas secções A e B dos Apêndices 12 e 14.

Todos os dados foram analisados através de estatística descritiva de forma a identificar tendências e padrões nos dados usando tabelas, gráficos e indicadores numéricos.

Para além dos questionários, foram recolhidos registos anónimos e automáticos do desempenho no jogo que incluem as pontuações, as respostas dadas a cada pergunta e o tempo de jogo de cada grupo. Esses dados são recolhidos diretamente pela aplicação de forma anónima. Os resultados foram analisados quantitativamente com análise estatística descritiva.

Os resultados dos questionários e dos registos automáticos foram analisados usando o programa Microsoft Excel.

Capítulo 7: Atividades desenvolvidas com o público

Este capítulo é dedicado às atividades desenvolvidas com o público, bem como ao seu tratamento dos dados. Assim, inicia-se com a descrição das atividades e dos passos tomados para a sua preparação. Posteriormente, é descrita a metodologia de tratamento de dados bem como os resultados da aplicação dessa metodologia.

Para a realização das atividades e recolha de dados era essencial garantir a proteção dos dados pessoais. Para isso, foi submetida e aprovado o pedido de realização deste projeto de investigação junto do sistema de Monitorização de Inquéritos em Meio Escolar do Ministério de Educação. Essa aprovação está presente no Apêndice 20. De seguida foi realizado o pedido de autorização às direções dos Agrupamentos de Escolas José Estevão, Mário Sacramento e Homem Cristo que aprovaram as atividades como se pode verificar no Apêndice 21. Por fim, foi submetido o “Registo de Operações e Avaliação de Impacto sobre a Proteção de Dados (AIDP)” ao encarregado de proteção de dados da Universidade de Aveiro. A divulgação das atividades foi feita durante uma ação de formação dinamizada pelo projeto EduCITY onde estavam presentes professores de vários agrupamentos de escolas do distrito de Aveiro. Para além disso, houve um contacto espontâneo de uma professora que demonstrou interesse em participar na atividade. A Tabela 25 caracteriza cada uma das turmas que participaram no estudo.

Tabela 25 - Informação sobre as turmas que participaram nas atividades desenvolvidas no âmbito desta dissertação.

Turma	Ano	Área de ensino (se aplicável)	Nº alunos	Escola
1	12º	Ciências e Tecnologias	16	Escola Secundária Homem Cristo
2	10º	Línguas e Humanidades	15	Escola Secundária Homem Cristo
3	9º	Não aplicável	28	Escola Secundária Mário Sacramento
4	11º	Línguas e Humanidades	26	Escola Secundária José Estevão

Previamente à realização da atividade foi pedido às professoras responsáveis que entregassem os consentimentos informados presentes no Apêndice 19 aos encarregados de educação, de forma a autorizarem a participação dos seus educandos neste projeto de investigação.

As atividades foram iniciadas, em contexto de sala de aula, com uma introdução oral à atividade que abordava os seguintes assuntos:

- Apresentação do investigador responsável;
- Apresentação do projeto EduCITY;
- Apresentação da atividade a desenvolver:
 - 2 jogos: um sobre qualidade do ar e outro sobre ruído,
 - Uso de sensores ambientais,
 - Cuidados a ter com os equipamentos,
 - Existência de prémio para as melhores equipas;
- Explicação do contexto da atividade:
 - Atividade realizada no âmbito da dissertação de mestrado,
 - Razões para a necessidade do preenchimento dos questionários,
 - Carácter voluntário da participação,
 - Chamada de atenção para a importância do preenchimento franco dos questionários.

Depois da contextualização da atividade procedeu-se à formação de grupos de 3 a 4 elementos e à atribuição de um jogo, qualidade do ar ou ruído, a cada grupo. De seguida foram distribuídos os questionários prévios à atividade de acordo com o jogo atribuído e, juntamente com o questionário, foi entregue, a declaração de consentimento informado

presente no Apêndice 18 de forma que os participantes autorizassem a sua participação no estudo. Foi também entregue um identificador em papel de forma totalmente aleatória que consistia num número de 1 a 100 que é colocado no final de cada um dos questionários preenchidos. É solicitado ao participante que conserve esse número até ao final da atividade de forma a poder identificar o questionário pós atividade com o mesmo número permitindo o agrupamento dos pares de questionários sem a identificação dos participantes. Os questionários foram impressos em papel de forma a aumentar a fiabilidade dos resultados. Os questionários em papel permitem que se verifique o preenchimento no momento da entrega, permite a recolha sequencial possibilitando verificação de padrões que indiquem viés no preenchimento e elimina eventuais problemas relacionados com má ligação a internet ou com os telemóveis dos participantes.

Foi ainda entregue a cada grupo um papel e uma caneta para ser usada, caso necessário, durante a atividade.

Depois da recolha dos questionários, dos consentimentos informados dos participantes e dos consentimentos dos encarregados de informação foi dado a cada grupo um dispositivo móvel do projeto EduCITY com o jogo pronto para jogar.

Nas duas primeiras turmas, por terem menos alunos, foi possível que todos utilizassem os sensores ambientais. Contudo, devido a erros da app EduCITY nem sempre foi possível ligar os sensores à app. Nesses casos os grupos puderam usar os sensores, mas apenas conseguiam ver os resultados através do visor presente nos sensores.

De seguida os participantes seguiam até ao ponto de início do percurso. Aí era atribuído a cada grupo um monitor, membro do projeto EduCITY ou professor acompanhante, que os acompanhava ao longo do trajeto garantindo o cumprimento das regras, auxiliava no caso de existirem problemas com a app e garantia a segurança dos participantes.

Já no parque Infante D. Pedro, finalizada a atividade, era recolhida a pontuação de cada grupo, bem como os telemóveis e os sensores. Por fim, os participantes regressavam à sala de aula, preenchiam o questionário pós atividade e entregava-se os prémios para as 3 melhores equipas.

7.1 Implementação dos jogos Educativos

De modo geral, as atividades correram globalmente bem. Os participantes demonstraram interesse e empenho durante a realização do jogo. A duração do jogo foi de 45 minutos até 1 hora. Contudo, durante o preenchimento dos questionários e, apesar de estes terem sido realizados em contexto de sala de aula, foi notória alguma distração dos participantes. Esta distração levou, por exemplo, a que alguns participantes não ouvissem as instruções sobre o preenchimento do questionário. Foi especialmente relevante no caso da 3ª turma, uma turma do 9º ano, em que os alunos demonstraram uma maior agitação durante o preenchimento. Isto traduziu-se num elevado ruído na sala de aula e em alunos que faziam as mesmas perguntas várias vezes demonstrando que não estavam atentos às instruções dadas. Alguns participantes demonstraram estar a preencher o questionário em grupo, apesar de serem avisados para o fazerem individualmente, de forma a terem em conta a opinião e conhecimentos individuais. Outra condicionante da atividade foram os participantes que chegaram atrasados. Todos os participantes realizaram a atividade em condições iguais, iniciando o preenchimento após serem dadas as instruções iniciais, a atividade começou sempre atrasada. Como o tempo da aula disponível era limitado, isto fez com que, por vezes, fosse necessário acelerar as fases subsequentes da atividade.

Durante o decorrer da atividade, os participantes demonstraram boa disposição, capacidade de trabalho de equipa, atitudes de competição saudáveis e espírito de entre ajuda.

No final da atividade e já regressados à sala, os participantes evidenciaram alguma fadiga decorrente da atividade e muita agitação. Para além disso, os

questionários eram preenchidos no final da aula o que levou a alguma precipitação no seu preenchimento devido à pressa para sair da sala de aula.

No total, participaram na atividade 88 alunos. Destes alunos, 14 não entregaram o consentimento dos encarregados de educação para a participação no estudo e, por isso, não preencheram qualquer questionário. Assim, foram entregues 74 questionários pré e pós atividade. Ao longo dos questionários foram introduzidas afirmações sobre os mesmos tópicos de forma a verificar a fiabilidade das respostas (Coutinho, 2013). Dos 74 questionários preenchidos, 12 foram excluídos por: respostas contraditórias nas perguntas 1 e 9 e nas perguntas 5 e 12; por classificarem como 1 ou 7 todas as afirmações; por existirem vários questionários com respostas exatamente iguais em grande parte das afirmações, por terem ficado várias perguntas por responder.

De seguida, são analisados os resultados obtidos através destas atividades.

7.2 Resultados e discussão dos jogos educativos

Inicialmente procedeu-se à análise das perguntas, de forma a agrupá-las pela sua tipologia. As perguntas dos dois jogos foram classificadas em relação à forma como se obtinha a informação para responder corretamente a uma questão, da seguinte forma:

- Interpretação de recurso educativo: pergunta é acompanhada de um gráfico, imagem, vídeo, placa informativa de um museu ou AR Book que ajuda a responder corretamente à pergunta,
- Raciocínio e conhecimento de Físico-química: pergunta que exige conhecimentos de Físico-química para a sua resolução,
- Raciocínio e conhecimento matemático: pergunta que exige a aplicação de conhecimento e raciocínio matemático para a sua resolução,
- Pergunta de observação: é necessário observar o ambiente envolvente para responder corretamente à questão,
- Conhecimento geral: pergunta sem qualquer recurso para auxiliar a resposta, os respondentes devem usar apenas o conhecimento adquirido no seu percurso escolar.

As tabelas presentes no Apêndice 15 e no Apêndice 16 apresentam a classificação que foi atribuída a cada pergunta de cada jogo.

A análise e discussão dos resultados deste capítulo forçar-se primeiramente nos dados sobre a prestação dos diferentes grupos combinando os dados dos resultados de cada grupo obtidos diretamente através da aplicação EduCITY. Posteriormente são analisadas as opiniões dos participantes em relação aos jogos, em relação ao uso dos sensores e por fim é avaliadas as diferenças das competências para a sustentabilidade e dos conhecimentos antes e depois do jogo.

O jogo “EduCITY e a qualidade do ar” foi jogado por 14 grupos no total. Através da plataforma web EduCITY foi possível recolher os registos de 13 grupos. O jogo EduCITY e o ruído” foi jogado por um total de 10 grupos sendo possível recolher os registos de todos os grupos através da plataforma. Esses dados são descaracterizados, sendo impossível identificar os grupos a que pertence cada conjunto de dados. Estes incluem a pontuação, o número de respostas corretas e incorretas e as respostas de cada grupo a cada pergunta.

A Figura 53 e a Figura 54 ilustram o número de respostas corretas e incorretas de todos os grupos a cada pergunta para cada jogo.

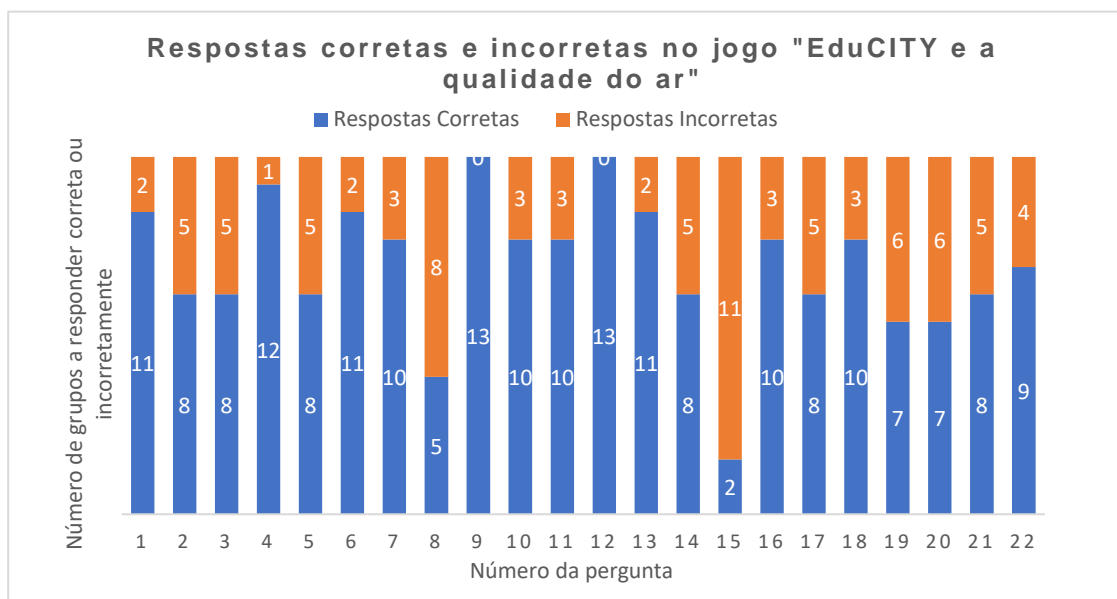


Figura 53 - Respostas corretas e incorretas dadas por cada grupo por pergunta do jogo "EduCITY e a qualidade do ar".

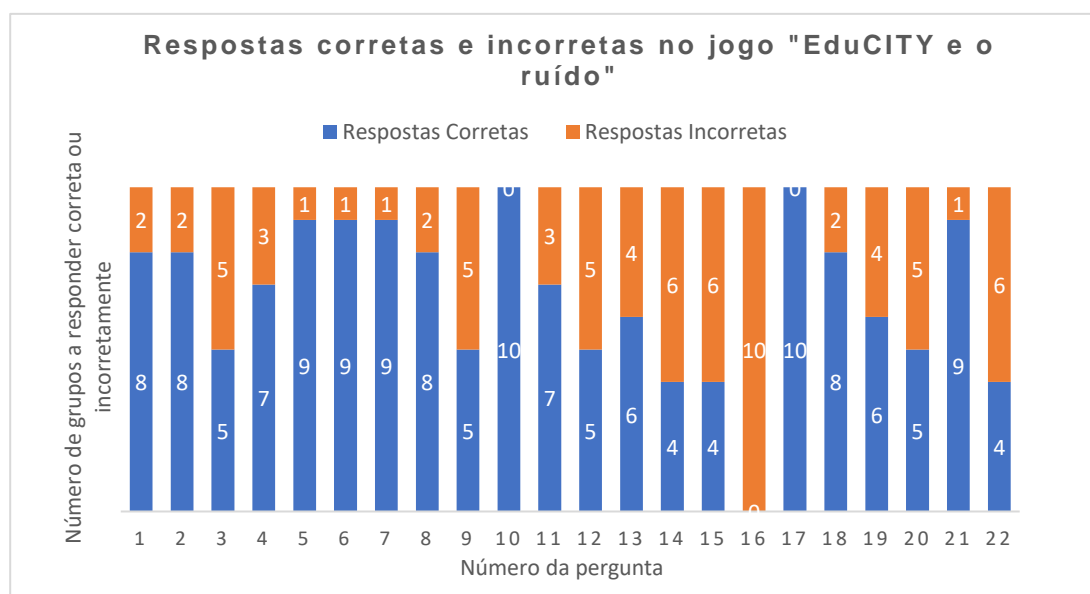


Figura 54 - Respostas corretas e incorretas dadas por cada grupo por pergunta do jogo "EduCITY e o ruído".

Verifica-se que as perguntas com maior número de respostas corretas (13 ou 12) ao jogo sobre qualidade do ar foram as perguntas 4, 9 e 12. Assinalam-se também as perguntas 1, 6, 13 às quais um total de 11 grupos responderam corretamente. Estas são perguntas que exigem a interpretação de um recurso educativo seja ele AR Book, imagem ou uma placa informativa e têm 1 opção correta no caso das perguntas 4, 1, e 9 e 12 ou duas opções corretas no caso das perguntas 6 e 13. O elevado número de respostas corretas pode dever-se ao facto de serem perguntas cuja resposta é auxiliada por recursos educativos, que contêm a resposta à pergunta, e por terem um número baixo

de opções. Estes dois aspetos tornam-nas mais acessíveis em comparação com as restantes.

Relativamente ao jogo sobre ruído, verifica-se que todos os grupos responderam corretamente a duas perguntas e que apenas um grupo respondeu incorretamente às perguntas 5, 6, 7 e 21. Se analisarmos também as perguntas com 9 respostas corretas percebe-se que, tal como no jogo sobre qualidade do ar, as perguntas com maior número de respostas corretas são aquelas associadas a recursos educativos. No caso do jogo do ruído destacam-se também as perguntas cujas respostas dependiam exclusivamente do conhecimento dos participantes. Por não terem recursos educativos a auxiliar os participantes, estas perguntas foram desenvolvidas de forma a terem um grau de dificuldade mais baixo. Isso é confirmado pelo elevado número de respostas corretas.

Para além disso, é possível concluir que ambos os jogos tiveram uma percentagem de respostas corretas muito semelhante: 65% no jogo da qualidade do ar e 66% no jogo do ruído, o que indica que o grau de dificuldade dos dois jogos é semelhante.

As perguntas às quais mais grupos responderam incorretamente no jogo sobre qualidade do ar foram a questão 15 com 11 respostas incorretas, e a questão 8 com 8 respostas incorretas. A pergunta 15 foi desenvolvida propositadamente com um grau de dificuldade mais elevado. Esta implica não só a interpretação de um gráfico, mas também a utilização de raciocínio matemático e talvez por isso tenha um maior número de respostas incorretas. A mesma questão aparece também no jogo sobre ruído e aí foi novamente uma das questões com maior número de respostas incorretas (6). A questão 8 sobre os efeitos na saúde da poluição atmosférica teve um elevado número de respostas incorretas (8), apesar da informação necessária para responder estar disponível no AR Book associado a esta questão. Destaca-se também a pergunta 16 do jogo sobre ruído, uma pergunta relativa aos impactos do ruído na saúde onde todos os participantes erraram. Na pergunta 8 do jogo do ar, a resposta correta era a opção “todas as anteriores” enquanto na pergunta 16 do jogo do ruído para responder corretamente era necessário selecionar todas as quatro opções. Isto implica que, para responder corretamente, os participantes teriam de consultar toda a informação dos AR Books para confirmar cada uma das opções. Esta dificuldade acrescida pode justificar o número elevado de respostas incorretas. A pergunta 16 do jogo sobre ruído era a única onde era necessário selecionar todas as opções o que pode ter levado a que os participantes a excluíssem opções corretas apenas por não considerarem a possibilidade de selecionar todas as opções. O mesmo aconteceu na pergunta 20 do jogo sobre qualidade do ar, e na questão 22 do jogo sobre ruído: perguntas idênticas, com AR Book e com 3 opções de resposta corretas. Ambas as perguntas obtiveram um total de 6 respostas incorretas.

De seguida, foram analisadas conjuntamente as respostas de todos os grupos relacionando as 4 tipologias de pergunta com maior número de questões. As tipologias de pergunta selecionadas foram:

- Perguntas com recurso educativo do tipo imagem;
- Perguntas com recurso educativo do tipo AR Book;
- Perguntas de raciocínio ou conhecimento matemático ou físico-químico;
- Perguntas de cultura geral sobre os conhecimentos dos participantes.

A Figura 55 ilustra a percentagem de respostas corretas a cada pergunta agrupando-as por tipologia.

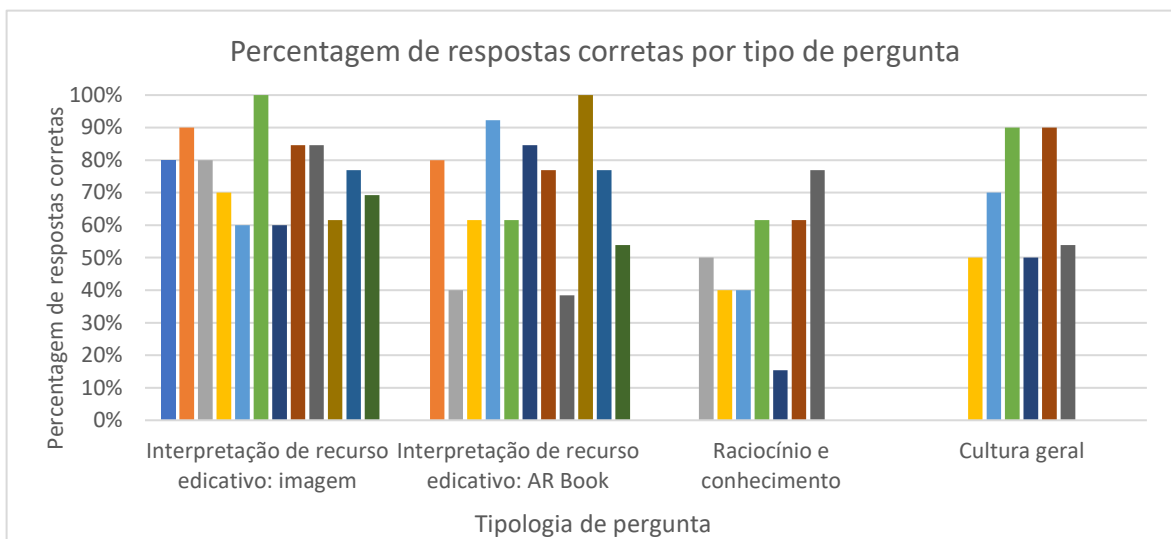


Figura 55 - Percentagem de respostas corretas às 4 tipologias de pergunta com maior número de perguntas.

Verifica-se que as perguntas com maior número de respostas corretas são aquelas associadas a recursos educativos do tipo imagem, com uma média de 76% de respostas corretas. Com 67% de respostas corretas surgem as perguntas de cultura geral, perguntas com um grau de dificuldade baixo, mas sem qualquer recurso educativo que ajudasse a responder. A estas seguem-se as questões com AR Books, com 64% de respostas corretas. Este tipo de recurso tem informação em formato imagem e texto tornando-o menos interativo, mais semelhante ao ensino formal e, por isso, tornam a pesquisa da informação mais cuidadosa. Isto justifica o porquê de parte dos participantes responderem incorretamente apesar da informação necessária estar disponível para consulta. E com o menor número de respostas corretas, 49%, surgem as perguntas de raciocínio e conhecimento matemático e da físico-química o que se deve ao grau de dificuldade acrescido destas perguntas. Uma vez que estas perguntas foram desenvolvidas para aumentar o grau de dificuldade dos jogos esperava-se que o número de respostas incorretas fosse superior comparativamente com as outras perguntas. Pelo contrário nota-se que as perguntas 17 e 18 do jogo sobre qualidade do ar, que também implicam uso de raciocínio e conhecimentos matemáticos, obtiveram um maior número de respostas corretas quando comparadas com as perguntas 15. Isto pode dever-se ao facto destas perguntas serem mais simples uma vez que implicam menos cálculos, com menos passos, e não implicam interpretação de um gráfico.

Assim, conclui-se que os participantes têm uma maior facilidade de responder a perguntas sobre informações encontradas em recursos educativos, mas que, quando esta informação está em formato AR Book, esta pesquisa torna-se mais difícil e leva a um maior número de participantes a responder incorretamente. Os participantes revelam também alguma dificuldade em resolver desafios matemáticos.

A opinião dos participantes sobre os jogos foi recolhida através das perguntas do grupo A dos questionários pós atividade descritas nos Apêndices 12 e 14. O resultado destes questionários está ilustrado na Figura 56, na Figura 57, na Figura 58 e na Figura 59 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo "EduCITY e ruído".

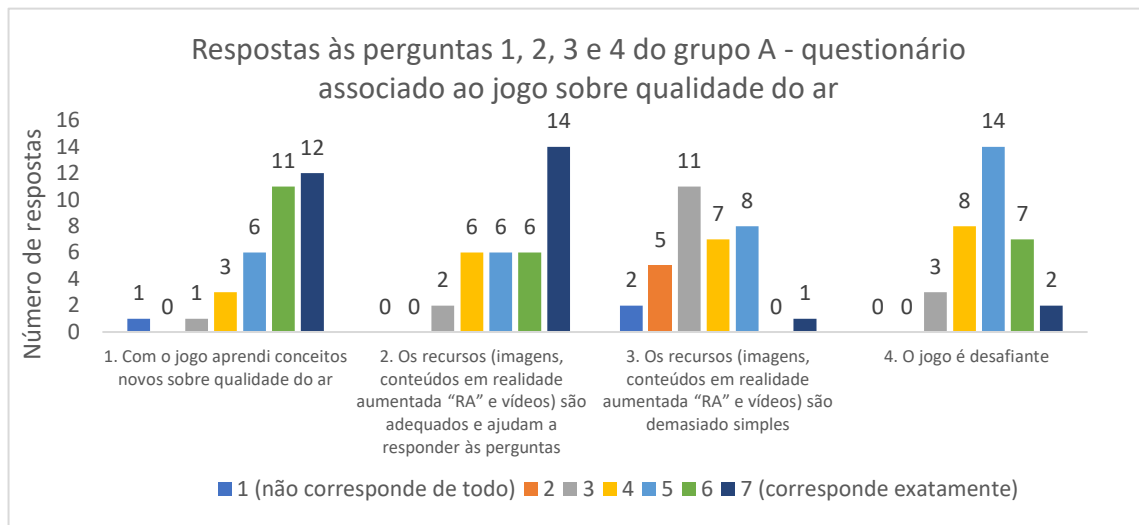


Figura 56 – Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo EduCITY e a qualidade do ar.

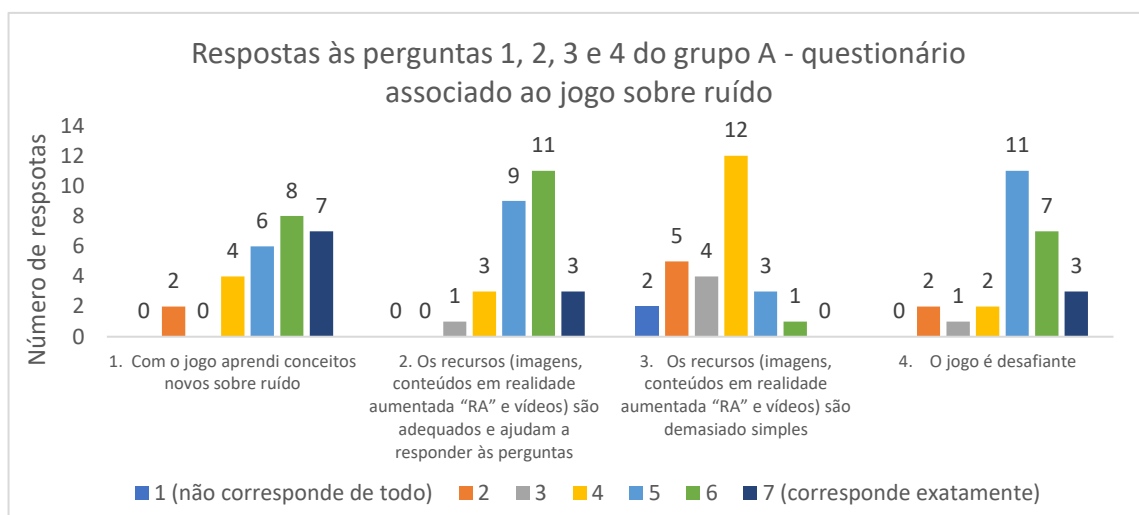


Figura 57 - Resultados às questões 1, 2, 3 e 4 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo EduCITY e ruído.

Obteve-se um total de 43 respostas aos questionários relativos ao jogo sobre qualidade do ar e um total de 31 respostas aos questionários relativos ao jogo sobre ruído. Desses apenas 35 e 27 foram considerados válidos respetivamente segundo os critérios de definidos no capítulo 9.1. têm-se por isso um total de 35 respostas válidas relativas ao jogo sobre qualidade do ar e 27 respostas válidas relativas ao jogo sobre ruído.

A maior parte dos participantes considera ter aprendido algo novo sobre a qualidade do ar (29) ou sobre o ruído (21), com apenas 2 participantes a discordarem da primeira afirmação em ambos os questionários. Verifica-se que a média das respostas à primeira afirmação é mais elevada no jogo sobre a qualidade do ar, revelando uma maior novidade dos conceitos abordados.

O mesmo acontece com a avaliação da adequação dos recursos educativos no auxílio à resposta às questões, com 26 participantes a concordarem com a afirmação “os recursos são adequados e ajudam a responder às perguntas” relativamente ao jogo sobre a qualidade do ar, e 23 no caso do jogo sobre o ruído.

Relativamente à afirmação 3, “Os recursos são demasiado simples”, pode-se concluir que a maioria dos participantes (18) considera que os recursos educativos do jogo sobre a qualidade do ar são suficientemente complexos. No entanto, a maioria dos participantes (18) escolheu valores intermédios da escala, como 3 e 4, e 8 participantes discordam da afirmação, o que revela que a complexidade é um aspeto a melhorar. Relativamente ao jogo sobre ruído, 11 participantes discordam da afirmação e um elevado número de participantes (12) escolheu o valor intermédio 4. Uma vez mais, o baixo número de participantes que discorda totalmente, a concentração das respostas em valores intermédios e o número significativo de participantes que concordam com a afirmação indicam que a complexidade dos recursos educativos sobre ruído é um aspeto a melhorar.

Relativamente à afirmação 4, “o jogo é desafiante”, percebe-se que apenas 3 participantes discordam desta afirmação e que a moda das respostas é a opção 5 (15 no jogo sobre qualidade do ar e 11 no jogo sobre ruído), um valor intermédio da escala, para ambos os jogos.

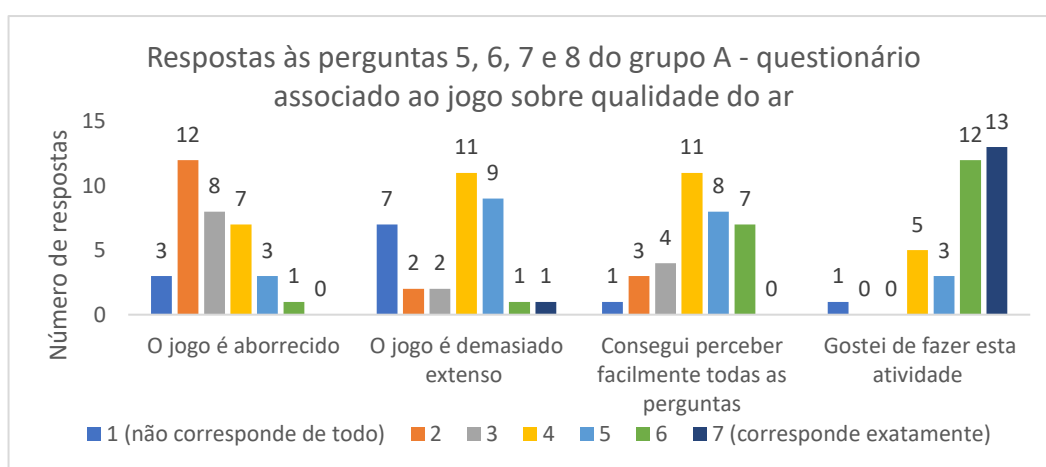


Figura 58 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.

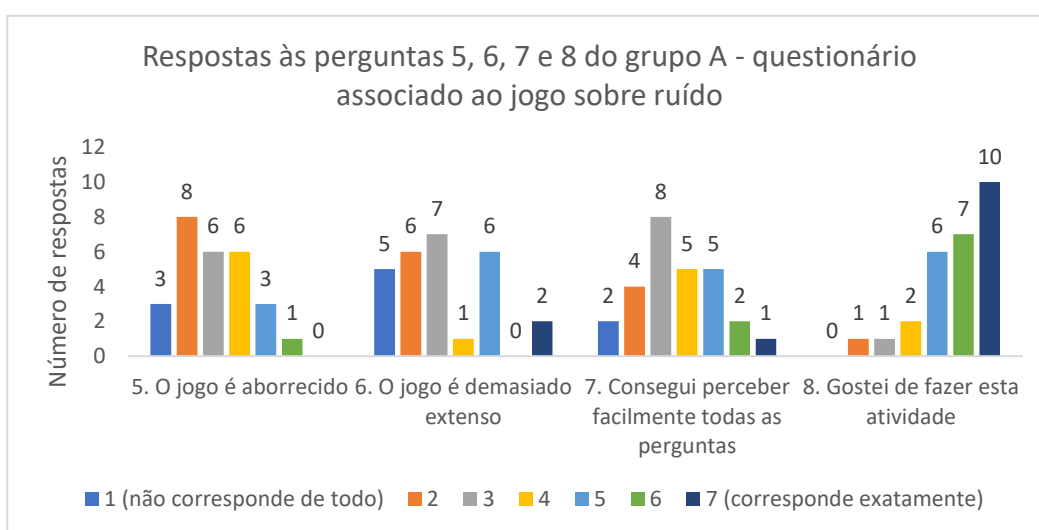


Figura 59 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo A do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e ruído”.

Quanto ao nível de interesse relativamente a ambos os jogos, a maioria dos participantes (23 no jogo sobre qualidade do ar 17 no jogo sobre ruído) discorda da afirmação “o jogo é aborrecido” com apenas 4 com a concordar relativamente a ambos os jogos. Isto revela uma opinião positiva para com o nível de interesse das atividades. No entanto, uma percentagem significativa escolhe a opção neutra.

Relativamente à extensão do jogo sobre qualidade do ar, existe alguma dispersão de resultados com 11 dos participantes a escolher a opção neutra (4) relativamente à afirmação “O jogo é demasiado extenso” e com 11 participantes a concordar e 11 participantes a discorda da afirmação. Apesar dos jogos terem demorado em média 45 minutos para ser completados, um número significativo de participantes considera a atividade demasiado extensa. Isto pode dever-se ao facto de que a atividade é maior do que o próprio jogo uma vez que se inicia na sala de aula com o preenchimento de questionários, seguido da deslocação para o local de início do jogo e a deslocação novamente para a sala de aula no final da atividade onde ocorre novamente o preenchimento dos questionários. Dependendo da turma, estas atividades complementares chegaram a demorar mais de 45 minutos o que significa que, na altura do preenchimento dos questionários, os participantes poderiam estar a demonstrar o cansaço da duração total da atividade e não só da duração do jogo em si.

No que respeita à facilidade de compreensão das perguntas volta a existir uma grande concentração de resposta em torno da opção neutra em ambos os jogos e com 15 participantes a concordam com a afirmação “Consegui perceber facilmente todas as perguntas” relativamente ao jogo da qualidade do ar. Verifica-se que nenhum participante escolheu a opção “concordo totalmente” e que 8 discordam da afirmação. A maior parte dos participantes (14) que jogaram o jogo do ruído discordam da afirmação, o que indica dificuldade na compreensão das perguntas.

Relativamente à opinião geral sobre a atividade sobre a qualidade do ar, apenas um participante discorda da afirmação “Gostei de fazer a atividade” sendo 7 a moda das respostas. A opinião em relação à atividade do ruído é semelhante com a apenas 2 participantes a discordarem da afirmação e a moda das respostas a ser novamente 7. É, por isso, possível concluir que a grande generalidade dos participantes gostou de realizar a atividade.

Os objetivos do desenvolvimento do jogo educativo eram abordar temas que fossem desconhecidos pelos participantes e elaborar recursos que fossem de encontro ao que era perguntado e com conteúdos adequados ao público-alvo. O grau de dificuldade devia ser o apropriado para tornar o jogo desafiante e interessante, as perguntas deviam ser de fácil compreensão e o tempo de jogo adequado para não tonar a atividade cansativa.

Através dos resultados é possível concluir que os participantes têm uma opinião positiva sobre a atividade, que consideram os jogos interessantes e que consideram ter aprendido conceitos novos sobre qualidade do ar e ruído. Os recursos educativos que acompanham as diferentes perguntas revelam ser adequados para ajudar a responder às questões; no entanto, a sua complexidade revela estar desajustada às expectativas dos participantes, em especial em relação ao jogo sobre ruído.

Através desta análise identificam-se os seguintes aspetos para melhoria dos jogos:

- Realização dos questionários prévio e pós atividade no local de jogo para diminuir o tempo com deslocações e, assim, diminuir o tempo de atividade
- Revisão das perguntas tornando-as mais claras
- Revisão de recursos educativos adaptando-os melhor ao público-alvo

7.2.1 Opinião sobre o uso de sensores ambientais de baixo custo de partículas

Na secção B do questionário pós atividade era pedido ao participante que seleccionasse a opção que respondesse melhor à afirmação “O meu grupo usou o sensor durante a atividade”. Supunha-se que os grupos que realizaram a atividade com um sensor ambiental assinalassem a opção “sim” independentemente de ter sido possível ligar o sensor à app ou de terem, ou não terem, usado o sensor individualmente, uma vez que os alunos faziam a atividade em grupo. Contudo, de um mínimo de 30 participantes a quem foi atribuído um sensor ambiental para a realização da atividade, apenas 15 assinalaram sim nesta questão. Destes 15, apenas 11 são válidos, segundo os critérios estabelecidos no capítulo 9.1. Isto pode significar que, apesar de terem sido acompanhados por um sensor de qualidade do ar durante a atividade, os participantes não o utilizaram para medir a concentração de partículas, de forma individual, o que não significa que não o usaram no grupo a que pertenciam. Para isto pode também ter contribuído o facto de em algumas atividades, não ter sido possível ligar os sensores ambientais à app EduCITY. Nestes casos, os alunos eram convidados a visualizar os resultados dos sensores através do display, mas a falha do equipamento pode ter levado a alguma frustração.

Os resultados dos questionários sobre a experiência do uso dos sensores de qualidade do ar estão ilustrados na Figura 60 e na Figura 61.

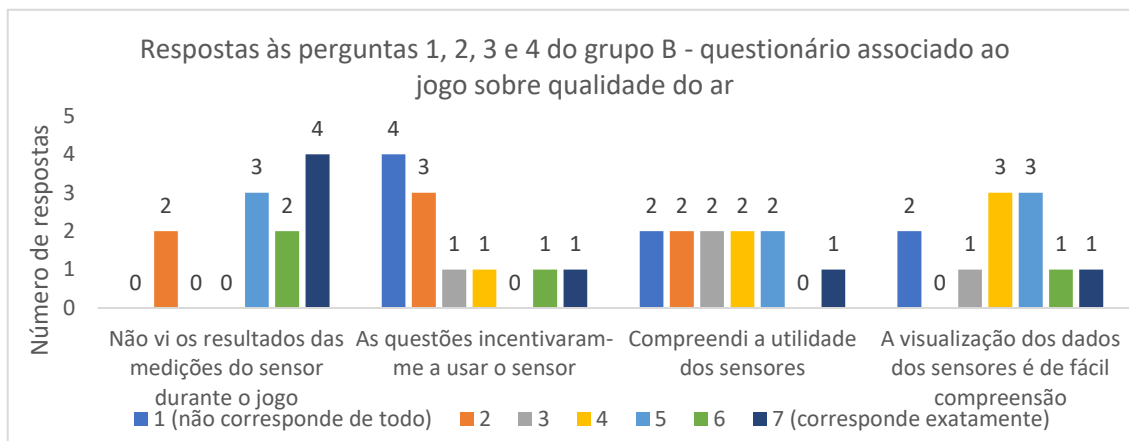


Figura 60 - Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.

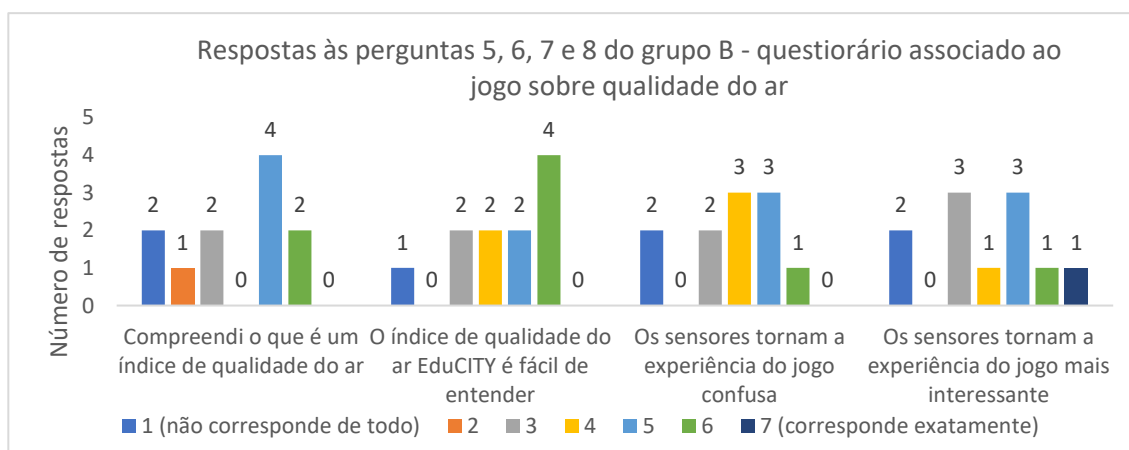


Figura 61 - Resultados às questões 5, 6, 7, e 8 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”.

Destaca-se que apenas 2 participantes demonstraram ter consultado os resultados dos sensores durante a atividade. Note-se mais uma vez que os alunos estavam a trabalhar em grupos, pelo que alguns alunos podem não ter consultado os resultados dos sensores, mas outros colegas do seu grupo o possam ter feito. No mesmo sentido, apenas 2 participantes dizem que as questões os incentivaram a usar os sensores. Percebe-se, assim, que no jogo “EduCITY e a qualidade do ar” nem todos os alunos usaram os sensores ambientais. Relativamente à utilidade dos sensores, 6 em 11 participantes discordam da afirmação “compreendi a utilidade dos sensores”, enquanto apenas 3 concordam. Isto evidencia que, além da maior parte dos participantes não ter utilizado os sensores, estes também não conseguiram perceber o propósito da sua utilização. Este é um aspeto que deveria ser revisto em atividades posteriores, de forma a garantir que todos os alunos percebessem qual a utilidade dos sensores, através de uma explicação inicial mais eficaz e usassem os sensores para responder a uma determinada questão de um jogo relacionada com a qualidade do ar. Relativamente à visualização dos dados dos sensores e ao índice de qualidade do ar EduCITY, 5 participantes concordam com a afirmação “A visualização dos dados dos sensores é de fácil compreensão” e 6 concordam com a afirmação “o índice EduCITY é fácil de entender”. Estes dados reforçam a ideia de que no trabalho de grupo nem todos atingem os mesmos objetivos, pois apenas dois alunos afirmam ter visto o resultado das medições dos sensores, embora quase metade considera a visualização dos sensores de fácil compreensão. Relativamente à afirmação “Compreendi o que é um índice de qualidade do ar”, 6 participantes concordam com a afirmação e 5 discordam. Em relação à afirmação “Os sensores tornam a experiência do jogo confusa”, 4 participantes concordam, 4 discordam e 3 escolhem a opção neutra. Relativamente à afirmação “Os sensores tornam a experiência do jogo mais interessante”, 5 participantes concordam com a afirmação. No entanto, esta conclusão é contraditória, uma vez que, como apenas dois participantes consultaram os dados dos sensores, não é possível que estes tenham tornado a experiência mais interessante para todos os 5 participantes. É também importante referir as incoerências encontradas em algumas das respostas sugerem que estas podem não refletir com precisão a opinião dos participantes.

Através destes resultados foram identificados os seguintes pontos a melhorar:

- Explicar melhor a dinâmica do uso dos sensores no início da atividade e a importância do seu uso;
- Explicar como proceder para a consulta dos dados dos sensores diretamente na app;
- Rever as perguntas de forma a incentivar melhor o uso dos sensores, relacionando-as com a realidade envolvente e fomentando a curiosidade dos participantes;
- Assegurar que todos os sensores se ligam corretamente à app EduCITY;
- Alterar a questão “O meu grupo usou o sensor durante a atividade?” para “O meu grupo tinha um sensor durante a atividade?” de forma a assegurar que todos os participantes cujo grupo tinha um sensor respondem a esta secção do questionário, uma vez que podia haver grupos que não possuíam sensores nas atividades, pelo facto de não haver sensores para todos os grupos.

7.2.2 Opinião sobre o uso de sensores ambientais de baixo custo de ruído

Dos participantes da atividade sobre ruído obteve-se um total de 31 questionários preenchidos sendo que em 25 se obteve a resposta sim à questão “O meu grupo usou o sensor durante a atividade”. Isto está de acordo com esperado uma vez que dos 31 participantes que preencheram o questionário uma parte dos participantes (2 grupos) não utilizou os sensores de ruído. Dos 25 questionários 3 foram excluídos pelos critérios estabelecidos no capítulo 9.1 Isto revela que, ao contrário do que aconteceu no caso dos sensores de qualidade do ar, os sensores de ruído foram utilizados pela maior parte dos

participantes. Isto pode dever-se a uma maior interatividade do jogo com os sensores que tinha perguntas como a pergunta 1 (Apêndice 2) onde se pergunta qual o ruído de uma conversa calma. Esta questão pode ser respondida através da consulta dos resultados dos sensores. Questões deste tipo não podem ser aplicadas à poluição atmosférica porque as perguntas dos jogos são de escolha múltipla, ou seja, as opções de resposta são definidas previamente. Isso significa que, para tornar obrigatório o uso dos sensores, seria necessário prever a concentração de partículas na hora e local da realização do jogo, o que não é viável. Por outro lado, notou-se, durante as atividades, um maior interesse em relação aos sensores do ruído com os participantes a interagir com ele fazendo diferentes sons ou vendo que valores de intensidade sonora conseguiram atingir.

A Figura 62 e a Figura 63 ilustram os resultados das respostas às questões relacionadas com os sensores de ruído.

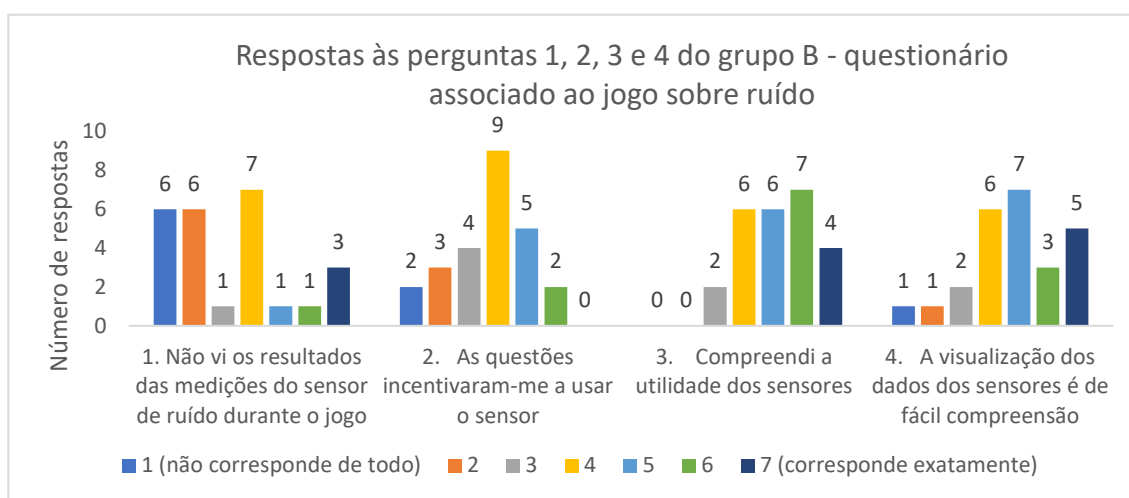


Figura 62 - Resultados às questões 1, 2, 3, e 4 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e o ruído”.

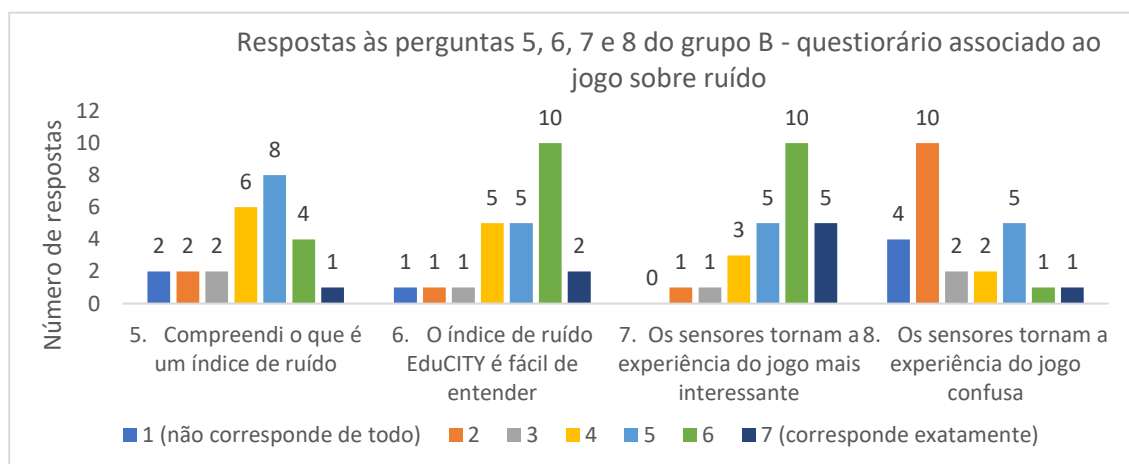


Figura 63 - Resultados às questões 5, 6, 7 e 8 do grupo B do questionário pós atividade relativo ao jogo “EduCITY e o ruído”.

Ao contrário do sucedido com os sensores de qualidade do ar, a maior parte dos participantes da atividade sobre o ruído dizem ter usado sensor de ruído. Apenas 5 participantes concordam com a afirmação “não vi os resultados das medições dos

sensores durante o jogo” e 13 que discordam. Verifica-se também um elevado número de participantes a escolherem a opção neutra (7) indicando que poderão ter usado os sensores, mas pouco.

Relativamente à segunda afirmação, verifica-se uma grande dispersão das respostas, com 7 participantes a concordarem, 9 a escolherem a opção neutra e 9 a discordarem da afirmação “As perguntas incentivaram-me a usar os sensores”.

A perceção dos participantes sobre a utilidade dos sensores é bastante positiva. Apenas 2 participantes discordam da afirmação “compreendi a utilidade dos sensores”, enquanto 17 concordam, o que sugere que este não foi um fator limitativo para o uso dos sensores. A sugestão de utilizar os sensores para responder à pergunta 1 pode ter sido determinante neste aspeto, uma vez que deu um propósito prático aos sensores dentro do contexto do jogo.

Relativamente à visualização dos dados dos sensores, esta é considerada fácil para 15 participantes, que concordam com a afirmação “A visualização dos sensores é de fácil compreensão”, enquanto apenas 4 discordam. No que respeita ao índice de ruído, 13 participantes concordam com a afirmação “Compreendi o que é um índice de ruído”, com apenas 6 a discordar. Quanto à compreensão do índice de ruído EduCITY, observa-se que 17 participantes concordam com a afirmação “O índice EduCITY é fácil de entender”, enquanto apenas 3 participantes discordam. Conclui-se, por isso, que a maioria dos participantes considera que a visualização e comunicação dos dados dos sensores ambientais são feitas de forma compreensível. Ou seja, o índice de ruído EduCITY parece comunicar de forma eficiente os resultados dos sensores. Por fim, uma larga maioria dos participantes afirma que os sensores tornam a experiência do jogo mais interessante, com 20 participantes a concordarem com a afirmação “Os sensores tornam a experiência do jogo mais interessante” e apenas 2 participantes a discordarem. Relativamente à afirmação “Os sensores tornam a experiência do jogo confusa”, em que 7 participantes concordam com a afirmação e 16 discordam.

Capítulo 8: Conclusões

O objetivo geral da presente dissertação era avaliar o potencial de utilização de sensores ambientais de baixo custo de partículas e de ruído em contexto de ciência cidadã e a sua contribuição para a melhoria das competências para a sustentabilidade ambiental de crianças em idade escolar através da sua integração em jogos educativos no âmbito do projeto EduCITY. Com este intuito, procurou-se desenvolver uma avaliação abrangente do desempenho dos sensores de baixo custo, incluindo a comparação entre diferentes sensores de baixo custo, bem como com outros sensores da rede Aveiro STEAM City e sensores de referência. Adicionalmente, realizou-se a integração dos sensores em recursos educativos, o desenvolvimento desses recursos, seguida da respetiva avaliação, e, por fim, avaliou-se o seu impacto.

Os resultados das amostragens para comparação entre sensores de baixo custo avaliaram o desempenho destes para diferentes frequências de aquisição de dados. Verificou-se que para diferentes frequências de aquisição, os sensores PM_1 e PM_2 na medição de PM₁₀ registam valores próximos e com desvios padrão médios de 6,8 µg/m³ e 7,6 µg/m³ respetivamente, enquanto o sensor PM_3 apresentou resultados significativamente discrepantes, com um desvio padrão médio de 11,6 µg/m³. Teoricamente, esperava-se que os sensores PM apresentassem resultados semelhantes entre si em amostragens simultâneas. Os diagramas de caixa e bigodes, apresentados no capítulo 4.2.2, evidenciam que os sensores PM_1 e PM_2 apresentam valores médios semelhantes em amostragens simultâneas tal como esperado, enquanto que o sensor PM_3 regista valores médios sistematicamente mais elevados. Adicionalmente, concluiu-se que a dispersão dos resultados é maior para períodos de aquisição mais baixos (20 segundos e 1 minuto). Em períodos aquisição de 10 segundos, a amplitude dos resultados varia de 10 µg/m³ a 85 µg/m³, o que, considerando as condições estáveis da amostragem (sala com janelas fechadas e porta aberta para o interior, poucos ocupantes com baixa mobilidade e sem ventilação adicional), era inesperado.

Os sensores PM têm natureza integrativa: recolhem dados aproximadamente a cada segundo e calculam o valor médio para o período de aquisição definido. Esperava-se, portanto, uma menor variabilidade dos resultados com o aumento do período de amostragem, o que se confirma entre os períodos de 20 segundos e 5 minutos, com diminuição da dispersão. Porém, os períodos de 7 e 10 minutos mostram maior dispersão, indicando que um período de aquisição mais longo nem sempre reduz a variabilidade dos resultados. Isto sugere que a frequência de aquisição de dados pode influenciar o desempenho dos sensores, afetando a sua capacidade de avaliar com precisão a concentração de partículas. Conclui-se que um período de 5 minutos produz resultados mais precisos, com desvio padrão médio de 4 µg/m³, comparando com os valores de 17 µg/m³, 10 µg/m³, 6 µg/m³ e 5 µg/m³ para períodos de 20 segundos, 1 minuto, 7 minutos e 10 minutos, respetivamente.

No que toca à comparação com outras redes de sensores, o sensor PM_1 destaca-se com 65% de valores com índice igual e 95% de concordância para PM₁₀. O sensor PM_2 regista 29% de valores com um índice igual e 88% de concordância, enquanto o sensor PM_3 apresenta apenas 33% de concordância, muito abaixo do desejado. Em projetos de ciência cidadã, é necessário que o índice de qualidade do ar refletido pelo sensor esteja próximo do valor real. Assim, o sensor PM_1 mostra-se adequado para um projeto de ciência cidadã, como o EduCITY, enquanto os outros sensores apresentam desvios elevados. Na avaliação de PM_{2,5}, os sensores PM apresentam desempenhos aquém do esperado, com concordâncias de 66%, 37% e 15% para PM_1, PM_2 e PM_3, respetivamente, indicando que não são eficazes para essa medição.

A influência das condições ambientais no desempenho dos sensores mostrou que em dias de menor humidade (abaixo de 80%), o nível de concordância é mais elevado (97% e 87%, versus 71% e 77%), tal como o desvio absoluto médio (11 e 12 µg/m³ versus 30 e 27 µg/m³), sugerindo a influência dos fatores ambientais. Contudo, dado que as

amostragens foram realizadas apenas em quatro dias, a representatividade das condições meteorológicas é limitada, carecendo de análise mais detalhada para conclusões robustas.

A comparação com sensores da rede Aveiro STEAM City e com sensores de referência permitiu retirar algumas conclusões. Contudo, devido a limitações temporais que impediram a implementação de uma amostragem com um maior número de pontos, a análise não pôde seguir integralmente as metodologias recomendadas na literatura. Um método amplamente utilizado para avaliar a exatidão de sensores de baixo custo é o coeficiente de correlação linear ou de Spearman, uma vez que permite avaliar o desempenho numa ampla gama de medições. As amostragens da rede STEAM City e dos sensores de referência variaram entre $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e o número de dados recolhidos foi de apenas $N=44$ no caso do sensor PM₂ o único que funcionou corretamente todas as vezes, dificultando testes de linearidade, que requerem uma gama de resultados abrangente para serem estatisticamente significativos. Para além disso no âmbito desta dissertação, não foi possível selecionar os sensores e, portanto, não houve um processo prévio de comparação e escolha do mais adequado, uma etapa identificada na literatura como crucial para o sucesso na implementação de sensores ambientais de baixo custo. Também não foi possível proceder à calibração dos sensores, o que poderia mitigar fragilidades dos sensores PM₂ e PM₃ e melhorar o desempenho do sensor PM₁. Idealmente, a identificação de medições fora do intervalo ideal como se verificou resultaria na aquisição de novos sensores, o que não foi viável.

Quanto à análise dos sensores de SOM, as amostragens demonstraram baixa variabilidade, com diagramas de caixa e bigodes apresentando caixas achatadas, ou seja, a maioria dos valores está próxima da média com um desvio padrão médio de 2 dB(A). Para períodos amostragem e 2 e 10 segundos, entre 2% e 5% dos resultados ficaram fora do limite de deteção (30 dB(A)). Para frequências de 15, 20 e 40 segundos, e 1 minuto, praticamente não há valores discrepantes. A diferença média entre os sensores SOM₁ e SOM₂ é de 3 dB(A), indicando desempenhos semelhantes. Para períodos de 2 e 10 segundos, o coeficiente de variação, indicador da dispersão dos resultados, é de 13% a 23%, e para outros períodos está entre 0% e 3%. Assim, a partir de um período de 15 segundos, obtém-se uma maior precisão, sendo este o período de aquisição escolhido por apresentar resultados satisfatórios. Na comparação com sensores da rede STEAM City, o desvio absoluto médio foi de 5 dB(A) para ambos os sensores, superior aos 1,5 dB de incerteza descritos pelo fabricante, mas dentro do esperado devido às diferentes condições de amostragem. A percentagem de resultados com índice igual foi de 85% e 82% para SOM₁ e SOM₂, respetivamente, com uma concordância de 100% para ambos. Estes resultados validam a utilização dos sensores SOM pelo público no projeto EduCITY.

A análise demonstrou um desempenho satisfatório do sensor PM₁ para PM₁₀, adequado para ciência cidadã, e um bom desempenho dos sensores SOM. Todavia, os outros objetivos específicos da dissertação ficariam condicionados pelo funcionamento dos sensores, que não foi sempre o ideal. Sendo necessário o cumprimento dos objetivos seguiu-se com a planificação da dissertação independentemente dos resultados da avaliação. Foi desenvolvido um índice de qualidade do ar e um índice ruído, adaptados ao contexto do uso de sensores de baixo custo em ciência cidadã e do projeto EduCITY com base numa revisão da literatura. Os efeitos para a saúde descritos na literatura da exposição a poluentes referem-se a escalas temporais alargadas. Por essa razão os índices de qualidade do ar, aqueles que são mais amplamente usados, são relativos a médias horárias da medição de poluentes. Contudo os períodos de amostragem e de utilização de sensores de baixo custo são na ordem de 5 minutos e por isso os índices ambientais não podem ser transpostos diretamente, sendo este um aspeto pouco abordado na literatura e uma das limitações deste trabalho.

Após a criação das condições para o uso dos sensores e do desenvolvimento do índice de qualidade do ar e do índice de ruído, foram desenvolvidos jogos educativos e recursos como vídeos e conteúdos em realidade aumentada para suportar a

aprendizagem. Complementarmente foram também avaliados fatores como a utilidade percebida dos sensores pelos participantes, o interesse no seu uso, e o contributo dos sensores para a experiência dos jogos, revelando conclusões sobre o potencial educativo dos sensores em jogos interativos. Por fim, estas atividades foram implementadas com turmas de alunos entre o 9.º e o 12.º ano de escolaridades sendo que os participantes demonstraram gostar da atividade, consideraram ter aprendido conceitos novos sobre qualidade do ar e ruído.

De uma forma geral, os sensores de SOM foram mais utilizados em comparação com os sensores PM. Para além disso, os participantes que realizaram o jogo sobre ruído indicaram que estes tornaram a experiência do jogo mais interessante. Devido às suas características os jogos EduCITY dificultam a realização de perguntas que obriguem o uso dos sensores. Apenas uma pergunta no jogo “EduCITY e o ruído” podia ser respondida utilizando os sensores o que pode ter levado ao seu maior uso. O jogo sobre qualidade do ar não tinha perguntas que pudessem ser respondidas através do uso dos sensores e, por isso, estes eram acessórios, não contribuindo para o objetivo principal do jogo, que, na ótica dos participantes, seria a competição. A não obrigatoriedade do uso dos sensores é uma das limitações deste trabalho uma vez que possibilitou que este não fossem usados pelos participantes dificultando a avaliação do impacto dos sensores que se pretendia realizar

Para que um jogo educativo seja eficaz no processo de aprendizagem, é fundamental que seja interessante e motivador (Koroleva & Novak, 2020; Lee et al., 2022). De um modo geral, os resultados indicam que a implementação dos jogos foi bem-sucedida. Os participantes mostraram-se empenhados durante a atividade, demonstraram ter gostado de participar, que o jogo não é aborrecido e expressam que aprenderam conceitos novos.

As informações necessárias para responder às perguntas devem estar facilmente acessíveis e devem ser apresentadas de forma clara, permitindo que os participantes respondam com base em conhecimento, e não ao acaso, o que pode gerar frustração. (Hu et al., 2022) Os resultados mostram que a maior parte dos participantes considera que os recursos educativos são adequados para auxiliar a responder às questões, mas que, por vezes, não têm o nível de complexidade adequado, sendo esta opinião mais evidente em relação ao jogo sobre ruído. Estes recursos frequentemente utilizam uma linguagem mais técnica e menos conversacional e poderão não ser suficientemente desafiantes para o público-alvo. Isso pode ter levado a algum desinteresse, o que pode explicar as percentagens tão altas de respostas erradas em perguntas cujas respostas estavam presentes em recursos do tipo AR Book.

Jogos educativos desafiantes promovem o interesse, a motivação e a capacidade de foco dos participantes. (Hu et al., 2022) Verifica-se que a maioria dos participantes considera o jogo desafiante, embora escolham valores intermédios da escala.

Na literatura, os jogos educativos têm demonstrado ser mais eficazes em manter o interesse dos alunos no processo de aprendizagem do que os métodos de ensino tradicionais (Koroleva & Novak, 2020; Lee et al., 2022). De forma a proporcionarem um bom processo de aprendizagem, os jogos devem despoletar no jogador interesse pelo jogo (Lee et al., 2022). A maioria dos participantes considera os jogos interessantes, no entanto, uma parte significativa opta pela opção neutra. O nível de interesse pelo jogo está muito dependente das expectativas. Sendo uma atividade realizada em contexto de aula, permite que os alunos “escapem” da sala de aula e tenham uma experiência mais cativante do que uma aula tradicional. No entanto, o jogo em si consiste em perguntas de escolha múltipla, às vezes com desafios matemáticos e outras atividades semelhantes às realizadas comumente em contextos de ensino formal. Por isso, considera-se que a opinião expressada pelos participantes é positiva. O nível de interesse dos participantes pelo jogo é ainda corroborado pelas respostas à afirmação “O jogo é aborrecido”, com a grande maioria a discordar da afirmação.

De forma a garantir que a experiência do jogo é menos frustrante, é essencial que as perguntas sejam fáceis de entender e que o tipo de discurso seja acessível aos

participantes (Hu et al., 2022). Os participantes do jogo sobre a qualidade do ar revelaram facilidade em compreender as questões, embora escolham valores intermédios da escala. Por outro lado, os participantes do jogo sobre o ruído consideraram as questões difíceis de compreender. Uma das diferenças entre os resultados dos jogos é que o jogo sobre o ruído apresenta uma percentagem muito elevada de respostas incorretas a algumas perguntas, como por exemplo a pergunta 16 “Quais são os principais efeitos do ruído na saúde? Seleccionem as opções corretas.” à qual todos os grupos responderam incorretamente. Estes resultados podem dever-se à existência de “ratoeiras”, como é o caso desta pergunta em que todas as opções de resposta estão corretas. Da mesma forma, verifica-se um número elevado de respostas erradas, em comparação com as restantes questões, na pergunta 8 do jogo sobre qualidade do ar “Das seguintes opções quais são consequências da exposição à poluição atmosférica?”, onde a opção correta era “todas as anteriores”, e na pergunta 22 do jogo sobre ruído “Que serviços ambientais fornece uma zona verde urbana? Seleccionem as opções corretas.”, que tinha três opções corretas. A dificuldade em responder corretamente às questões pode gerar sentimentos negativos em relação às questões e uma sensação de incompreensão do enunciado. Por outro lado, ao comparar esses resultados com as respostas à afirmação 'o jogo é desafiante', percebe-se que a maioria dos participantes concorda, mas opta por valores intermédios na escala o que indica que a dificuldade de compreensão pode não se deve ao grau de dificuldade acrescido das perguntas. Uma forma de evitar este problema seria não incluir perguntas em que todas as opções de resposta estão corretas ou que utilizem mecanismos semelhantes para aumentar a dificuldade, mas que possam induzir o participante em erro. Esse tipo de perguntas pode levar o participante a errar, mesmo sabendo a resposta, simplesmente por não considerar todas as possibilidades. No entanto, para não diminuir o grau de dificuldade do jogo e torná-lo mais desafiante, poder-se-ia aumentar a dificuldade das perguntas consideradas mais fáceis reformulando-as.

O uso de sensores ambientais de baixo custo no projeto EduCITY tinha por base a ideia da ciência cidadã, ou seja, o envolvimento dos participantes no processo de recolha de dados ambientais. Este contacto em primeira mão pretendia aumentar o conhecimento e a perceção dos participantes em relação ao ambiente, resultando numa melhor compreensão dos riscos associados à exposição a poluentes (Noël et al., 2022; Wokekoro, 2020). A perceção do risco é essencial para a promoção de comportamentos mais sustentáveis, sendo que, a uma melhor perceção do risco está relacionada com uma maior propensão a agir de forma a proteger a saúde e a aumentar o apoio por medidas políticas com vista à redução de poluição (Noël et al., 2022). Vários estudos demonstram bons resultados que um maior conhecimento sobre o ambiente circundante pode ter na melhoria da perceção dos problemas ambientais (Yang et al., 2024). A ciência cidadã, em que a população tem contacto direto com os problemas ambientais, surge como um facilitador dessa aprendizagem. Há vários casos de sucesso em que essa abordagem foi determinante para a promoção de comportamentos e competências em prol da sustentabilidade (Abhijith et al., 2024; Manshur et al., 2023b; Marquart et al., 2022; Varaden et al., 2021). Contudo, existem alguns desafios na implementação de um projeto de ciência cidadã, como a dificuldade em manter a motivação e o interesse dos participantes para as atividades de amostragem, que geralmente são repetitivas e aborrecidas. A associação entre jogos sérios e ciência cidadã tem-se mostrado eficaz na motivação dos participantes para as atividades de amostragem (Speelman et al., 2023). Através da integração de sensores ambientais nos jogos educativos, pretendia-se motivar os participantes para a sua utilização e para o processo de amostragem, sendo esperado que os consultassem ao longo das atividades. Assim, de acordo com o objetivo principal desta dissertação, pretendia-se avaliar o impacto que a combinação entre aprendizagem baseada em jogos e ciência cidadã pode ter na promoção de competências para a sustentabilidade e de acordo com o segundo objetivo específico, pretendia-se integrar sensores de baixo custo em recursos educativos de um projeto de educação ambiental e avaliar os seus resultados.

Os resultados da integração dos sensores são muito diferentes para os dois tipos de sensores. Relativamente aos sensores PM, apenas 2 participantes discordam da afirmação “Não vi os resultados das medições dos sensores durante o jogo”. Deste modo, conclui-se que apenas estes dois participantes afirmam ter consultado os sensores PM.

No que toca à motivação sentida pelos alunos no uso dos sensores, apenas 2 participantes afirmam que se sentiram incentivados pelas perguntas a usar os sensores. Estes resultados podem estar relacionados com o facto da maioria dos participantes não compreender as razões para o seu uso.

Relativamente à afirmação “A visualização dos dados dos sensores é de fácil compreensão”, os resultados apontam que só poderão ser consideradas válidas respostas de participantes que afirmam ter visualizado os dados. Por esta razão foram excluídas todas as respostas contraditórias de participantes que afirmam não ter visualizados os dados, mas que, ao mesmo tempo, respondem a afirmações sobre a facilidade de compreensão dos dados dos sensores, nomeadamente as questões 3.4 e 3.6 do Apêndice 12.

A recolha de dados através de questionários é um método eficaz para inquirir um elevado número de participantes, para obter informação detalhada sobre um tema e para inquirir sobre atitudes, sentimentos, valores, opiniões ou informação factual (Coutinho, 2013; Santos & Henriques, 2021). Contudo, estes não incentivam os participantes responderem com atenção e podem gerar não respostas e problemas de credibilidade dos dados (Coutinho, 2013; Santos & Henriques, 2021). Isto pode levar à falta de fiabilidade dos resultados que podem não refletir a opinião dos participantes.

De modo a avaliar a fiabilidade podem ser introduzidas distorções nos questionários, através de afirmações contraditórias sobre o mesmo tema (Coutinho, 2013). Se os participantes expressarem opiniões opostas, conclui-se que os questionários podem não refletir corretamente a sua opinião. Alguns questionários foram excluídos da análise por essa mesma razão, mas, mesmo entre os considerados fiáveis, identificaram-se respostas algo contraditórias como são exemplos as questões 3.4 e 3.6 do Apêndice 12. A triangulação das respostas aos questionários com outros instrumentos de recolhas de dados é um método eficaz para assegurar a fiabilidade dos dados e das conclusões alcançadas. (Cameron & Sankaran, 2013; Coutinho, 2013; Creswell & Creswell, 2005). A triangulação combina informações obtidas através de vários métodos, acrescentando rigor e profundidade à investigação (Cameron & Sankaran, 2013; Coutinho, 2013; Creswell & Creswell, 2005). Na prática, a existência de contradições entre dois conjuntos de dados pode indicar a necessidade de repetir a análise, levando a novas conclusões ou justificando a razão por detrás de tais discrepâncias (Coutinho, 2013). Neste trabalho, realizou-se a triangulação entre os resultados dos questionários e os registos automáticos da app (número de respostas corretas a cada pergunta), o que permitiu identificar possíveis justificações para algumas conclusões ou mesmo chegar a novas conclusões. Contudo, não foi possível recolher dados adicionais devido a constrangimentos temporais. As atividades tinham de ser realizadas antes do final do ano letivo, de forma a garantir a participantes, e os instrumentos de recolha de dados necessitavam da aprovação por várias entidades. A realização de, por exemplo, de focus-group implicava a recolha de dados pessoais, o que tornaria difícil a sua aprovação em tempo útil. Para trabalho futuro, propõe-se a repetição da recolha de dados, complementando-a com entrevistas *focus-group*, e com grelhas de observação preenchidas pelos monitores (Rodrigues et al., 2022). Para além disso a aplicação de questionários é aconselhada para amostras com pelo menos 100 participantes (Coutinho, 2013). No âmbito desta dissertação, participaram cerca de 80 pessoas, divididas em dois grupos, que jogaram jogos diferentes e preencheram questionários distintos. Além disso nem todos os questionários preenchidos foram considerados válidos. Para aumentar a fiabilidade dos resultados, seria recomendável repetir as atividades com um número maior de participantes.

Através do jogo “EduCITY e a qualidade do ar”, pretendia-se incentivar os participantes a utilizar os sensores. Uma das estratégias possíveis seria a formulação de

perguntas que exigissem o uso dos sensores, ou seja, perguntas cuja resposta só pudesse ser obtida pela consulta dos dados. No entanto, a app EduCITY permite apenas a criação de perguntas de escolha múltipla, o que significa que as respostas são definidas previamente à realização do jogo. Para fazer perguntas como, por exemplo, “Qual é a concentração de partículas neste local?”, seria necessário prever a concentração de partículas para uma determinada hora e local. Como isso não é viável, o jogo só consegue incentivar o uso dos sensores por meio de sugestões como: “Aproveita para verificar como está a concentração de partículas neste local”. Essas frases de incentivo aparecem tanto na introdução quanto nos feedbacks de perguntas onde faz sentido incluí-las. Contudo, verificou-se que essa estratégia não foi eficaz em incentivar os participantes a consultarem os dados dos sensores. A falta de interesse pode também estar relacionada com a incompreensão da utilidade dos sensores, demonstrada por alguns participantes. Além disso, os sensores não eram essenciais para os resultados do jogo ou para o objetivo da competição. Conforme mencionado por Hu et al. (2022), informações irrelevantes para a atividade podem gerar frustração e desinteresse, o que contribui para explicar esses resultados.

Conclui-se, assim, que os participantes que jogaram o jogo “EduCITY e a qualidade do ar” e não tiraram partido dos sensores, como seria desejável. Idealmente, para contornar esse problema, os sensores deveriam ser utilizados em atividades desenvolvidas exclusivamente para esse fim, que fossem centradas nos sensores, tornando-os essenciais para as atividades e garantindo que o seu uso fosse obrigatório. Isso asseguraria que os participantes compreendessem a importância dos sensores e estivessem motivados a utilizá-los.

Relativamente aos sensores de ruído, observou-se que quase a totalidade dos participantes de grupos que tinha um sensor de ruído respondeu “sim” à questão “O meu grupo usou o sensor durante a atividade.” Quanto à afirmação “não vi os resultados das medições dos sensores durante o jogo”, 5 participantes concordam e 13 discordam. Por outro lado, em relação à afirmação “As perguntas incentivaram-me a usar os sensores”, 9 participantes concordam e 9 discordam. Comparando esses resultados, verifica-se que nem todos os participantes que afirmam ter usado os sensores o fizeram porque o jogo os incentivou a isso. Isso pode estar relacionado com o maior interesse demonstrado pelos sensores de ruído, que são mais interativos e podem ser utilizados para atividades divertidas, como verificar os níveis de ruído alcançáveis com a voz. Durante a atividade os alunos demonstraram esse maior fascínio relativamente aos sensores de ruído o que pode ajudar a explicar as diferenças em relação aos resultados da utilização dos sensores PM. Embora o objetivo das perguntas fosse incentivar os participantes a usar os sensores, os resultados mostram que isso ocorreu apenas em relação a 9 participantes de um total de 26. Outra explicação para apenas 13 participantes terem afirmado ter usado os sensores pode ser o facto de que cada grupo de três ou quatro elementos dispunha apenas de um sensor de ruído e um telemóvel. Essa limitação pode ter impedido que todos os membros dos grupos tivessem a oportunidade de interagir com o sensor. Além disso, apenas uma das 24 perguntas podia ser respondida através do uso dos sensores, o que, tendo em conta os resultados relativos aos sensores PM, indica que possa ter sido a única questão a incentivar o uso dos sensores. Estes resultados, especialmente os relativos aos sensores de partículas, devido ao reduzido número respostas, levantam questões sobre a fiabilidade que poderiam ser respondidas com a triangulação dos resultados.

Relativamente a outros parâmetros da utilização dos sensores de ruído, verifica-se que a opinião dos participantes é bastante positiva, com apenas dois a afirmar não ter compreendido a utilidade dos sensores. A possibilidade de usar os sensores de ruído para responder a uma pergunta conferiu um propósito prático aos sensores, integrando-os no contexto do jogo. Quanto à facilidade de visualização, a maioria dos participantes considera que a visualização dos dados e o índice EduCITY são fáceis de compreender. Por fim, 20 dos 26 participantes afirmam que os sensores tornam o jogo mais interessante.

O impacto dos jogos educativos nas competências para a sustentabilidade foi também avaliado através dos questionários. As perguntas de cada questionário relacionadas a cada jogo eram diferentes, mas a maioria abordava os mesmos conceitos, aplicados à poluição atmosférica ou à poluição sonora. Os resultados da aplicação desses questionários, assim como a análise individual de cada pergunta, estão descritos no Apêndice 17. De forma a facilitar a interpretação dos resultados as perguntas do questionário associado ao jogo “EduCITY e qualidade do ar” são numeradas de acordo com a numeração presente no Apêndice 1 seguidas da letra A (exemplo: 1.A) e aquelas associadas ao jogo “EduCITY e o ruído” são numeradas seguindo a numeração presente no Apêndice 2 sendo seguidas da letra R (exemplo: 1.R). De seguida, são discutidos esses resultados.

As atividades tinham como objetivo de fomentar as competências para a sustentabilidade dos participantes. No entanto, as limitações das atividades, nomeadamente o curto período de contacto com os participantes limitam os potenciais impactos das atividades. A percepção dos problemas e as competências para a sustentabilidade são desenvolvidas ao longo da vida, e é difícil que uma atividade de 45 minutos produza alterações profundas. Além disso, o uso de apenas um instrumento de recolha de dados dificulta na análise das respostas, de forma cabal, pois o preenchimento de um questionário em contexto de atividade exterior à sala de aula pode ser levado de ânimo leve, daí que algumas afirmações possam ter sido escolhidas sem reflexão ou sem o nível de concentração desejável (Cameron & Sankaran, 2013; Coutinho, 2013; Creswell & Creswell, 2005).

A poluição atmosférica e o ruído são problemas ambientais muito diferentes, o que dificulta a comparação entre os resultados dos diferentes jogos. A poluição atmosférica é composta por vários poluentes e pode ser influenciada por fontes naturais, mesmo em contextos urbanos. Fatores como o vento, a geografia do terreno e as condições meteorológicas também afetam a poluição do ar. Além disso, os poluentes passam por fenómenos de acumulação e dispersão, e em casos de poluição mais severa, a poluição atmosférica pode ser visível. A poluição sonora é composta apenas por um poluente, as ondas sonoras. Tem poucas fontes naturais, especialmente em contextos urbanos, e não se acumula. No entanto, é influenciada pela morfologia do terreno e por outros fatores como o vento. Além disso, a poluição sonora é sempre invisível. A poluição sonora abrange um menor número de conceitos do que a poluição atmosférica, resultando em menos tópicos passíveis de serem abordados num jogo educativo e num questionário. Por essa razão, as perguntas de avaliação dos conhecimentos são tão diferentes em cada questionário. Além das diferentes características, há também diferenças no mediatismo dos problemas, com a poluição atmosférica a estar muito mais presente na comunicação social. Essas diferenças contribuem para distintas percepções dos problemas. Por todas essas razões, os resultados das duas atividades desenvolvidas são diferentes.

Os resultados evidenciam uma maior diferença entre as respostas aos questionários pré e pós do jogo “EduCITY e a qualidade do ar”, tanto no incremento dos conhecimentos quanto das competências para a sustentabilidade. Esses resultados também se refletem nos questionários de opinião sobre os jogos, onde os participantes expressam uma maior novidade em relação aos conceitos abordados pelo jogo sobre a qualidade do ar.

Os resultados dos questionários de avaliação das competências para a sustentabilidade demonstram uma clara diferença quanto à percepção inicial dos participantes em relação à poluição atmosférica e ao ruído. Antes da atividade, os participantes demonstraram menor preocupação relativamente ao ruído, quanto aos possíveis impactos na saúde e à sua contribuição pessoal para a emissão de ruído. Observando, por exemplo, as perguntas 4.A e 5.R, “Considero que a poluição atmosférica/sonora não afeta a saúde dos aveirenses”, percebe-se a diferença na percepção dos participantes relativamente aos dois tópicos. Inicialmente todos os participantes discordaram da afirmação sobre a poluição atmosférica, o que se manteve

inalterado no final do jogo. No entanto, em relação à afirmação sobre o ruído, apenas 33% dos participantes discordaram da afirmação no início da atividade, valor que passa para 37% no final, uma diferença muito pouco significativa.

Para além disso, os participantes demonstraram uma menor predisposição para agir para mitigar esses impactos, seja na proteção individual ou na prevenção de atividades ruidosas. Isso está em consonância com a literatura, uma vez que uma menor percepção do risco está associada a uma menor predisposição para agir (Noël et al., 2022). A correta percepção do risco da exposição a poluentes é essencial para aumentar a predisposição para agir em prol da proteção da saúde e para apoiar medidas de redução da poluição (Noël et al., 2022). Nesse sentido, verifica-se também um maior apoio por medidas de redução da poluição atmosférica do que por medidas de redução do ruído, através das respostas a afirmações como a 15.A e a 16.R. As percepções dos impactos na saúde da poluição sonora mantiveram-se praticamente inalteradas antes e depois do jogo. Em relação à poluição atmosférica, os participantes revelaram uma maior preocupação quanto aos possíveis efeitos na saúde e ao impacto a nível pessoal. Inicialmente, percebe-se também algum desconhecimento sobre como agir para reduzir a exposição à poluição bem como uma baixa predisposição para o fazer. No entanto, no final do jogo, este cenário altera-se, com os participantes a mostrarem-se mais disponíveis para alterar o seu dia a dia de forma a protegerem-se da poluição atmosférica. Ou seja, quando o participante já está consciente dos desafios da poluição e demonstra preocupação pelo tema, a atividade foi eficaz na sensibilização para a necessidade da proteção da saúde e na transmissão de conhecimentos sobre como o fazer. No caso da poluição sonora, onde a grande maioria dos participantes não demonstrava preocupação em relação ao problema, a atividade não foi eficaz em aumentar a consciência dos participantes em relação aos riscos associados ao ruído, como também não conseguiu transmitir a importância da proteção da saúde.

Relativamente à percepção da contribuição pessoal para a poluição atmosférica ou para o ruído (afirmações 5.A, 6.R, 12.A e 12.R), verifica-se que, inicialmente, os participantes já se mostravam conscientes do impacto das suas ações na qualidade do ar, opinião expressa nas duas questões (5.A e 12.A). Relativamente ao ruído, verifica-se que apenas 3 participantes concordam com a afirmação 6.R “Considero que as ações do meu dia a dia contribuem para a poluição sonora”. No final do jogo, essa percepção manteve-se inalterada relativamente à qualidade do ar, e o número de participantes que concordam com a afirmação relativa ao ruído subiu para 14. Isto indica que o jogo pode ter ajudado a desenvolver a consciência do impacto pessoal. Por outro lado, relativamente à afirmação 12.R “Considero que as ações individuais têm pouco impacto na poluição sonora”, verificou-se inicialmente que 11 participantes discordavam da afirmação, valor que diminuiu para 6 no final da atividade. Ou seja, no final da atividade um maior número de participantes considera que a ação individual tem pouco impacto na poluição sonora, contrariamente ao desejado e ao verificado na afirmação 6.R. A triangulação dos resultados com dados obtidos por outros métodos seria mais uma vez necessária para perceber e justificar estes resultados contraditórios.

Em relação à percepção dos problemas ambientais de forma holística, englobando as mais diferentes áreas, verifica-se que a maioria dos participantes já estava consciente disso antes do jogo e que essa percepção se manteve inalterada no final.

Através das perguntas 2.A e 2.R é possível perceber que a maioria dos participantes concorda com a afirmação “Considero que a poluição atmosférica/sonora varia muito de local para local até dentro da mesma cidade” demonstrando que os participantes estão conscientes das dinâmicas espaciais da poluição. Essa percepção manteve-se inalterada no final do jogo.

Olhando para a pergunta 6.A, “Considero que o uso das lareiras tem consequências negativas para a qualidade do ar”, verifica-se uma variação positiva nas respostas. Isso evidencia que os participantes, no final do jogo, demonstram uma maior consciência do impacto das suas ações e do contributo das diferentes fontes de poluição. Esta afirmação é especialmente relevante, uma vez que os poluentes associados a fontes

naturais, como a queima de biomassa para aquecimento, são frequentemente percebidos como menos impactantes (Reeve et al., 2013). Pode-se concluir que o jogo contribuiu para desconstruir este viés identificado na literatura.

Destaca-se também que a afirmação onde se verifica a maior diferença nas competências para a sustentabilidade antes e depois do jogo é a 10.A, “Acredito que em Portugal morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica, como demonstra um estudo de José Brito (2022)”, com 15% a concordarem com a afirmação no início da atividade, comparado com 78% no final. O jogo “EduCITY e o ruído” foi, assim, determinante no aumento da confiança dos participantes em factos científicos sobre a qualidade do ar, mesmo que não compreendam plenamente o que está por trás desses dados.

Em conclusão, os jogos EduCITY mostraram-se eficazes no aumento da compreensão e da consciencialização sobre os temas de qualidade do ar e ruído, evidenciando o potencial educativo dos sensores de baixo custo em atividades de ciência cidadã. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, foi possível perceber que o uso de sensores ambientais de baixo custo e índices ambientais em contexto de ciência cidadã, assim como a sua integração em jogos educativos, é um assunto muito pouco explorado. Esta dissertação representa um trabalho exploratório que procura preencher estas lacunas e refletir sobre as potencialidades do uso de sensores de baixo custo integrados em jogos educativos em contexto de ciência cidadã. As suas conclusões contribuem para a identificação de fragilidades e potencialidades da implementação deste tipo de ferramentas em trabalhos futuros.

É relevante destacar que este trabalho foi divulgado em dois eventos científicos de relevo, contribuindo para a disseminação dos resultados e das práticas de educação ambiental promovidas pelo projeto. O primeiro evento foi o Encontro Internacional de Educação Ambiental, realizado em Guimarães, onde foi submetido e apresentado o artigo *Effective communication of scientific data in a citizen science project, the EduCITY* (Figueiredo, D., Pombo, L., Marques, M., & Lopes, M., 2024). Este artigo, conforme detalhado no Anexo 1, discute a eficácia da comunicação de dados científicos no contexto de ciência cidadã aplicada ao projeto EduCITY. O segundo evento foi o XX Encontro Nacional de Educação em Ciências, no qual foi apresentado o artigo *The EduCITY app with environmental sensors towards education for sustainability* (Figueiredo, D., Rodrigues, R., Pombo, L., Lopes, M., Rodrigues, S., Santos, M., 2024), que explora o uso de sensores ambientais na aplicação EduCITY para promover a educação para a sustentabilidade. Estes eventos permitiram não apenas a apresentação e validação dos resultados, como também fomentaram o envolvimento com a comunidade académica e com profissionais da área, reforçando o impacto e o alcance educativo do projeto.

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação foram identificadas várias limitações associadas à avaliação e utilização dos sensores de baixo custo, que, por restrições de tempo e de equipamento, não foram possíveis de superar. Neste capítulo são apresentadas recomendações para trabalho futuro, que visam responder a estas limitações.

Relativamente às amostragens para avaliação do desempenho dos sensores de PM a diferentes frequências de amostragem, sugere-se a repetição destas amostragens realizando-as em simultâneo com sensores de referência. Desta forma, seria possível avaliar se os resultados mais precisos também são os mais exatos. Além disso, recomenda-se que as amostragens sejam realizadas num ambiente controlado, sem ocupantes e com a porta fechada, para garantir uma maior estabilidade na concentração de partículas entre as amostragens.

Para possibilitar a realização de testes estatísticos, como o coeficiente de correlação linear, sugere-se realizar novas amostragens comparativas entre os sensores PM, sensores de referência e sensores STEAM City, em diferentes momentos do dia e durante episódios de elevada concentração de partículas (como situações de poeiras do Norte de África ou incêndios). Recomenda-se que estas amostragens sejam feitas em

dias de baixa humidade relativa, possibilitando a obtenção de resultados numa gama alargada de concentrações e, assim, verificar a linearidade dos dados. Para um estudo mais aprofundado da influência dos fatores ambientais, sugere-se ainda a realização de um maior número de amostragens em dias com diferentes condições meteorológicas.

Como etapa inicial de avaliação dos sensores, recomenda-se a análise de vários modelos de sensores de baixo custo, de modo a identificar aqueles que melhor respondem às necessidades do projeto. A ausência de opções quanto à escolha dos sensores impediu, por exemplo, a realização de uma calibração adequada dos sensores PM. Assim, sugere-se que uma calibração rigorosa seja realizada em trabalhos futuros e, caso os sensores não cumpram os requisitos estabelecidos, deve-se ponderar a aquisição de novos modelos. Estas recomendações são válidas para sensores de qualidade do ar e sensores de ruído.

No que se refere às amostragens comparativas entre os sensores SOM, recomenda-se a repetição das amostragens em simultâneo com um sensor de referência, para verificar se o desempenho varia conforme diferentes frequências ou intensidades sonoras. Para uma análise mais ampla, pode-se realizar amostragens com uma fonte sonora mais intensa, abrangendo uma gama alargada de valores de intensidade sonora.

Na comparação entre os sensores e a rede STEAM City, faz-se as mesmas recomendações propostas para os sensores de PM: um maior número de amostragens, em horários variados (por exemplo, durante a noite, para um ambiente mais silencioso) e, se possível, em dias de maior intensidade de ruído. Este procedimento permitiria uma análise estatística mais detalhada, facilitando a realização de testes adicionais. A repetição de amostragens em condições meteorológicas variadas também poderá ajudar a entender melhor a influência dos fatores ambientais no desempenho dos equipamentos.

Adicionalmente, para avaliar o funcionamento dos sensores em contexto de ciência cidadã, poderiam ser realizadas recolhas de dados com o auxílio dos participantes durante jogos educativos, comparando os resultados com redes de sensores ambientais fixas e com sensores de referência móveis. Isso permitiria avaliar o potencial da amostragem ambiental e da ciência cidadã quando associadas a jogos educativos.

Para fortalecer a fundamentação teórica da adaptação dos índices ambientais ao contexto de ciência cidadã, sugere-se a realização de uma revisão sistemática da literatura mais aprofundada. Adicionalmente, recomenda-se recolher a opinião de participantes que utilizem os índices, com o objetivo de identificar possíveis limitações na sua capacidade de transmitir o nível de risco associado à exposição a poluentes e avaliar fatores como a facilidade de compreensão da linguagem. As conclusões obtidas poderiam contribuir para o aperfeiçoamento dos índices ambientais.

Quanto à recolha de dados através de questionários, recomenda-se a repetição das atividades, complementando com entrevistas em grupos focais e grelhas de observação para permitir a triangulação dos dados, o que ajudaria a extrair novas conclusões. Além disso, seria benéfico realizar um número maior de atividades, assegurando que pelo menos 100 participantes preencham cada questionário.

Foi identificada uma limitação no grau de dificuldade de algumas questões dos questionários, uma vez que certas "ratoeiras" induziam os alunos em erro, apesar de estes poderem saber a resposta correta. Para contornar esta limitação, sugere-se reformular as perguntas mais simples, aumentando gradualmente o seu grau de dificuldade, tornando o jogo mais desafiador e envolvente.

Recomenda-se, ainda, a integração dos sensores em atividades cujo foco seja exclusivamente o seu uso, sem atividades paralelas, tornando-os centrais nos objetivos dos jogos educativos. Para assegurar bons resultados, é essencial que os sensores sejam percebidos como relevantes e úteis no contexto das atividades. Explicações claras sobre a importância da amostragem ambiental podem aumentar o interesse dos participantes nestas iniciativas.

Para melhorar a eficácia dos jogos no desenvolvimento de competências para a sustentabilidade, sugere-se desenvolver um jogo que colmate as lacunas de perceção identificadas neste trabalho. Nesse sentido, recomenda-se também a aplicação de inquéritos mais aprofundados (não só questionários, mas também entrevistas) para aferir os conhecimentos e competências de uma forma mais abrangente antes do desenvolvimento das atividades, permitindo a criação de jogos mais eficazes na promoção de competências sustentáveis.

Referencias bibliográficas

- Abhijith, K., Kumar, P., Omidvarborna, H., Emygdio, A. P. M., McCallan, B., & Carpenter-Lomax, D. (2024). Improving air pollution awareness of the general public through citizen science approach. *Sustainable Horizons*, *10*, 100086. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2023.100086>
- AlDousari, A. E., Kafy, A. Al, Saha, M., Fattah, M. A., Almulhim, A. I., Faisal, A. Al, Al Rakib, A., Jahir, D. M. A., Rahaman, Z. A., Bakshi, A., Shahrier, M., & Rahman, M. M. (2022). Modelling the impacts of land use/land cover changing pattern on urban thermal characteristics in Kuwait. *Sustainable Cities and Society*, *86*, 104107. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2022.104107>
- Aluko, E., & Nna, V. (2015). Impact of Noise Pollution on Human Cardiovascular System. *International Journal of TROPICAL DISEASE & Health*, *6*(2), 35–43. <https://doi.org/10.9734/IJTDH/2015/13791>
- APA. (2021a). *Mapas municipais de ruído e mapas estratégicos de ruído*. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/mapas-municipais-de-ruído-e-mapas-estrategicos-de-ruído>
- APA. (2021b). *Ruído Ambiente*. <https://www.apambiente.pt/ar-e-ruído/ruído-ambiente>
- APA. (2023). *Diretrizes para elaboração de mapas de ruído - métodos CNOSSOS-EU*.
- Baffoe, P. E., Duker, A. A., & Senkyire-Kwarteng, E. V. (2022). Assessment of health impacts of noise pollution in the Tarkwa Mining Community of Ghana using noise mapping techniques. *Global Health Journal*, *6*(1), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2022.01.005>
- Barros, N., Sobral, P., Moreira, R. S., Vargas, J., Fonseca, A., Abreu, I., & Guerreiro, M. S. (2023). SchoolAIR: A Citizen Science IoT Framework Using Low-Cost Sensing for Indoor Air Quality Management. *Sensors*, *24*(1), 148. <https://doi.org/10.3390/s24010148>
- Bianchi, G., Pisoris, U., & Cabrera, G. M. (2022). GreenComp The European sustainability competence framework. *Publications Office of the European Union*, *51*. <https://doi.org/10.2760/13286>
- Bickerstaff, K. (2004). Risk perception research: socio-cultural perspectives on the public experience of air pollution. *Environment International*, *30*(6), 827–840. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.12.001>
- Bickerstaff, K., & Walker, G. (2001). Public understandings of air pollution: the 'localisation' of environmental risk. *Global Environmental Change*, *11*(2), 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00063-7)
- Borrego, C., Costa, A. M., Ginja, J., Amorim, M., Coutinho, M., Karatzas, K., Sioumis, T., Katsifarakis, N., Konstantinidis, K., De Vito, S., Esposito, E., Smith, P., André, N., Gérard, P., Francis, L. A., Castell, N., Schneider, P., Viana, M., Minguillón, M. C., ... Penza, M. (2016). Assessment of air quality microsensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise. *Atmospheric Environment*, *147*, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.050>
- Cameron, R., & Sankaran, S. (2013). Foundations and Methods of Inquiry. In *Mixed Methods Research Design: Well Beyond the Notion of Triangulation* (pp. 383–401).
- Can, A., Guillaume, G., & Picaut, J. (2016). Cross-calibration of participatory sensor networks for environmental noise mapping. *Applied Acoustics*, *110*, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.03.013>
- Castell, N., Dauge, F. R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D., & Bartonova, A. (2017). Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environment International*, *99*, 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007>

- Castellani, B., Bartington, S., Wistow, J., Heckels, N., Ellison, A., Van Tongeren, M., Arnold, S. R., Barbrook-Johnson, P., Bicket, M., Pope, F. D., Russ, T. C., Clarke, C. L., Pirani, M., Schwannauer, M., Vieno, M., Turnbull, R., Gilbert, N., & Reis, S. (2022). Mitigating the impact of air pollution on dementia and brain health: Setting the policy agenda. In *Environmental Research* (Vol. 215). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114362>
- Chang, C.-L., & Chen, C.-N. (2023). Practical impact of school-age children using digital games to learn environmental education. *E3S Web of Conferences*, 452, 07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345207005>
- Chen, M., Yuan, W., Cao, C., Buehler, C., Gentner, D. R., & Lee, X. (2022). Development and Performance Evaluation of a Low-Cost Portable PM2.5 Monitor for Mobile Deployment. *Sensors*, 22(7). <https://doi.org/10.3390/s22072767>
- Coelho, S., Ferreira, J., & Lopes, M. (2023). Source apportionment of air pollution in urban areas: a review of the most suitable source-oriented models. In *Air Quality, Atmosphere and Health* (Vol. 16, Issue 6, pp. 1185–1194). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01334-z>
- Concas, F., Mineraud, J., Lagerspetz, E., Varjonen, S., Liu, X., Puolamäki, K., Nurmi, P., & Tarkoma, S. (2021). Low-Cost Outdoor Air Quality Monitoring and Sensor Calibration. In *ACM Transactions on Sensor Networks* (Vol. 17, Issue 2). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3446005>
- Coutinho, C. P. (2013). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas* (2nd ed.).
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2005). Mixed Methods Research: Developments, Debates and Dilemmas. In *Foundations and Methods of Inquiry*.
- Criscuolo, L., L'Astorina, A., van der Wal, R., & Gray, L. C. (2023). Recent contributions of citizen science on sustainability policies: A critical review. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 31). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100423>
- Daniel, A. D., Junqueira, M., & Rodrigues, J. C. (2022). The influence of a gamified application on soft mobility promotion: An intention perspective. *Journal of Cleaner Production*, 351. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131551>
- Decreto-Lei n.º 102/2010, de 23 de Setembro (2010).
- DeFlorio-Barker, S., Zelasky, S., Park, K., Lobdell, D. T., Stone, S. L., & Rappazzo, K. M. (2022). Are the adverse health effects of air pollution modified among active children and adolescents? A review of the literature. In *Preventive Medicine* (Vol. 164). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2022.107306>
- DFROBOT. (n.d.-a). *Air Quality Monitor (PM 2.5, Formaldehyde, Temperature & Humidity Sensor)*. Retrieved March 11, 2024, from https://wiki.dfrobot.com/Air_Quality_Monitor__PM_2.5_Temperature_and_Humidity_Sensor__SKU__SEN0233
- DFROBOT. (n.d.-b). *SEN0232 Gravity: Analog Sound Level Meter*. Retrieved March 11, 2024, from https://wiki.dfrobot.com/Gravity__Analog_Sound_Level_Meter_SKU__SEN0232
- Diretiva 2002/49/CE de 25 de Junho de 2002 (2002).
- Domínguez, F., The Cuong, N., Reinoso, F., Touhafi, A., & Steenhaut, K. (2013). Active Self-Testing Noise Measurement Sensors for Large-Scale Environmental Sensor Networks. *Sensors*, 13(12), 17241–17264. <https://doi.org/10.3390/s131217241>
- EEA. (2020). Air quality in Europe - 2020 report. In *EEA Report* (Issue No 09/2020). <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- EEA. (2022). *Air quality in Europe 2022*. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>
- Fan, X., Li, L., Zhao, L., He, H., Zhang, D., Ren, Z., & Zhang, Y. (2020). Environmental noise pollution control of substation by passive vibration and acoustic reduction strategies. *Applied Acoustics*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107305>

- Figueiredo, D., Pombo, L., M. Marques, M., & Lopes, M. (n.d.). Effective communication of scientific data in a citizen science project, the EduCITY. *Encontro Internacional de Educação Ambiental 2024*.
- Finger, L., van den Bogaert, V., Schmidt, L., Fleischer, J., Stadler, M., Sommer, K., & Wirth, J. (2023). The science of citizen science: a systematic literature review on educational and scientific outcomes. In *Frontiers in Education* (Vol. 8). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1226529>
- Firdaus, G., & Ahmad, A. (2010). Noise Pollution and Human Health: A Case Study of Municipal Corporation of Delhi. *Indoor and Built Environment*, 19(6), 648–656. <https://doi.org/10.1177/1420326X10370532>
- Gaigbe-Togbe, V., Bassarsky, L., Gu, D., Spoorenberg, T., & Zeifman, L. (2022). *World Population Prospects 2022*. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- Godin, K., Stapleton, J., Kirkpatrick, S. I., Hanning, R. M., & Leatherdale, S. T. (2015). Applying systematic review search methods to the grey literature: A case study examining guidelines for school-based breakfast programs in Canada. *Systematic Reviews*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-015-0125-0>
- González Ortiz, Alberto., Guerreiro, Cristina., Soares, Joana., & European Environment Agency. (2020). *Air quality in Europe : 2020 report*. Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- Graça, D., Reis, J., Gama, C., Monteiro, A., Rodrigues, V., Rebelo, M., Borrego, C., Lopes, M., & Miranda, A. I. (2023). Sensors Network as an Added Value for the Characterization of Spatial and Temporal Air Quality Patterns at the Urban Scale. *Sensors*, 23(4), 1859. <https://doi.org/10.3390/s23041859>
- Guerra Miguel Déjean, Ribeiro Rita, & Rodrigues Sofia. (2019). *Relatório do Estado do Ambiente 2019*. <https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/rea/REA2019/REA2019.pdf>
- Gupta, A., Gupta, A., Jain, K., & Gupta, S. (2018). Noise Pollution and Impact on Children Health. *The Indian Journal of Pediatrics*, 85(4), 300–306. <https://doi.org/10.1007/s12098-017-2579-7>
- Gupta, M., & Eden, G. (2022). The Human-Air Interface: Responding To Poor Air Quality Through Lived Experience and Digital Information. *DIS 2022 - Proceedings of the 2022 ACM Designing Interactive Systems Conference: Digital Wellbeing*, 1085–1098. <https://doi.org/10.1145/3532106.3533563>
- Hammer, M. S., Swinburn, T. K., & Neitzel, R. L. (2014). Environmental Noise Pollution in the United States: Developing an Effective Public Health Response. *Environmental Health Perspectives*, 122(2), 115–119. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307272>
- Hassani, A., Castell, N., Watne, Å. K., & Schneider, P. (2023). Citizen-operated mobile low-cost sensors for urban PM2.5 monitoring: field calibration, uncertainty estimation, and application. *Sustainable Cities and Society*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104607>
- Hegewald, J., Schubert, M., Freiberg, A., Romero Starke, K., Augustin, F., Riedel-Heller, S. G., Zeeb, H., & Seidler, A. (2020). Traffic Noise and Mental Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(17), 6175. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176175>
- Hu, Y., Gallagher, T., Wouters, P., van der Schaaf, M., & Kester, L. (2022). Game-based learning has good chemistry with chemistry education: A three-level meta-analysis. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(9), 1499–1543. <https://doi.org/10.1002/tea.21765>

- Jamir, L., Nongkynrih, B., & Gupta, S. (2014). Community noise pollution in urban India: Need for public health action. *Indian Journal of Community Medicine*, 39(1), 8. <https://doi.org/10.4103/0970-0218.126342>
- Jariwala, H. (2017). *Noise Pollution & Human Health: A Review*. https://www.researchgate.net/publication/319329633_Noise_Pollution_Human_Health_A_Review
- Juginović, A., Vuković, M., Aranza, I., & Biloš, V. (2021). Health impacts of air pollution exposure from 1990 to 2019 in 43 European countries. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01802-5>
- Kaminski Schittini, G. (2020). *Avaliação objetiva e subjetiva do ruído ambiental do Campus Politécnico da UFPR*. Universidade Federal do Paraná.
- Karagulian, F., Barbieri, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S., & Borowiak, A. (2019). Review of the performance of low-cost sensors for air quality monitoring. In *Atmosphere* (Vol. 10, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/atmos10090506>
- Karatzas, K. (2009). Informing the public about atmospheric quality: Air pollution and pollen. *Allergo Journal*, 03/09, 221–217. <https://doi.org/10.1007/BF03362059>
- Koroleva, K., & Novak, J. (2020). How to engage with sustainability issues we rarely experience? A gamification model for collective awareness platforms in water-related sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/SU12020712>
- Kuhlbusch, T. A. J., Quincey, P., Fuller, G. W., Kelly, F., Mudway, I., Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Katsouyanni, K., Weijers, E., Borowiak, A., Gehrig, R., Hueglin, C., Bruckmann, P., Favez, O., Sciare, J., Hoffmann, B., EspenYttri, K., Torseth, K., ... Quass, U. (2014). New Directions: The future of European urban air quality monitoring. In *Atmospheric Environment* (Vol. 87, pp. 258–260). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.012>
- Kumar, Ahirwar, & Prasad. (2023). A Review on Noise Pollution Monitoring, Mapping, Modelling, and Health Impacts. *Journal of Environmental Informatics Letters*. <https://doi.org/10.3808/jeil.202300113>
- Kumar, P., Morawska, L., Martani, C., Biskos, G., Neophytou, M., Di Sabatino, S., Bell, M., Norford, L., & Britter, R. (2015). The rise of low-cost sensing for managing air pollution in cities. In *Environment International* (Vol. 75, pp. 199–205). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.11.019>
- Lee, W. H., Shim, H. M., & Kim, H. G. (2022). Effect of Game-based Learning using Live Streaming on Learners' Interest, Immersion, Satisfaction, and Instructors' Perception. *International Journal of Serious Games*, 9(2), 3–26. <https://doi.org/10.17083/ijsg.v9i2.457>
- Mahajan, S., Kumar, P., Pinto, J. A., Riccetti, A., Schaaf, K., Camprodon, G., Smári, V., Passani, A., & Forino, G. (2020). A citizen science approach for enhancing public understanding of air pollution. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101800. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101800>
- Maisonneuve, N., Stevens, M., & Ochab, B. (2010). Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *Information Polity*, 15(1,2), 51–71. <https://doi.org/10.3233/IP-2010-0200>
- Mandujano, G., Quist, J., & Hamari, J. (2021). Gamification of backcasting for sustainability: The development of the gameful backcasting framework (GAMEBACK). *Journal of Cleaner Production*, 302. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126609>
- Manshur, T., Luiu, C., Avis, W. R., Bukachi, V., Gatari, M., Mulligan, J., Ng'an'ga, D., Radcliffe, J., Singh, A., Waiguru, E., Wandera, A., & Pope, F. D. (2023a). A citizen science approach for air quality monitoring in a Kenyan informal development. *City and Environment Interactions*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100105>
- Manshur, T., Luiu, C., Avis, W. R., Bukachi, V., Gatari, M., Mulligan, J., Ng'an'ga, D., Radcliffe, J., Singh, A., Waiguru, E., Wandera, A., & Pope, F. D. (2023b). A citizen

- science approach for air quality monitoring in a Kenyan informal development. *City and Environment Interactions*, 19, 100105.
<https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100105>
- Manvell, D. (2015). *Utilising the Strengths of Different Sound Sensor Networks in Smart City Noise Management*.
- Marouf, S., Bell, M. C., Goodman, P., Namdeo, A., & Neasham, J. (2018). Pervasive wireless sensors: A new monitoring tool for road traffic noise evaluation. *Applied Acoustics*, 135, 48–59. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.01.017>
- Marquart, H., Stark, K., & Jarass, J. (2022). How are air pollution and noise perceived en route? Investigating cyclists' and pedestrians' personal exposure, wellbeing and practices during commute. In *Journal of Transport and Health* (Vol. 24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101325>
- Martí, I. G., Rodríguez, L. E., Benedito, M., Trilles, S., Beltrán, A., Díaz, L., & Huerta, J. (2012). Mobile application for noise pollution monitoring through gamification techniques. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7522 LNCS, 562–571. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33542-6_74
- Masum, M. H., Pal, S. K., Akhie, A. A., Ruva, I. J., Akter, N., & Nath, S. (2021). Spatiotemporal monitoring and assessment of noise pollution in an urban setting. *Environmental Challenges*, 5, 100218.
<https://doi.org/10.1016/J.ENV.2021.100218>
- Moltchanov, S., Levy, I., Etzion, Y., Lerner, U., Broday, D. M., & Fishbain, B. (2015). On the feasibility of measuring urban air pollution by wireless distributed sensor networks. *Science of The Total Environment*, 502, 537–547.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.059>
- Morawska, L., Thai, P. K., Liu, X., Asumadu-Sakyi, A., Ayoko, G., Bartonova, A., Bedini, A., Chai, F., Christensen, B., Dunbabin, M., Gao, J., Hagler, G. S. W., Jayaratne, R., Kumar, P., Lau, A. K. H., Louie, P. K. K., Mazaheri, M., Ning, Z., Motta, N., ... Williams, R. (2018). Applications of low-cost sensing technologies for air quality monitoring and exposure assessment: How far have they gone? In *Environment International* (Vol. 116, pp. 286–299). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.018>
- Narayana, M. V., Jalihal, D., & Shiva Nagendra, S. M. (2022). Establishing A Sustainable Low-Cost Air Quality Monitoring Setup: A Survey of the State-of-the-Art. In *Sensors* (Vol. 22, Issue 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s22010394>
- Neil, K., Ben, A., Raymond, O. O., Matthijs, van O., Mary, M., Judith, O. M., Godwin, A., Vanesa, C. B., Merlin, C., Lewis, D., Simon, J., Ayyoob, S., Alice, S., David, S., Pietro, F., Sergio, F., Thomas, K., Michele, M., Marcello, S., ... Hita, U. (2022). *Envisaging the Future of Cities*.
https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- Noël, C., Van Landschoot, L., Vanroelen, C., & Gadeyne, S. (2022). The Public's Perceptions of Air Pollution. What's in a Name? *Environmental Health Insights*, 16. <https://doi.org/10.1177/11786302221123563>
- Olmo, N. R. S., Saldiva, P. H. do N., Braga, A. L. F., Lin, C. A., Santos, U. de P., & Pereirai, L. A. A. (2011). A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: Implications for epidemiological studies and public policy. In *Clinics* (Vol. 66, Issue 4, pp. 681–690). <https://doi.org/10.1590/S1807-59322011000400025>
- Pellas, N., & Mystakidis, S. (2020). A Systematic Review of Research about Game-based Learning in Virtual Worlds. In *Journal of Universal Computer Science* (Vol. 26, Issue 8).
- Peris, E., Blanes, N., Fons, J., Sainz de la Maz, M., Ramos, M., Domingues, F., Biala, K., Ganzleben, C., & Adams, M. (2020). *Environmental noise in Europe - 2020*.
<https://doi.org/10.2800/686249>

- Picaut, J., Can, A., Fortin, N., Ardouin, J., & Lagrange, M. (2020a). Low-cost sensors for noise monitoring networks: a review. *E-Forum Acusticum*, 669–676.
- Picaut, J., Can, A., Fortin, N., Ardouin, J., & Lagrange, M. (2020b). Low-Cost Sensors for Urban Noise Monitoring Networks—A Literature Review. *Sensors*, 20(8), 2256. <https://doi.org/10.3390/s20082256>
- Pombo, L., Ferreira-Santos, J., Draghi, J., Lopes, L., M. Marques, M., Lopes, M., Sá, P., Beça, P., Rodrigues, R., Tavares, R., Pinho, R., Ribeiro, S., Rodrigues, S., & Carlos, V. (2022). *Aveiro, cidade sustentável: EduCITY* (1st ed.). UA Editora. <https://ria.ua.pt/handle/10773/35194>
- Pombo, L., & Marques, M. M. (2020). The potential educational value of mobile augmented reality games: The case of edupark app. *Education Sciences*, 10(10), 1–20. <https://doi.org/10.3390/educsci10100287>
- Pombo, L., Marques, M. M., & Oliveira, S. (2019). *Lessons Learned - EduPARK*. UA Editora. https://www.researchgate.net/publication/338937385_Lessons_Learned_-_EduPARK
- Quintero, G., Balastegui, A., & Romeu, J. (2019a). A low-cost noise measurement device for noise mapping based on mobile sampling. *Measurement*, 148, 106894. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106894>
- Quintero, G., Balastegui, A., & Romeu, J. (2019b). A low-cost noise measurement device for noise mapping based on mobile sampling. *Measurement*, 148, 106894. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106894>
- Rainho Pereira Branco, E. (2013). *O RUÍDO NAS ESCOLAS*. Universidade de Coimbra.
- Rana, R., Chou, C. T., Bulusu, N., Kanhere, S., & Hu, W. (2015). Ear-Phone: A context-aware noise mapping using smart phones. *Pervasive and Mobile Computing*, 17, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2014.02.001>
- Raphael Pinto Mattos, P. (2019). *ANÁLISE DA POLUIÇÃO SONORA NAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS DO DISTRITO FEDERAL*. Universidade de Brasília.
- Reeve, I., Scott, J., Hine, D. W., & Bhullar, N. (2013). “This is not a burning issue for me”: How citizens justify their use of wood heaters in a city with a severe air pollution problem. *Energy Policy*, 57, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.042>
- Rei Cláudia, Pereira Catarina, & Almeida Fernando. (2019). *Relatório Ambiental-Avaliação Ambiental Estratégica: PDM Aveiro*.
- Renner, A., Muller, J., & Theissler, A. (2022). State-of-the-art on writing a literature review: An overview of types and components. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2022-March*, 1895–1902. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766503>
- Rito, P., Almeida, A., Figueiredo, A., Gomes, C., Teixeira, P., Rosmaninho, R., Lopes, R., Dias, D., Vítor, G., Perna, G., Silva, M., Senna, C., Raposo, D., Luís, M., Sargento, S., Oliveira, A., & de Carvalho, N. B. (2023). Aveiro Tech City Living Lab: A Communication, Sensing, and Computing Platform for City Environments. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(15), 13489–13510. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3262627>
- Rizvi, S. H., Fatima, H., Iqbal, M. J., & Alam, K. (2020). The effect of urbanization on the intensification of SUHIs: Analysis by LULC on Karachi. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105374>
- Rodrigues, R., Pombo, L., & Marques, M. M. (2022). *RAISING STUDENTS’ AWARENESS ABOUT NATURE CONSERVATION: FROM THE PARK TO THE CITY*.
- Rodríguez, N., Yebra, F., Dopico, A., Garcia-Vazquez, E., & Dopico, E. (2024). Blue Gold, Game-Based Learning to Encourage Sustainable Consumption: The Case of Mobile Phones. *Sustainability*, 16(2), 688. <https://doi.org/10.3390/su16020688>
- Rogers, Y., Price, S., Fitzpatrick, G., Fleck, R., Harris, E., Smith, H., Randell, C., Muller, H., O’malley, C., Stanton, D., Thompson, M., & Weal, M. (2004). Ambient wood:

- Designing new forms of digital augmentation for learning outdoors. *Proceedings of the 2004 Conference on Interaction Design and Children: Building a Community, IDC 2004*, 3–10. <https://doi.org/10.1145/1017833.1017834>
- Rogulski, M., & Badyda, A. (2020). Investigation of Low-Cost and Optical Particulate Matter Sensors for Ambient Monitoring. *Atmosphere*, 11(10), 1040. <https://doi.org/10.3390/atmos11101040>
- Saliba Santos, L. (2020). *Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para fins de planejamento urbano*. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Santiago, J. L., Rivas, E., Gamarra, A. R., Vivanco, M. G., Buccolieri, R., Martilli, A., Lechón, Y., & Martín, F. (2022). Estimates of population exposure to atmospheric pollution and health-related externalities in a real city: The impact of spatial resolution on the accuracy of results. *Science of The Total Environment*, 819, 152062. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.152062>
- Santos, J. R., & Henriques, S. (2021). *Inquérito por Questionário: contributos de conceção e utilização em contextos educativos*. <https://doi.org/10.34627/3s9s-k971>
- Selamat, F. E., Tagusari, J., & Matsui, T. (2021). Mapping of transportation noise-induced health risks as an alternative tool for risk communication with local residents. *Applied Acoustics*, 178, 107987. <https://doi.org/10.1016/J.APACOUST.2021.107987>
- Shi, X., Zheng, Y., Cui, H., Zhang, Y., & Jiang, M. (2022). Exposure to outdoor and indoor air pollution and risk of overweight and obesity across different life periods: A review. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 242). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113893>
- Shim, E., Kim, D., Woo, H., & Cho, Y. (2016). Designing a Sustainable Noise Mapping System Based on Citizen Scientists Smartphone Sensor Data. *PLOS ONE*, 11(9), e0161835. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161835>
- Sicard, P., Agathokleous, E., Anenberg, S. C., De Marco, A., Paoletti, E., & Calatayud, V. (2023). Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective. In *Science of the Total Environment* (Vol. 858). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160064>
- Silva, M., Valente, B., & Caseiro, A. (2019). *Eco-sensores como recursos de participação em saúde ambiental nas escolas, Da Investigação às Práticas*. <https://doi.org/https://doi.org/10.25757/invep.v9i1.170>
- Song, W., & Kwan, M. P. (2023). Air pollution perception bias: Mismatch between air pollution exposure and perception of air quality in real-time contexts. *Health and Place*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2023.103129>
- Sousa, A. C., Pastorinho, M. R., Masjedi, M. R., Urrutia-Pereira, M., Arrais, M., Nunes, E., To, T., Ferreira, A. J., Robalo-Cordeiro, C., Borrego, C., Teixeira, J. P., & Taborda-Barata, L. (2022). Issue 1 - “Update on adverse respiratory effects of outdoor air pollution” Part 2): Outdoor air pollution and respiratory diseases: Perspectives from Angola, Brazil, Canada, Iran, Mozambique and Portugal. In *Pulmonology* (Vol. 28, Issue 5, pp. 376–395). Elsevier Espana S.L.U. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2021.12.007>
- Souza, M. T. de, Silva, M. D. da, & Carvalho, R. de. (2010). *Revisão integrativa: o que é e como fazer Integrative review: what is it? How to do it?* (Vol. 8, Issue 1).
- Speelman, E. N., Escano, E., Marcos, D., & Becu, N. (2023). Serious games and citizen science; from parallel pathways to greater synergies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101320>
- Stansfeld, S. (2015). Noise Effects on Health in the Context of Air Pollution Exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 12735–12760. <https://doi.org/10.3390/ijerph121012735>
- Stansfeld, S., & Matheson, M. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68(1), 243–257. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg033>

- Thompson, J. E. (2016). Crowd-sourced air quality studies: A review of the literature & portable sensors. In *Trends in Environmental Analytical Chemistry* (Vol. 11, pp. 23–34). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2016.06.001>
- Torrallba-Burrial, A., & Dopico, E. (2023). Promoting the Sustainability of Artisanal Fishing through Environmental Education with Game-Based Learning. *Sustainability*, 15(17), 12905. <https://doi.org/10.3390/su151712905>
- Torres Delgado, B. (2021). *Monitorização do Ruído no Metropolitano de Lisboa*. Instituto Superior de Engenharia do Ambiente.
- van Zoest, V., Osei, F. B., Stein, A., & Hoek, G. (2019). Calibration of low-cost NO₂ sensors in an urban air quality network. *Atmospheric Environment*, 210, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.04.048>
- Varaden, D., Leidland, E., Lim, S., & Barratt, B. (2021). “I am an air quality scientist” – Using citizen science to characterise school children’s exposure to air pollution. *Environmental Research*, 201, 111536. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111536>
- Vizcaíno, M. A. C., González-Comadran, M., & Jacquemin, B. (2016). Outdoor air pollution and human infertility: a systematic review. In *Fertility and Sterility* (Vol. 106, Issue 4, pp. 897-904.e1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.07.1110>
- Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., Samson, R., & Wagenknecht, K. (2021). *The Science of Citizen Science*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-58278-4>
- Wang, M., & Zhou, T. (2022). Understanding the dynamic relationship between smart city implementation and urban sustainability. *Technology in Society*, 70, 102018. <https://doi.org/10.1016/J.TECHSOC.2022.102018>
- Whittaker, A., Bérubé, K., Jones, T., Maynard, R., & Richards, R. (2004). Killer smog of London, 50 years on: particle properties and oxidative capacity. *Science of the Total Environment*, 435–445. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.04.047>
- WHO. (2018). *Environmental noise guidelines for European Region*. WHO Regional Office for Europe. <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>
- Wokekoro, E. (2020). Public Awareness of the Impacts of Noise Pollution on Human Health. *World Journal of Research and Review (WJRR)*, 10(6), 27–32. www.wjrr.org
- Wu, C.-C., Tsai, C.-Y., Chuang, H.-C., & Chang, T.-Y. (2022). Development and performance evaluation of a mixed-sensor system for fine particles and road traffic noise. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102902. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102902>
- Wu, H. W., Kumar, P., & Cao, S. J. (2022). Implementation of green infrastructure for improving the building environment of elderly care centres. In *Journal of Building Engineering* (Vol. 54). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104682>
- Yang, G., Ju, Y., & Ni, W. (2024). Does the air pollution level information matter in public perception? Insights from China. *Journal of Environmental Management*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119582>
- Yi, C., Wang, Q., Qu, Y., Niu, J., Oliver, B. G., & Chen, H. (2022). In-utero exposure to air pollution and early-life neural development and cognition. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 238). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113589>
- Zappatore, M., Longo, A., & Bochicchio, M. A. (2017). Crowd-sensing our Smart Cities: a Platform for Noise Monitoring and Acoustic Urban Planning. *Journal of Communications Software and Systems*, 13(2), 53. <https://doi.org/10.24138/jcomss.v13i2.373>
- Zhang, X., Han, L., Wei, H., Tan, X., Zhou, W., Li, W., & Qian, Y. (2022). Linking urbanization and air quality together: A review and a perspective on the future sustainable urban development. *Journal of Cleaner Production*, 346, 130988. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130988>

Zipf, L., Primack, R. B., & Rothendler, M. (2020). Citizen scientists and university students monitor noise pollution in cities and protected areas with smartphones. *PLOS ONE*, 15(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236785>

Apêndices

Apêndice 1- Guião do Jogo “EduCITY e a qualidade do ar”

Mensagem inicial do jogo (PT): O que sabem acerca da qualidade do ar de Aveiro? Será muito poluído? De que maneira afeta a nossa vida? Primeiro vamos conhecer as características do ar que respiramos para depois percebermos como nos podemos proteger.

Início de ciclo de pontos de interesse (que irão definir o percurso do jogo)

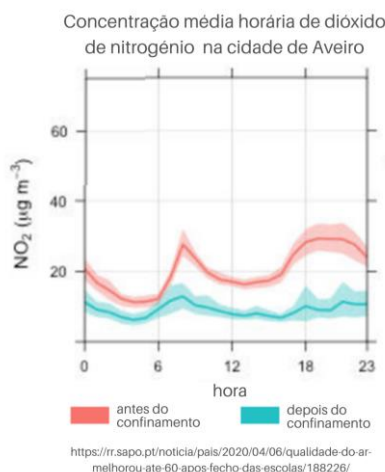
Ponto de interesse 1: Estação de monitorização de qualidade do ar Aveiro

Direções ponto de interesse: O primeiro ponto de interesse é a estação de medição de qualidade do ar de Aveiro. Esta fica no contentor que podem observar do exterior da escola secundária.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 1

Introdução à questão 1 (PT): A 16 de março de 2020, devido à pandemia de COVID-19, todas as escolas fecharam em Portugal. Este confinamento levou a alterações da qualidade do ar das cidades. A imagem mostra a concentração do poluente NO₂ antes e depois do confinamento.

Recursos multimédia (PT)



Questão 1 (PT): Tendo em conta a variação nos níveis de poluentes provocada pelo confinamento, qual é a principal fonte de poluição atmosférica nas cidades?

Opções de resposta à questão 1 (PT):

Opção 1: Indústria

***Opção 2: Tráfego rodoviário**

Opção 3: Poeiras do Norte de África

Opção 4: Lareiras

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O tráfego rodoviário, particularmente os veículos com motor de combustão interna, são os principais emissores dos poluentes

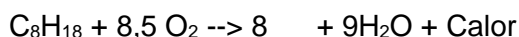
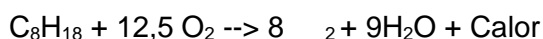
como o dióxido de nitrogénio (NO₂). Tanto as lareiras como as poeiras do Norte de Africa, podem ter impactos na qualidade do ar, mas são fenómenos esporádicos ou sazonais.

Feedback resposta errada (PT): Ups! O tráfego rodoviário, particularmente os veículos com motor de combustão interna, são os principais emissores dos poluentes como o dióxido de nitrogénio (NO₂). Tanto as lareiras como as poeiras do Norte de Africa, podem ter impactos na qualidade do ar, mas são fenómenos esporádicos ou sazonais.

Introdução à questão 2 (PT): Apesar do desgaste dos travões e dos pneus ser uma fonte de poluição atmosférica, a principal fonte de poluentes do tráfego rodoviário é a queima de combustíveis fósseis.

Recursos multimédia (PT)

Reações associadas à queima do isoctado (C₈H₁₈ fórmula química simplificada gasolina).



Impurezas--> PM (partículas em suspensão)

Questão 2 (PT): Quais são os principais poluentes emitidos diretamente pelos carros?
Dica: Resolvam as equações químicas para responder corretamente.

Opções de resposta à questão 2 (PT):

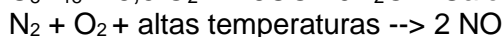
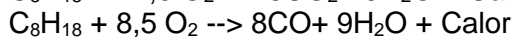
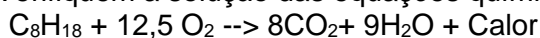
Opção 1: Partículas, NO₂, NO, O₃, CO

Opção 2: CH₄, NH₃, partículas, CO₂.

Opção 3: Partículas, NH₄, CH₄, O₃.

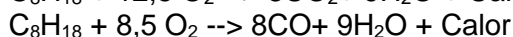
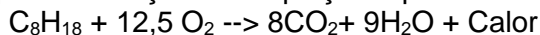
***Opção 4: Partículas, NO, CO, CO₂.**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Os poluentes são: partículas PM, NO, CO, CO₂. Verifiquem a solução das equações químicas na imagem seguinte.



São ainda formadas partículas PM que ficam suspensas na atmosfera.

Feedback resposta errada (PT): Oh! Os poluentes são: partículas PM, NO, CO, CO₂. Verifiquem a solução das equações químicas na imagem seguinte.



São ainda formadas partículas PM que ficam suspensas na atmosfera.

Introdução à questão 3 (PT): Os poluentes primários são aqueles que são diretamente emitidos pelas atividades humanas. Na atmosfera estes podem sofrer reações químicas originando os poluentes secundários.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 3 (PT): Dos seguintes compostos qual é um poluente secundário? Consulta a RA para mais informação.

Opções de resposta à questão 3 (PT):

Opção 1: C₃H₈ (Propano)

Opção 2: SO₂ (Dióxido de enxofre)

Opção 3: NO₂ (Dióxido de Nitrogénio)

***Opção 4: O₃ (Ozono)**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O Ozono (O₃) é o principal poluente secundário em contexto urbano. Este surge através de reações químicas dos poluentes emitidos pelos carros na atmosfera.

Feedback resposta errada (PT): Ups! O Ozono (O₃) é o principal poluente secundário em contexto urbano. Este surge através de reações químicas dos poluentes emitidos pelos carros na atmosfera.

Introdução à questão 4 (PT): A poluição atmosférica tem graves impactos na saúde das populações. Mas qual será a verdadeira dimensão deste impacto? Voltem a consulta a RA para mais informação

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 4 (PT): Em Portugal quantas mortes ocorrem devido à poluição atmosférica por ano?

Opções de resposta à questão 4 (PT):

Opção 1: 10000

Opção 2: 7000

***Opção 3: 5000**

Opção 4: 9000

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Um estudo de José Brito (2022) concluiu que em Portugal morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica. Comparando, em 2022 morreram 462 pessoas vítimas de acidentes rodoviários em Portugal.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Um estudo de José Brito (2022) concluiu que em Portugal morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica. Comparando, em 2022 morreram 462 pessoas vítimas de acidentes rodoviários em Portugal.

Introdução à questão 5 (PT): De forma a prevenir o efeito da poluição atmosférica na nossa saúde existem alguns hábitos que podemos implementar. Um deles é verificar regularmente o estado da qualidade na vossa cidade.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 5 (PT): O que é possível consultar na app QualAr? Seleccionem todas as opções corretas.

Opções de resposta à questão 5 (PT):

***Opção 1: Informação meteorológica.**

***Opção 2: Estado da qualidade do ar.**

Opção 3: Estado do trânsito.

***Opção 4: Previsão da qualidade do ar.**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Na app QualAr podem ver o estado e previsão da qualidade do ar para os próximos dias através de um índice. Assim podem tomar medidas para minimizar a exposição a poluentes. Esta app também disponibiliza informação meteorológica.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Na app QualAr podem ver o estado e previsão da qualidade do ar para os próximos dias através de um índice. Assim podem tomar medidas para minimizar a exposição a poluentes. Esta app também disponibiliza informação meteorológica.

Introdução à questão 6 (PT): O índice de qualidade do ar mostra de uma forma fácil de entender o risco da exposição a poluição atmosférica. O índice da app QualAr para Aveiro é calculado através das medições feitas nesta estação de monitorização de qualidade do ar. Voltem a consultar a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 6 (PT): Se o índice QUALAR for mau (vermelho) significa que: (Escolham as opções corretas)

Opções de resposta à questão 6 (PT):

Opção 1: As aulas de educação física devem ser ao ar livre

***Opção 2: Grupos de risco devem evitar atividades ao ar livre**

Opção 3: Devemos arejar a casa para melhorar o ar interior

***Opção 4: Crianças idosos e grupos de risco devem ficar em casa**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Em dias de má qualidade do ar devem evitar fazer atividades ao ar livre e as crianças e os idosos devem ficar em casa. Nestes dias deve-se evitar arejar a casa e as aulas de educação física devem ser feitas em espaços interiores. Aproveitem agora para verificar através dos sensores como está a qualidade do ar!

Feedback resposta errada (PT): Falhou alguma! Em dias de má qualidade do ar devem evitar fazer atividades ao ar livre e as crianças e os idosos devem ficar em casa. Nestes dias deve-se evitar arejar a casa e as aulas de educação física devem ser feitas em espaços interiores. Aproveitem agora para verificar através dos sensores como está a qualidade do ar!

Ponto de interesse 2 (PT): Estátua da Princesa Santa Joana.

Direções para encontrar o ponto de interesse 2 (PT): Virados para a escola sigam pela esquerda até ao museu de Santa Joana. Cuidado ao atravessar a rua.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 2

Introdução à questão 7 (PT): Como já vimos é importante estarmos atentos ao ar da nossa cidade de forma a protegermos a nossa saúde. Apontem o telemóvel para o portal visível na fotografia e observem a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 7 (PT): O que podemos fazer para evitar exposição à poluição atmosférica?

Opções de resposta à questão 7 (PT):

***Opção 1: Evitar exercício físico em áreas poluídas.**

Opção 2: Usar a lareira para reduzir o consumo de eletricidade.

Opção 3: Optar pelo carro em vez da bicicleta.

***Opção 4: Optar por passear nos espaços verdes.**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! De forma a evitar a exposição à poluição atmosférica devem evitar exercício físico em áreas poluídas e optar por passear em espaços verdes, geralmente menos poluídos. O uso da lareira é mais poluente do que equipamentos elétricos e deve-se optar por meios de mobilidade suave.

Feedback resposta errada (PT): Ups! De forma a evitar a exposição à poluição atmosférica devem evitar exercício físico em áreas poluídas e optar por passear em espaços verdes, geralmente menos poluídos. O uso da lareira é mais poluente do que equipamentos elétricos e deve-se optar por meios de mobilidade suave.

Introdução à questão 8 (PT): A má qualidade do ar tem várias consequências para a saúde humana. O seu controlo é essencial para prevenir várias doenças. Observem a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 8 (PT): Das seguintes opções quais são consequências da exposição à poluição atmosférica?

Opções de resposta à questão 8 (PT):

Opção 1: Acidente vascular cerebral (AVC).

Opção 2: Aumenta o risco de diabetes e demência.

Opção 3: Agrava a asma e a bronquite.

***Opção 4: Todas as anteriores.**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A poluição atmosférica tem efeitos na saúde cardiovascular (AVC) e respiratória. Também se sabe que a poluição atmosférica é um fator importante no desenvolvimento de diabetes e demência.

Feedback resposta errada (PT): Oh que pena! A poluição atmosférica tem efeitos na saúde cardiovascular (AVC) e respiratória. Também se sabe que a poluição atmosférica é um fator importante no desenvolvimento de diabetes e demência.

Introdução à questão 9 (PT): Um dos principais poluentes das cidades são as partículas PM_{10} e $PM_{2.5}$. Estes poluentes são partículas em suspensão com diâmetros muito pequenos. Observem a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 9 (PT): Qual é o diâmetro das partículas PM_{10} e $PM_{2.5}$? Consultem RA para mais informação.

Opções de resposta à questão 9 (PT):

***Opção 1: Micrómetros**

Opção 2: Nanómetros

Opção 3: Decâmetros

Opção 4: Todas as anteriores

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O diâmetro das partículas PM_{10} e $PM_{2.5}$ está na ordem dos micrómetros, ou seja, 10-6 metros. Isto representa um diâmetro cerca de 20 vezes menor do que um cabelo.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! O diâmetro das partículas PM_{10} e $PM_{2.5}$ está na ordem dos micrómetros, ou seja, 10-6 metros. Isto representa um diâmetro cerca de 20 vezes menor do que um cabelo.

Introdução à questão 10 (PT): As partículas com um diâmetro mais pequeno, $PM_{2.5}$, são as mais nocivas para a saúde. Consultem RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 10 (PT): Por que razão as partículas de diâmetro mais pequeno são as mais nocivas para a saúde? Seleccionem todas as opções corretas

Opções de resposta à questão 10 (PT):

***Opção 1: Chegam até aos alvéolos**

***Opção 2: Podem chegar à corrente sanguínea**

Opção 3: Ficam alojadas na parte superior dos pulmões

Opção 4: Podem provocar tosse

Feedback resposta correta (PT): Boa! Pelas suas dimensões, as partículas $PM_{2.5}$ penetram nos pulmões chegando até aos alvéolos pulmonares, estruturas onde se dão as trocas gasosas. Estas partículas podem passar para a corrente sanguínea, contribuindo assim para o surgimento de doenças cardiovasculares.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Pelas suas dimensões, as partículas $PM_{2.5}$ penetram nos pulmões chegando até aos alvéolos pulmonares, estruturas onde se dão

as trocas gasosas. Estas partículas podem passar para a corrente sanguínea, contribuindo assim para o surgimento de doenças cardiovasculares.

Introdução à questão 11 (PT): O museu de Aveiro/ Santa Joana foi onde viveu a Princesa Santa Joana desde 1472 até à sua morte em 1490.

Questão 11 (PT): A que ordem religiosa se juntou a Princesa Santa Joana?

Opções de resposta à questão 11 (PT):

Opção 1: Ordem do Antigo Convento de Jesus

Opção 2: Carmelitas Descalças

Opção 3: Ordem Vicentina

***Opção 4: Ordem Dominicana feminina**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A Princesa Santa Joana pertencia à Ordem Dominicana feminina. O Convento de Jesus era o nome do antigo convento onde as Dominicanas habitavam. A ordem Vicentina e as Carmelitas Descalças são ordens religiosas das quais a Princesa Santa Joana nunca fez parte.

Feedback resposta errada (PT): Ups! A Princesa Santa Joana pertencia à Ordem Dominicana feminina. O Convento de Jesus era o nome do antigo convento onde as Dominicanas habitavam. A ordem Vicentina e as Carmelitas Descalças são ordens religiosas das quais a Princesa Santa Joana nunca fez parte.

Introdução à questão 12 (PT): Santa Joana tem uma especial importância para a cidade de Aveiro sendo a sua padroeira.

Questão 12 (PT): Em que dia morreu a Princesa Santa Joana?

Opções de resposta à questão 12 (PT):

Opção 1: 5 de janeiro

***Opção 2: 12 de maio**

Opção 3: 24 junho

Opção 4: 12 de agosto

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Santa Joana morreu no dia 12 de maio. Atualmente este dia é o feriado municipal da cidade de Aveiro.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! Santa Joana morreu no dia 12 de maio. Atualmente este dia é o feriado municipal da cidade de Aveiro.

Ponto de interesse 3 (PT): Paragem de autocarro

Direções para encontrar o ponto de interesse 3 (PT): sigam agora para a esquerda pela Avenida de Santa Joana em direção ao parque da cidade. O próximo ponto de interesse é a paragem de autocarro que se encontra do lado esquerdo da rua. Cuidado a atravessar a rua!

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 3.

Introdução à questão 13 (PT): Em 2022 entraram em vigor novos sinais de trânsito, alguns dos quais para promover a sustentabilidade da mobilidade rodoviária.

Recursos multimédia (PT)



Questão 13 (PT): Uma via com estes dois sinais significa que: Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 13 (PT):

***Opção 1: Só podem circular veículos com mais de dois ocupantes.**

Opção 2: Só podem circular para veículos com mais de 2 rodas.

Opção 3: Zona de especial risco.

***Opção 4: Zona de emissões reduzida.**

Feedback resposta correta (PT): Boa! O primeiro sinal indica uma via reservada a veículos com alta taxa de ocupação (2 ou mais pessoas), o segundo sinal indica zona de emissões reduzida onde geralmente está proibida ou restringida a circulação de veículos poluentes.

Feedback resposta errada (PT): Não era bem essas! O primeiro sinal indica uma via reservada a veículos com alta taxa de ocupação (2 ou mais pessoas), o segundo sinal indica zona de emissões reduzida onde geralmente está proibida ou restringida a circulação de veículos poluentes.

Introdução à questão 14 (PT): Outro dos poluentes mais significativos das cidades é o NO₂. Este é emitido principalmente pelos carros e a sua concentração no ar é um bom indicador do nível de tráfego nas cidades. A figura seguinte mostra o valor médio das concentrações de NO₂ para a cidade de Aveiro em 2021.

Recursos multimédia (PT)



Questão 14 (PT): A que hora se verifica maior concentração de NO₂ durante um dia útil?

Opções de resposta à questão 14 (PT):

***Opção 1: Durante as horas de ponta**

Opção 2: Ao fim da tarde

Opção 3: Ao meio-dia

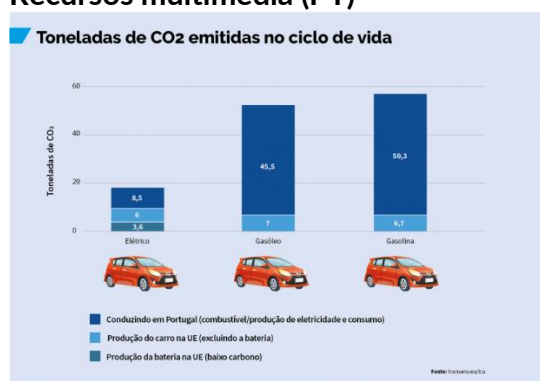
Opção 4: Depende do dia

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Durante as horas de ponta verifica-se uma maior concentração de veículos em circulação. Isso leva a mais emissões e a uma pior qualidade do ar.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! Durante as horas de ponta verifica-se uma maior concentração de veículos em circulação. Isso leva a mais emissões e a uma pior qualidade do ar.

Introdução à questão 15 (PT): Será que os carros elétricos são mesmo amigos do ambiente? A figura seguinte mostra as emissões de CO₂ de um carro ao longo do seu ciclo de vida.

Recursos multimédia (PT)



Questão 15 (PT): Qual a redução de emissões comparando um carro elétrico com um carro a gasolina.

Opções de resposta à questão 15(PT):

*Opção 1: 68%

Opção 2: 31%

Opção 3: 47%

Opção 4: 52%

Feedback resposta correta (PT): Era mesmo essa! Os carros elétricos, quando produzidos na União Europeia e abastecidos em Portugal, podem reduzir as emissões de CO₂ até 68% em comparação com carros a gasolina. $((50,3 + 6,7) - (8,5 + 6 + 3,6)) / (50,3 + 6,7) = 0,68$

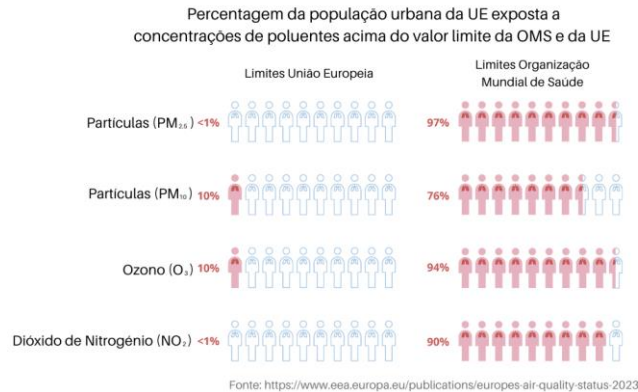
Feedback resposta errada (PT): Ups! Os carros elétricos, quando produzidos na União Europeia e abastecidos em Portugal, podem reduzir as emissões de CO₂ até 68% em comparação com carros a gasolina. $((50,3 + 6,7) - (8,5 + 6 + 3,6)) / (50,3 + 6,7) = 0,68$

Ponto de interesse 4 (PT): Sede da Federação Académica de Desporto Universitário
Direções para encontrar o ponto de interesse 4 (PT): Segue em frente até ao edifício-sede da Federação Academia de Desporto Universitário.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 4.

Introdução à questão 16 (PT): A Organização Mundial de Saúde (OMS) estuda entre outras, as consequências da poluição para a saúde humana. Segundo a OMS, concentrações de partículas PM_{2.5} acima de 5 µg/m³ têm impactos nocivos para a saúde humana.

Recursos multimédia (PT)



Questão 16 (PT): Qual a percentagem da população que está exposta a concentrações de PM_{2.5} acima do valor limite para a Organização Mundial de Saúde?

Opções de resposta à questão 16 (PT):

Opção 1: 94%

Opção 2: <1%

Opção 3: 10%

***Opção 4: 97%**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Infelizmente, 97% da população urbana europeia está exposta a concentrações de PM_{2.5} acima de 5 µg/m³, o valor limite definido pela Organização Mundial de Saúde. Aproveitem para verificar com o sensor de partículas as concentrações neste local.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Infelizmente, 97% da população urbana europeia está exposta a concentrações de PM_{2.5} acima de 5 µg/m³, o valor limite definido pela Organização Mundial de Saúde. Aproveitem para verificar com o sensor de partículas as concentrações neste local.

Introdução à questão 17(PT): A exposição a poluentes atmosféricos depende das suas concentrações na atmosfera, mas também depende da quantidade de ar que respiramos.

Questão 17(PT): Considerem que respiramos cerca de 1 m³ de ar / hora e que a concentração de PM_{2.5} é 20 µg/m³. Qual é a massa de poluentes inalada em meia hora?

Opções de resposta à questão 17 (PT):

Opção 1: 5 microgramas

***Opção 2: 10 microgramas**

Opção 3: 3 microgramas

Opção 4: 20 microgramas

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A quantidade de poluentes inalada é 10 microgramas! Isto depende de vários fatores, por exemplo, se estiveres a correr a quantidade de ar inalado será maior tal como a quantidade de poluentes.

Feedback resposta errada (PT): Ups! A quantidade de poluentes inalada é 10 microgramas! Isto depende de vários fatores, por exemplo, se estiveres a correr a quantidade de ar inalado será maior tal como a quantidade de poluentes.

Introdução à questão 18 (PT): Têm duas opções: Andar 10 km numa rua movimentada com 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração $\text{PM}_{2.5}$, ou andar 15 km pelo parque com 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração de $\text{PM}_{2.5}$.

Questão 18 (PT): Considerando que na primeira opção respiram 1,5 m³ de ar e na segunda 2,3 m³. Qual é a melhor opção?

Opções de resposta à questão 18 (PT):

Opção 1: Optar pelo percurso de 10 km

***Opção 2: Optar pelo percurso de 15 km**

Opção 3: Optar por ficar em casa

Opção 4: Optar por passear de carro

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Apesar do percurso pelo parque ser mais extenso, a inalação de poluentes é menor. Aproveitem e verifiquem o que os sensores estão a medir.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Apesar do percurso pelo parque ser mais extenso, a inalação de poluentes é menor. Aproveitem e verifiquem o que os sensores estão a medir.

Introdução à questão 19 (PT): A Federação Académica de Desporto Universitário tem o propósito de organizar atividades desportivas ao nível universitário. Um das dessas atividades são competições desportivas inter-universidades.

Questão 19 (PT): Quais são as principais vantagens da prática desportiva?

Opções de resposta à questão 19(PT):

*Opção 1: Contribui para o aumento da autoestima

*Opção 2: Melhorias para sono e capacidade de concentração

*Opção 3: Reduz risco de diabetes tipo 2 e de doenças cardiovasculares

*Opção 4: Benefícios para a saúde mental

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A prática desportiva tem vários efeitos positivos para a saúde como redução do risco de doenças cardiovasculares, melhoria do sono e capacidade de concentração, aumentar a autoestima e é essencial para manter uma boa saúde mental.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Escapou alguma! A prática desportiva tem vários efeitos positivos para a saúde como redução do risco de doenças cardiovasculares, melhoria do sono e capacidade de concentração, aumentar a autoestima e é essencial para manter uma boa saúde mental.

Ponto de interesse 5 (PT): Parque coreto

Direções para encontrar o ponto de interesse 5 (PT): Continuem em frente. Atravessem a estrada na passareira e sigam até ao parque do coreto. Cuidado ao atravessar a estrada!

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 5.

Introdução à questão 20 (PT): Os serviços dos ecossistemas são fatores que a natureza fornece que são essenciais para a vida e contribuem para o nosso bem-estar. são exemplos de serviços ambientais a madeira, alimentos, água ou algo menos visível como é a polinização. Observem a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 20 (PT): Que serviços ecossistémicos são fornecidos por uma zona verde urbana como é o caso deste parque?

Opções de resposta à questão 20 (PT):

***Opção 1: Redução da temperatura ambiente**

Opção 2: Aumento das poeiras no ar

***Opção 3: Redução do risco de cheia**

***Opção 4: “Filtração do ar” reduzindo a poluição atmosférica**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! As zonas verdes urbanas contribuem para a melhoria da qualidade do ar, reduzem o risco de cheia pois são uma zona permeável, e podem reduzir a temperatura ambiente até 3°C. No botão sensores verifica como está a qualidade do ar aqui em comparação com os outros pontos do jogo.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Falhou alguma... As zonas verdes urbanas contribuem para a melhoria da qualidade do ar, reduzem o risco de cheia pois são uma zona permeável, e podem reduzir a temperatura ambiente até 3°C. No botão sensores verifica como está a qualidade do ar aqui em comparação com os outros pontos do jogo.

Introdução à questão 21 (PT): Para além do tráfego rodoviário existe uma multiplicidade de fatores que influenciam a qualidade do ar. Alguns destes são de origem natural. Assistam ao seguinte vídeo para responderem as questões.

Recursos multimédia (PT)

Vídeo.

Questão 21 (PT): Que fatores naturais afetam a qualidade do ar?

Opções de resposta à questão 21 (PT):

***Opção 1: Condições atmosféricas**

Opção 2: Quantidade de emissões

***Opção 3: Topografia do local**

Opção 4: Todas as anteriores

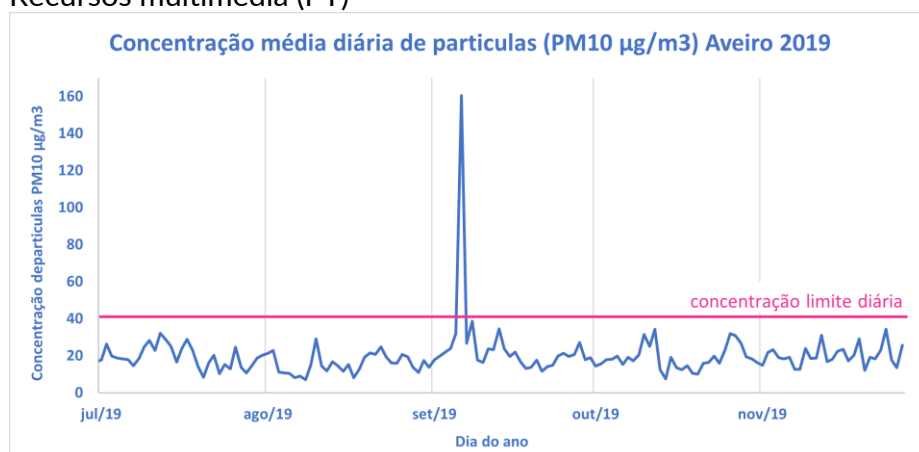
Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A topografia do local pode afetar a qualidade do ar. Já as condições atmosféricas, como o vento e temperatura ambiente,

são essenciais para a dispersão ou concentração de poluentes. Será que o vento está a influenciar a qualidade do ar? Verifiquem com o sensor.

Feedback resposta errada (PT): Escapou alguma! A topografia do local pode afetar a qualidade do ar. Já as condições atmosféricas, como o vento e temperatura ambiente, são essenciais para a dispersão ou concentração de poluentes. Será que o vento está a influenciar a qualidade do ar? Verifiquem com o sensor.

Introdução à questão 22 (PT): Em setembro de 2019 um evento natural deixou a região de Aveiro coberta de uma intensa nuvem de fumo. A figura mostra a evolução da concentração de partículas em Aveiro nesse dia.

Recursos multimédia (PT)



Questão 22 (PT): Que fenómeno provocou o pico de poluentes em Aveiro?

Opções de resposta à questão 22 (PT):

Opção 1: Emissão de poluentes na zona industrial de Cacia/Taboeira

Opção 2: Erupção de um vulcão

Opção 3: Lançamento de fogo de artifício nas festas de S. Gonçalinho

***Opção 4: Incêndio florestal**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Em 2019 um incêndio em Albergaria-a-Velha cobriu de fumo a cidade de Aveiro. Este episódio originou uma concentração de partículas 3 vezes superior ao valor limite. Nestes dias foram emitidos avisos para a população evitar atividades ao ar livre.

Feedback resposta errada (PT): Não era bem essa! Em 2019 um incêndio em Albergaria-a-Velha cobriu de fumo a cidade de Aveiro. Este episódio originou uma concentração de partículas 3 vezes superior ao valor limite. Nestes dias foram emitidos avisos para a população evitar atividades ao ar livre.

Fecho de ciclo de pontos de interesse

Mensagem final do jogo (PT): Muito bem! Chegamos ao fim do jogo EduCITY e a qualidade do ar. Espero que tenham gostado e aprendido mais sobre o ar que respiram. Até a próxima

Apêndice 2- Guião do Jogo “EduCITY e o ruído”

Mensagem inicial do jogo (PT): O que sabem sobre nível de ruído em Aveiro? Será uma cidade muito ruidosa? De que maneira afeta a nossa vida? Vamos descobrir?

Início de ciclo de pontos de interesse (que irão definir o percurso do jogo)

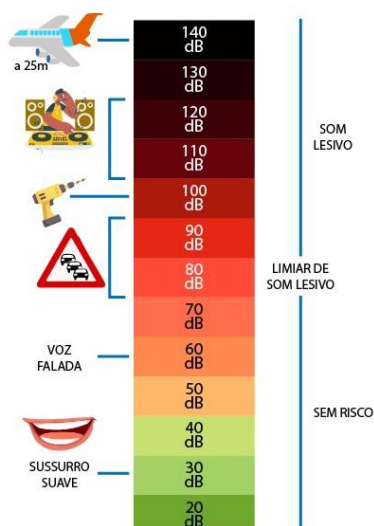
Ponto de interesse 1: Escola Secundária José Estêvão

Direções ponto de interesse: O primeiro ponto de interesse fica no exterior da Escola Secundária José Estêvão. Vamos até lá.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 1

Introdução à questão 1 (PT): Um som é uma variação da pressão da atmosfera que é detetada pelos nossos ouvidos. A pressão sonora é um indicador de ruído e o decibel (dB) é um indicador de variação da pressão atmosférica.

Recursos multimédia (PT)



Questão 1 (PT): Analisando o esquema, tentem perceber o intervalo de valores de pressão sonora a que corresponde o ruído de uma conversa. Caso tenham um sensor de ruído podem medir o ruído da vossa conversa.

Opções de resposta à questão 1 (PT):

Opção 1: 40-90 dB

Opção 2: 40-60 dB

***Opção 3: 60-70 dB**

Opção 4: 80-90 dB

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O nível de ruído de uma conversa está entre os 60 e 70 dB. Vejam a imagem abaixo para aprenderem mais sobre o ruído.

Feedback resposta errada (PT): Ups! O nível de ruído de uma conversa está entre 60 e 70 dB. Vejam a imagem abaixo para aprenderem mais sobre o ruído.

Introdução à questão 2 (PT): As ondas sonoras não são apenas caracterizadas pela intensidade da variação de pressão atmosférica. A frequência também pode alterar o ruído, tornando-o mais incomodativo. Observa atentamente o seguinte vídeo.

Recursos multimédia (PT):

Vídeo

Questão 2 (PT): Qual dos ruídos é mais incomodativo?

Opções de resposta à questão 2 (PT):

*Opção 1: O ruído com frequência mais alta

Opção 2: O ruído com intensidade mais alta

Opção 3: O ruído com frequência mais baixa

Opção 4: O ruído com intensidade mais baixa

Feedback resposta correta (PT): Boa! O som com frequência mais alta é o mais incomodativo. A frequência é o que torna diferente um som agudo de um som grave. Neste vídeo os dois sons têm a mesma intensidade. A intensidade pode ser alterada através do nível de volume do telemóvel.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! O som com frequência mais alta é o mais incomodativo. A frequência é o que torna diferente um som agudo de um som grave. Neste vídeo os dois sons têm a mesma intensidade. A intensidade pode ser alterada através do nível de volume do telemóvel.

Introdução à questão 3 (PT): Nem todos os sons são ruído. A distinção entre som e ruído nem sempre é clara e objetiva. O que é um som agradável para uma pessoa pode ser um ruído para outra.

Questão 3 (PT): Qual a diferença entre um ruído e um som? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 3 (PT):

Opção 1: Um ruído é um som estranho

Opção 2: Um ruído é um som incomodativo

Opção 3: Um ruído é um som que tem fontes humanas

***Opção 4: Um ruído é um som indesejado**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O ruído é um som indesejado, que pode ser incomodativo ou irritante para quem o ouve. Um som pode ser estranho ou dissonante e não ser incomodativo e a fonte não importa para classificar como ruído.

Feedback resposta errada (PT): Oh! O ruído é um som indesejado, que pode ser incomodativo ou irritante para quem o ouve. Um som pode ser estranho ou dissonante e não ser incomodativo e a fonte não importa para classificar como ruído.

Introdução à questão 4 (PT): No nosso dia-a-dia somos expostos a situações ruidosas e por vezes não nos apercebemos disso.

Questão 4 (PT): Qual das seguintes situações pode ser considerada ruidosa?

Opções de resposta à questão 4 (PT):

Opção 1: Concerto de Rock

Opção 2: Cantina de uma escola

Opção 3: Crianças a brincar no recreio

***Opção 4: Todas as anteriores**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Um concerto de rock, devido à intensidade elevada do som que produz é considerado ruído. Uma cantina ou o recreio são também locais onde existe exposição a sons indesejados e por isso são locais ruidosos

Feedback resposta errada (PT): Oh! Um concerto de rock, devido à intensidade elevada do som que produz é considerado ruído. Uma cantina ou o recreio são também locais onde existe exposição a sons indesejados e por isso são locais ruidosos.

Introdução à questão 5 (PT): Nas cidades existem várias fontes de ruído e várias estratégias têm vindo a ser adotadas para a redução do seu impacto.

Questão 5 (PT): Que estratégia foi adotada para reduzir o ruído nesta rua?

Opções de resposta à questão 5 (PT):

Opção 1: Não circulam transportes públicos

***Opção 2: A velocidade máxima de circulação foi reduzida.**

Opção 3: Construção de barreiras sonoras

Opção 4: Todas as anteriores

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Limitar a velocidade de circulação dos veículos tem-se provado eficaz na redução do nível de ruído. As barreiras sonoras são o que, por vezes, se vê nas laterais da autoestrada. Aproveita e vê como está o nível de ruído neste local.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Limitar a velocidade de circulação dos veículos tem-se provado eficaz na redução do nível de ruído. As barreiras sonoras são o que, por vezes, se vê nas laterais da autoestrada. Aproveita e vê como está o nível de ruído neste local.

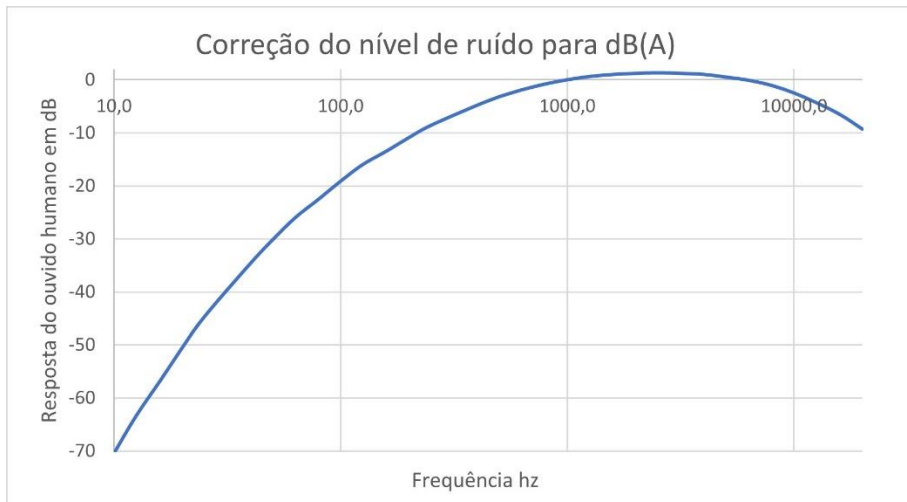
Ponto de interesse 2 (PT): Museu de Aveiro/Princesa Santa Joana.

Direções para encontrar o ponto de interesse 2 (PT): Virados para a escola, sigam pela esquerda até ao museu de Santa Joana. Cuidado ao atravessar a rua!

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 2

Introdução à questão 6 (PT): Como já vimos, o ruído é medido em dB, mas o sensor EduCITY apresenta os valores em dB(A). Isto significa que o sensor faz a correção dos dB de acordo com a resposta típica do ouvido humano a cada frequência. O gráfico abaixo ilustra essa correção. Por exemplo a um som de 250 Hz são subtraídos 9 dB para obter o valor em dB(A).

Recursos multimédia (PT)



Questão 6 (PT): Analisando o gráfico, um ruído com uma frequência de 100 Hz tem uma percepção no ouvido humano de:

Opções de resposta à questão 6 (PT):

Opção 1: +1 dB

Opção 2: -5 dB

***Opção 3: -20 dB**

Opção 4: -11 dB

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A diferença entre o valor real da pressão sonora e o percebido pelo ouvido humano, para uma frequência de 100 Hz, é de -20 dB. O sensor de ruído SOM faz esta correção automaticamente.

Feedback resposta errada (PT): Ups! A diferença entre o valor real da pressão sonora e o percebido pelo ouvido humano, para uma frequência de 100 Hz, é de -20 dB. O sensor de ruído SOM faz esta correção automaticamente.

Introdução à questão 7 (PT): A legislação portuguesa estabelece limites de exposição ao ruído diferentes durante o dia, o entardecer e a noite.

Questão 7 (PT): Por que razão durante o entardecer e a noite os limites de ruído permitidos são mais baixos?

Opções de resposta à questão 7 (PT):

Opção 1: De dia há tantas atividades ruidosas que nem nos apercebemos do ruído

Opção 2: À noite, o ruído assusta mais

***Opção 3: À noite, a maioria das pessoas dorme e precisa de um ambiente calmo**

Opção 4: À noite, os estudantes fazem muitas festas

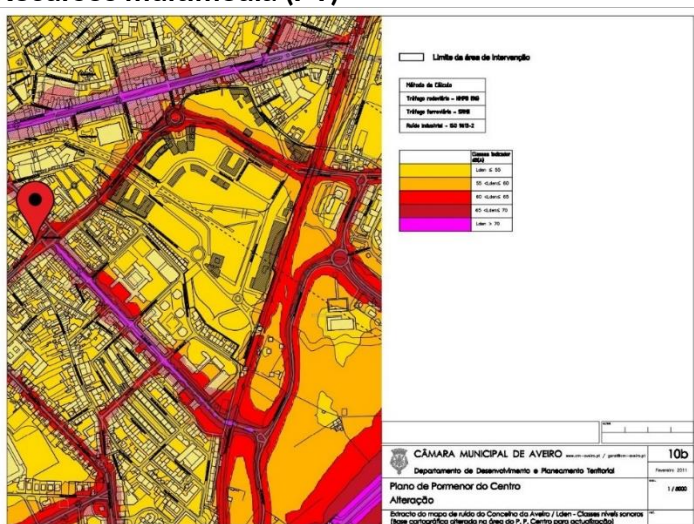
Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Durante a noite é necessário um ambiente silencioso para descansar, daí que os níveis aconselhados de ruído durante a noite sejam mais baixos do que durante o dia. Seria possível descansar com o nível de ruído desta rua?

Feedback resposta errada (PT): Oh! Durante a noite é necessário um ambiente silencioso para descansar, daí que os níveis aconselhados de ruído durante a noite

sejam mais baixos do que durante o dia. Seria possível descansar com o nível de ruído desta rua?

Introdução à questão 8 (PT): A monitorização do ruído ambiente é efetuada através da representação gráfica dos níveis sonoros num mapa. Estes mostram, através de um código de cores, os locais onde há mais e menos ruído. A partir desta informação conseguimos perceber quais são as principais fontes e quem são as pessoas afetadas por elas.

Recursos multimédia (PT)



Questão 8 (PT): Através do mapa, identifica qual poderá ser a principal fonte de ruído nas cidades.

Opções de resposta à questão 8 (PT):

Opção 1: Bares e discotecas

Opção 2: Comércio e atividades económicas

***Opção 3: Tráfego rodoviário**

Opção 4: Atividades industriais

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído nas cidades. Para além disso, é o principal responsável pela poluição atmosférica. Aproveita e usa o sensor para medir o ruído provocado pelo tráfego rodoviário neste local.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! O tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído nas cidades. Para além disso é o principal responsável pela poluição atmosférica. Aproveita e usa o sensor de ruído para medir o ruído provocado pelo tráfego rodoviário neste local.

Introdução à questão 9 (PT): O museu de Aveiro / Santa Joana foi onde viveu a Princesa Santa Joana desde 1472 até à sua morte, em 1490. Procurem mais informação no exterior do museu.

Recursos multimédia (PT)



Questão 9 (PT): A que ordem religiosa se juntou a Princesa Santa Joana?

Opções de resposta à questão 9 (PT):

Opção 1: Ordem do Antigo Convento de Jesus

Opção 2: Carmelitas Descalças

Opção 3: Ordem Vicentina

***Opção 4: Ordem Dominicana feminina**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A Princesa Santa Joana pertencia à Ordem Dominicana feminina. O Convento de Jesus era o nome do antigo convento onde as Dominicanas habitavam. A ordem Vicentina e as Carmelitas Descalças são ordens religiosas das quais a Princesa Santa Joana nunca fez parte.

Feedback resposta errada (PT): Ups! A Princesa Santa Joana pertencia à Ordem Dominicana feminina. O Convento de Jesus era o nome do antigo convento onde as Dominicanas habitavam. A ordem Vicentina e as Carmelitas Descalças são ordens religiosas das quais a Princesa Santa Joana nunca fez parte.

Introdução à questão 10 (PT): Santa Joana tem uma especial importância para a cidade de Aveiro, sendo a sua padroeira.

Questão 12 (PT): Em que dia morreu a Princesa Santa Joana?

Opções de resposta à questão 10 (PT):

Opção 1: 5 de janeiro

***Opção 2: 12 de maio**

Opção 3: 24 junho

Opção 4: 12 de agosto

Feedback resposta correta 10 (PT): Muito bem! Santa Joana morreu no dia 12 de maio. Atualmente este dia é o feriado municipal da cidade de Aveiro.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! Santa Joana morreu no dia 12 de maio. Atualmente este dia é o feriado municipal da cidade de Aveiro.

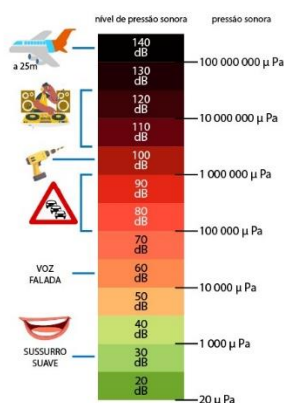
Ponto de interesse 3 (PT): Paragem de autocarro

Direções para encontrar o ponto de interesse 3 (PT): Sigam agora para a esquerda pela Avenida de Santa Joana em direção ao parque da cidade. O próximo ponto de interesse é a paragem de autocarro que se encontra do lado esquerdo da rua. Cuidado a atravessar a rua!

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 3

Introdução à questão 11 (PT): Pressão sonora é definida como uma variação rápida da pressão entre as partículas do ar e varia entre 20 e 100000000 μPa . Para simplificar, é convertida em níveis de pressão sonora (Decibel) através de uma conversão logarítmica.

Recursos multimédia (PT)



Questão 11 (PT): Uma pressão sonora de 1 000 μPa e 1 000 000 μPa corresponde a que valores em dB?

Opções de resposta à questão 11 (PT):

***Opção 1: 35 dB e 95 dB**

Opção 2: 20 dB e 100 dB

Opção 3: 50 dB e 80 dB

Opção 4: 30 dB e 90 dB

Feedback resposta correta (PT): É isso mesmo! Uma pressão sonora de 100 μPa corresponde a 35 dB e uma pressão de 1 000 000 μPa corresponde a 95 dB. Nesta escala, a diferença entre pressões sonoras é de 999 900 μPa e a diferença de nível de pressão sonora é apenas de 60 dB.

Feedback resposta errada (PT): Não era bem essa! Uma pressão sonora de 100 μPa corresponde a 35 dB e uma pressão de 1 000 000 μPa corresponde a 95 dB. Nesta escala a diferença entre pressões sonoras é de 999 900 μPa e a diferença de nível de pressão sonora é apenas de 60 dB.

Introdução à questão 12 (PT): Como vimos antes, o decibel resulta de uma operação matemática para tornar a escala de ruído linear. Este facto torna a soma de ruídos um pouco diferente da soma matemática a que estamos habituados... A tabela abaixo apresenta o ruído resultante da adição de várias fontes sonoras.

Recursos multimédia (PT)

Fontes de ruído	Ruído total	Diferença
60+60	63	+3
60+61	63,5	+2,5
60+62	64,1	+2,1
60+63	64,8	+1,8
60+64	65,5	+1,5

Questão 12 (PT): Qual é o resultado da soma seguinte: 60 dB + 67 dB?

Opções de resposta à questão 12 (PT):

Opção 1: 69,8 dB

Opção 2: 63 dB

Opção 3: 68,6 dB

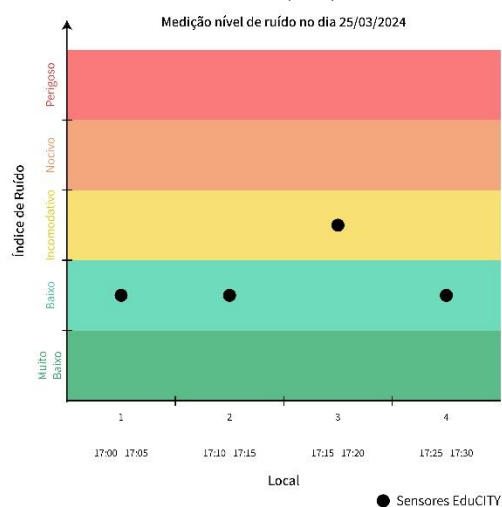
***Opção 4: 67,8 dB**

Feedback resposta correta (PT): Boa! A soma de duas fontes sonoras com uma diferença de 7 dB dá uma intensidade total de mais 0,8 dB do que a fonte sonora mais intensa. Ou seja, 60 dB +67 dB = 67,8 dB.

Feedback resposta errada (PT): Ups! A soma de duas fontes sonoras com uma diferença de 7 dB dá uma intensidade total de mais 0,8 dB do que a fonte sonora mais intensa. Ou seja, 60 dB +67 dB = 67,8 dB.

Introdução à questão 13 (PT): Numa cidade, os níveis de ruído variam muito de local para local. A figura mostra o índice de ruído medido em vários locais de Aveiro.

Recursos multimédia (PT)



Questão 13 (PT): Sabendo que os locais são Universidade de Aveiro, Parque Infante D. Pedro, Praça Marquês de Pombal e Av. Santa Joana, qual dos pontos corresponde ao local em que te encontras?

Opções de resposta à questão 13 (PT):

Opção 1: Ponto 1

Opção 2: Ponto 2

***Opção 3: Ponto 3**

Opção 4: Ponto 4

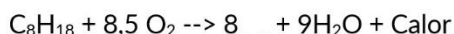
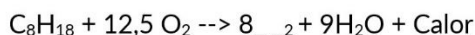
Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Como já sabem, o tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído numa cidade e, assim sendo, uma rua com grande intensidade de tráfego como aquela onde nos encontramos é mais ruidosa.

Feedback resposta errada (PT): Ups. Não era bem essa. Como já sabem, o tráfego rodoviário é a principal fonte de ruído numa cidade e, assim sendo, uma rua com grande intensidade de tráfego como aquela onde nos encontramos é mais ruidosa.

Introdução à questão 14 (PT): Esta rua onde nos encontramos tem uma grande intensidade de tráfego rodoviário. Tal como no ruído, a principal fonte de poluição atmosférica nas cidades é tráfego rodoviário.

Recursos multimédia (PT)

Reações associadas à queima do isoctado
(C_8H_{18} fórmula química simplificada gasolina).



Impurezas--> PM (partículas em suspensão)

Questão 14 (PT): Quais são os principais poluentes emitidos diretamente pelos carros?
Dica: Resolva as equações químicas para responder corretamente.

Opções de resposta à questão 14 (PT):

***Opção 1: Partículas PM, NO₂, NO, O₃, CO**

Opção 2: CH₄, NH₃, partículas PM, CO₂

Opção 3: Partículas PM, NH₄, CH₄, O₃

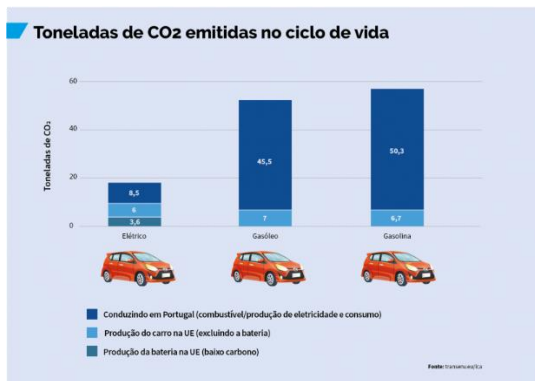
Opção 4: Partículas PM, NO, CO, CO₂

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! Os poluentes são: partículas PM, NO, CO, CO₂. Confere a solução das reações químicas na imagem.

Feedback resposta errada (PT): Oh! Os poluentes são: Partículas PM, NO, CO, CO₂. Confere a solução das reações químicas na imagem.

Introdução à questão 15 (PT): Já alguma vez te perguntaste: será que os carros elétricos são mesmo amigos do ambiente? A produção de baterias tem grandes impactos para o ambiente, mas quando comparados com carros a gasolina, os elétricos têm menos emissões ao longo do seu ciclo de vida.

Recursos multimédia (PT)



Questão 15 (PT): Quando comparado com um carro a gasolina, qual é a redução de emissões, em percentagem, de um carro elétrico?

Opções de resposta à questão 15(PT):

*Opção 1: 68%

Opção 2: 31%

Opção 3: 47%

Opção 4: 52%

Feedback resposta correta (PT): Era mesmo essa! Os carros elétricos, quando produzidos na União Europeia e abastecidos em Portugal, podem reduzir as emissões de CO2 até 68% em comparação com carros a gasolina. $((50,3 + 6,7) - (8,5 + 6 + 3,6)) / (50,3 + 6,7) = 0,68$

Feedback resposta errada (PT): Ups! Os carros elétricos, quando produzidos na União Europeia e abastecidos em Portugal, podem reduzir as emissões de CO2 até 68% em comparação com carros a gasolina. $((50,3 + 6,7) - (8,5 + 6 + 3,6)) / (50,3 + 6,7) = 0,68$

Ponto de interesse 4 (PT): Sede da Federação Académica de Desporto Universitário

Direções para encontrar o ponto de interesse 4 (PT): Segue em frente até ao edifício-sede da Federação Academia de Desporto Universitário.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 4.

Introdução à questão 16 (PT): A exposição ao ruído pode causar perda de capacidade auditiva, assim como outros efeitos na saúde. Consultem a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 16 (PT): Quais são os principais efeitos do ruído na saúde? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 16 (PT):

*Opção 1: Desenvolvimento de Diabetes

*Opção 2: Perturbação do sono

*Opção 3: Aumento do risco de acidentes

*Opção 4: Aumento os níveis de stress

Feedback resposta correta (PT): Boa! O ruído pode perturbar o sono e aumentar os níveis de stress, o que leva a consequências no metabolismo, como o desenvolvimento

de diabetes e o aumento do risco de acidentes. Por isso é importante protegemo-nos dele no nosso dia-a-dia, seja no local de trabalho ou nos nossos momentos de lazer.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Escapou alguma! O ruído pode perturbar o sono e aumentar os níveis de stress, o que leva a consequências no metabolismo, como o desenvolvimento de diabetes e o aumento do risco de acidentes. Por isso é importante protegemo-nos dele no nosso dia-a-dia, seja no local de trabalho ou nos nossos momentos de lazer.

Introdução à questão 17(PT): Como vimos anteriormente, o índice de ruído dá informação importante para sabermos quando nos devemos proteger do ruído.

Recursos multimédia (PT)

Índice/ cor	dB(A)	Efeitos para a saúde
Repousante	0-30	Sem efeitos na saúde
Baixo	30-65	Pode perturbar o sono.
Incomodativo	65-80	Exposição diária (24H) leva a problemas cardiovascular e stress.
Fatigante	80-100	Exposição prolongada (8H) pode levar a perda auditiva permanente, problemas cardiovascular, stress e incomodo.
Nocivo	100-120	Exposição de curta duração (15 min) pode levar a perda auditiva permanente.
Perigoso	+120	Perda auditiva permanente.

Questão 17(PT): Que fatores fazem com que um ruído provoque perda auditiva? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 17 (PT):

***Opção 1: Tempo de exposição**

Opção 2: Se o som é incomodativo ou não

Opção 3: Se o som é baixo e repetitivo

***Opção 4: Intensidade do ruído**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! A poluição sonora pode provocar perda auditiva, dependendo da sua intensidade e da duração da exposição. Um som pode provocar perda auditiva independentemente de ser incomodativo ou repetitivo.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Escapou alguma... A poluição sonora pode provocar perda auditiva, dependendo da sua intensidade e da duração da exposição. Um som pode provocar perda auditiva independentemente de ser incomodativo ou repetitivo.

Introdução à questão 18 (PT): Um exemplo de consequência do ruído é o seu efeito no sistema endócrino, um conjunto de glândulas que produzem hormonas reguladoras do organismo. Consulta a RA para mais informação.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 18 (PT): Qual é a reação do sistema endócrino à exposição prolongada ao ruído?

Opções de resposta à questão 18 (PT):

Opção 1: Aumenta os níveis de serotonina no cérebro

Opção 2: Diminui os níveis de adrenalina

***Opção 3: Aumenta os níveis de cortisol, a hormona do stress**

Opção 4: Diminui a produção de melatonina, afetando o ciclo do sono

Feedback resposta correta (PT): Boa! Quando o organismo está exposto a ruído de forma prolongada, o sistema endócrino produz hormonas como o cortisol e adrenalina, hormonas que provocam stress. Apesar do ruído afetar o sono, este não influencia os níveis de melatonina. Os níveis de serotonina, a hormona reguladora do humor, diminuem em situações de stress.

Feedback resposta errada (PT): Oh não! Quando o organismo está exposto a ruído de forma prolongada, o sistema endócrino produz hormonas como o cortisol e adrenalina, hormonas que provocam stress. Apesar do ruído afetar o sono, este não influencia os níveis de melatonina. Os níveis de serotonina, a hormona reguladora do humor, diminuem em situações de stress.

Introdução à questão 19 (PT): A legislação obriga à vigilância do ruído nos locais de trabalho e à avaliação periódica da capacidade auditiva dos trabalhadores.

Questão 19 (PT): Porque é importante avaliar a exposição dos trabalhadores ao ruído? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 19(PT):

Opção 1: Para pedir baixas médicas

Opção 2: Porque algumas máquinas emitem sons

***Opção 3: Porque muitos locais de trabalho são ruidosos**

***Opção 4: Porque passamos 1/3 do tempo nos locais de trabalho**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! O ruído no local de trabalho é muito relevante porque as pessoas passam grande parte dos seus dias expostas a este ambiente que, muitas vezes, é muito ruidoso. A exposição, sendo prolongada e permanente, aumenta os impactos do ruído.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Falhou alguma... O ruído no local de trabalho é muito relevante porque as pessoas passam grande parte dos seus dias expostas a este ambiente que, muitas vezes, é muito ruidoso. A exposição, sendo prolongada e permanente, aumenta os impactos do ruído.

Ponto de interesse 5 (PT): Parque da Cidade - Coreto do Parque Infante D. Pedro

Direções para encontrar o ponto de interesse 5 (PT): Continua em frente. Atravessa a estrada na passadeira e segue até junto do coreto.

Subciclo de questões associadas ao ponto de interesse 5

Introdução à questão 20 (PT): Para nos protegermos é essencial estar atentos ao nível de ruído do ambiente que nos rodeia. No caso de este estar em valores superiores ao aconselhado, existem certas medidas que podemos tomar para diminuir o risco.

Questão 20 (PT): Como é que posso medir o ruído do nosso dia-a-dia, de modo fácil e acessível? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 20 (PT):

Opção 1: Através de um sonómetro

***Opção 2: Através dos nossos ouvidos**

***Opção 3: Através do microfone do telemóvel**

Opção 4: Através das vibrações

Feedback resposta correta (PT): Certo! O microfone do telemóvel pode ser um sensor de ruído. Existem várias aplicações gratuitas para isso. Um sonómetro é um equipamento de medição de ruído, mas tem um preço elevado. Os nossos ouvidos são também um bom indicador, sendo que nos devemos proteger de ruídos incomodativos.

Feedback resposta errada (PT): Ohh! O microfone do telemóvel pode ser um sensor de ruído. Existem várias aplicações gratuitas para isso. Um sonómetro é um equipamento de medição de ruído, mas tem um preço elevado. Os nossos ouvidos são também um bom indicador, sendo que nos devemos proteger de ruídos incomodativos.

Introdução à questão 21 (PT): Para evitar os efeitos do ruído na nossa saúde é importante adotar comportamentos que previnam a exposição ao mesmo.

Questão 21 (PT): Quais são as medidas mais adequadas para nos protegermos do ruído? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 21 (PT):

***Opção 1: Evitar locais ruidosos**

***Opção 2: Utilizar protetores auriculares**

Opção 3: Fazer um processo de habituação ao ruído

Opção 4: Falar mais alto

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! No caso de terem de estar em ambientes ruidosos devem usar protetores auriculares de forma a limitar o impacto do ruído. Devem ainda evitar lugares ruidosos. Nunca nos habituamos totalmente ao ruído e falar mais alto só vai agravar o problema.

Feedback resposta errada (PT): Ups! No caso de terem de estar em ambientes ruidosos devem usar protetores auriculares de forma a limitar o impacto do ruído. Devem ainda evitar lugares ruidosos. Nunca nos habituamos totalmente ao ruído e falar mais alto só vai agravar o problema.

Introdução à questão 20 (PT): Os espaços verdes são essenciais fornecendo uma multiplicidade de serviços ambientais. Os serviços dos ecossistemas são fatores que a natureza fornece que são essenciais para a vida e contribuem para o nosso bem-estar. Por exemplo, a madeira, alimentos, água ou algo menos visível como é a polinização.

Recursos multimédia (PT)

RA

Questão 22 (PT): Que serviços ambientais fornece uma zona verde urbana? Seleccionem as opções corretas.

Opções de resposta à questão 20 (PT):

***Opção 1: Redução da temperatura ambiente**

Opção 2: Aumento das poeiras no ar

***Opção 3: Servem de barreira ao ruído**

***Opção 4: “Filtração do ar” reduzindo a poluição atmosférica**

Feedback resposta correta (PT): Muito bem! As zonas verdes urbanas servem de barreira ao ruído, contribuem para a melhoria da qualidade do ar e podem reduzir a temperatura ambiente até 3°C. No botão sensores verifica como está a nível de ruído em comparação com os outros pontos.

Feedback resposta errada (PT): Ups! Falhou alguma coisa... As zonas verdes urbanas servem de barreira ao ruído, contribuem para a melhoria da qualidade do ar e podem reduzir a temperatura ambiente até 3°C. No botão sensores verifica como está a nível de ruído em comparação com os outros pontos.

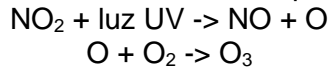
Fecho de ciclo de pontos de interesse

Mensagem final do jogo (PT): Muito bem! Chegámos ao fim do jogo EduCITY e o ruído. Espero que tenham gostado e aprendido mais sobre o ambiente sonoro que nos rodeia. Até a próxima!

Apêndice 3- Conteúdos em Realidade Aumentada jogo “EduCITY e a qualidade do ar” ponto de interesse 1.

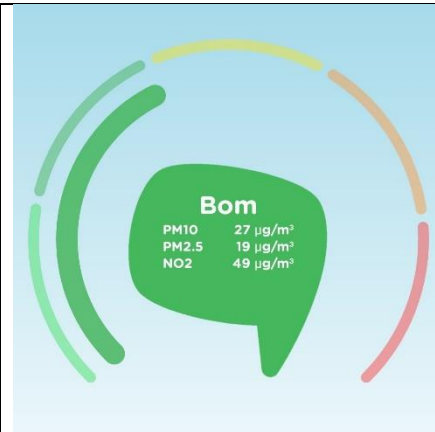
<p>Botão nº1: Consequências da poluição atmosférica (PT)</p>													
<p>Descrição: Um estudo de José Brito (2022) estima que em Portugal morrem prematuramente cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica.</p>	<p>Consequências poluição atmosférica</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Consequência</th> <th>Porcentagem</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais</td> <td>37%</td> </tr> <tr> <td>Infeções respiratórias agudas</td> <td>23%</td> </tr> <tr> <td>Doença pulmonar obstrutiva crónica</td> <td>18%</td> </tr> <tr> <td>Outros</td> <td>11%</td> </tr> <tr> <td>Cancro no sistema respiratório</td> <td>11%</td> </tr> </tbody> </table>	Consequência	Porcentagem	Doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais	37%	Infeções respiratórias agudas	23%	Doença pulmonar obstrutiva crónica	18%	Outros	11%	Cancro no sistema respiratório	11%
Consequência	Porcentagem												
Doenças cardíacas e acidentes vasculares cerebrais	37%												
Infeções respiratórias agudas	23%												
Doença pulmonar obstrutiva crónica	18%												
Outros	11%												
Cancro no sistema respiratório	11%												
<p>Botão nº2: Dióxido de nitrogénio NO₂</p>													
<p>Descrição: O dióxido de azoto NO₂ é um gás com um odor característico, muito corrosivo e oxidante. O NO₂ causa efeitos negativos vários que podem ir desde a irritação dos olhos e garganta, a diminuição da capacidade respiratória, dores no peito, e danos no sistema nervoso central.</p>	<p>Dióxido de Azoto NO₂</p>												
<p>Botão nº3: Ozono O₃</p>													
<p>Descrição: O ozono O₃ é um gás oxidante que causa irritação nos olhos, nariz, e garganta, dificuldade respiratória e dores de cabeça e peito.</p>	<p>Ozono O₃</p>												
<p>Descrição: O ozono estratosférico (50 km altitude) não é considerado um poluente. Este forma a camada de ozono que filtra a radiação Ultra Violeta (UV) sendo essencial para a vida na terra.</p>													

Descrição: Mas quando se forma à superfície da Terra através de reações químicas é considerado um poluente.



Botão nº4: App QualAr

Descrição: A app QUALAR permite consultar a previsão e o estado da qualidade do ar. Também é possível consultar conselhos para a proteção da saúde. A app permite ainda consultar informação meteorológica e emite alertas no caso de uma qualidade do ar fraca ou má.



Botão nº5: Índice qualidade do ar

Descrição: O índice QUALAR permite facilmente compreender o estado da qualidade do ar e suas consequências para a nossa saúde. Também dá informação sobre como adequar comportamentos para proteção da saúde.



Descrição: Muito bom: Nenhum conselho. Bom: Nenhum conselho.

Classificação	PM10
Muito Bom	0-20
Bom	21-35
Médio	36-50
Fraco	51-100
Mau	101-1200

Nota: Os intervalos das classes são expressos em µg/m³

Fonte: <https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices>

<p>Descrição: Qualidade do ar média: Grupos de risco devem evitar atividades ao ar livre.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificação</th> <th>PM10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muito Bom</td> <td>0-20</td> </tr> <tr> <td>Bom</td> <td>21-35</td> </tr> <tr> <td>Médio</td> <td>36-50</td> </tr> <tr> <td>Fraco</td> <td>51-100</td> </tr> <tr> <td>Mau</td> <td>101-1200</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: Os intervalos das classes são expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>Fonte: https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices</p>	Classificação	PM10	Muito Bom	0-20	Bom	21-35	Médio	36-50	Fraco	51-100	Mau	101-1200
Classificação	PM10												
Muito Bom	0-20												
Bom	21-35												
Médio	36-50												
Fraco	51-100												
Mau	101-1200												
<p>Descrição: Qualidade do ar fraca: Grupos de risco devem evitar atividades ao ar livre. Doentes respiratórios devem ainda seguir os tratamentos. População geral deve evitar exposição a outros fatores de risco, como fumo de tabaco.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificação</th> <th>PM10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muito Bom</td> <td>0-20</td> </tr> <tr> <td>Bom</td> <td>21-35</td> </tr> <tr> <td>Médio</td> <td>36-50</td> </tr> <tr> <td>Fraco</td> <td>51-100</td> </tr> <tr> <td>Mau</td> <td>101-1200</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: Os intervalos das classes são expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>Fonte: https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices</p>	Classificação	PM10	Muito Bom	0-20	Bom	21-35	Médio	36-50	Fraco	51-100	Mau	101-1200
Classificação	PM10												
Muito Bom	0-20												
Bom	21-35												
Médio	36-50												
Fraco	51-100												
Mau	101-1200												
<p>Descrição: Qualidade do ar má: Todos os adultos devem evitar esforços físicos ao ar livre. Grupos de risco devem permanecer em casa com janelas fechadas.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Classificação</th> <th>PM10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Muito Bom</td> <td>0-20</td> </tr> <tr> <td>Bom</td> <td>21-35</td> </tr> <tr> <td>Médio</td> <td>36-50</td> </tr> <tr> <td>Fraco</td> <td>51-100</td> </tr> <tr> <td>Mau</td> <td>101-1200</td> </tr> </tbody> </table> <p>Nota: Os intervalos das classes são expressos em $\mu\text{g}/\text{m}^3$</p> <p>Fonte: https://qualar.apambiente.pt/node/metodo-calculo-indices</p>	Classificação	PM10	Muito Bom	0-20	Bom	21-35	Médio	36-50	Fraco	51-100	Mau	101-1200
Classificação	PM10												
Muito Bom	0-20												
Bom	21-35												
Médio	36-50												
Fraco	51-100												
Mau	101-1200												

Botão nº6: Referências Bibliográficas

Descrição:

<https://www.publico.pt/2022/09/18/azul/noticia/ha-5000-mortes-ano-portugal-relacionadas-poluicao-atmosferica-2020891> <https://www.apambiente.pt/index.php/ar-e-ruido/oxidos-de-azoto-nox>
<https://www.apambiente.pt/index.php/ar-e-ruido/ozono-o3>
<https://qualar.apambiente.pt/https://por1bom-ar.apambient>

Apêndice 4- Conteúdos em Realidade Aumentada jogo “EduCITY e a qualidade do ar” ponto de interesse 2

Botão nº1: Consequências da poluição atmosférica

Descrição: Estima-se que a poluição do ar tenha causado 4,2 milhões de mortes prematuras em todo o mundo em 2019. Estas mortes estão associadas a várias doenças.



Descrição: Estas doenças vão desde asma e doenças cardiovasculares até a doenças menos evidentes. Por exemplo, estima-se que 1 em cada 7 casos de diabetes se deve a má qualidade do ar e há evidências da ligação entre poluição atmosférica e demência



Botão nº2: Boas práticas

Descrição: De forma a evitar a exposição a poluição atmosférica devem consultar o estado da qualidade do ar, devem optar por passear em espaços verdes, que são geralmente menos poluídos, e evitar abrir janelas de forma a preservar a qualidade do ar interior.

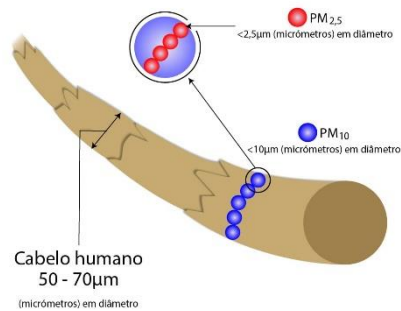


Descrição: De forma a diminuir a poluição atmosférica, deve-se optar por meios de mobilidade suave, como bicicleta e evitar usar a lareira que é uma fonte importante de poluição.

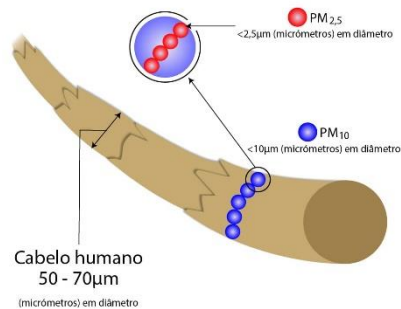


Botão nº3: PM

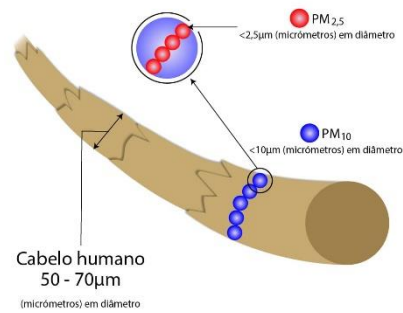
Descrição: As partículas em suspensão (PM) são substâncias que podem ter origens antropogénicas, como os transportes, ou naturais, como as erupções vulcânicas ou incêndios.



Descrição: A exposição a este poluente aumenta o risco de doenças respiratórias e cardiovasculares, assim como de cancro de pulmão.



Descrição: As partículas podem dividir-se em PM₁₀ (diâmetro inferior a 10µm) e em PM_{2,5} (diâmetro inferior a 2.5 µm). As PM_{2,5} conseguem penetrar no sistema respiratório até ao nível alveolar, podendo passar para a corrente sanguínea.



Botão nº4: Referências Bibliográficas

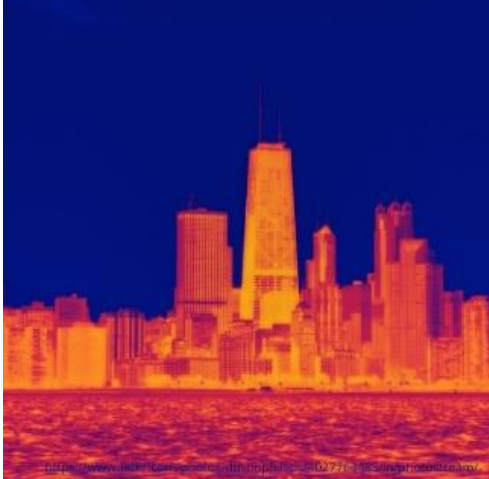
Descrição: <https://saudeesustentabilidade.org.br/noticias/1-em-cada-7-casos-de-diabetes-e-provocado-pela-poluicao-do-ar/><https://por1bom-ar.apambiente.pt/https://www.apambiente.pt/ar-e-ruído/particulas-em-suspensao-pm>


Apêndice 5- Conteúdos em Realidade Aumentada dos jogos “EduCITY e a qualidade do ar” e “EduCITY e o ruído” ponto de interesse 5

Botão nº1: Efeito ilha de calor

Descrição: Os materiais das cidades acumulam mais calor do que os espaços verdes e os edifícios impedem a circulação do ar, aumentando a temperatura e causando o efeito da “ilha de calor”.



<p>Descrição: As zonas verdes a promovem a evapo-transpiração, fenómeno que liberta energia das superfícies e diminui a temperatura. A temperatura nos parques urbanos pode chegar a ser 3°C inferiores ao resto da cidade. Superfícies de água também promovem a evaporação, diminuindo a temperatura.</p>	
--	--

<p>Botão nº2: Infiltração de água</p> <p>Descrição: Os parques urbanos fornecem zonas de infiltração e acumulação (lagos) de água, enquanto a vegetação permite a remoção de água do solo. através da transpiração</p>	
--	---

<p>Botão nº3: Poluição atmosférica</p> <p>Descrição: As partículas em suspensão (PM) são substâncias que podem ter origens antropogénicas, como os transportes, ou naturais, como as erupções vulcânicas ou incêndios.</p>	
--	--

<p>Botão nº4: Ruído</p> <p>Descrição: A vegetação serve como amortecedor as ondas sonoras, podendo diminuir significativamente o ruído gerado nas cidades.</p>	
--	--

<p>Botão nº5: Referências Bibliográficas</p> <p>Descrição: https://scholar.archive.org/work/gglstatiknfq7hhdbtyik5mqsy/access/wayback/https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/pfigshare-u-files/27559784/Freitas_Silva_Dias_2005.pdf https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/area.12543 https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.14, https://scholar.archive.org/work/gglstatiknfq7hhdbtyik5mqsy/access/wayback/https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/pfigshare-u-files/27559784/Freitas_Silva_Dias_2005.pdf https://rgs-ibg.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/area.12543 https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.14</p>	
---	--

ry.wiley.com/doi/full/10.1002/fee.14: Pombo, L., Marques, M. & Afonso, L. (2016, dezembro). EduPARK: um projeto em Mobile Learning de aprendizagem interdisciplinar em Ciências. Poster apresentado no Teaching Day - A tecnologia ao serviço da aprendizagem: oportunidades e constrangimentos, Aveiro.

Apêndice 6- Conteúdos em Realidade Aumentada do jogo “EduCITY e o ruído” ponto de interesse 4

<p>Botão nº1: Impactos do Ruído</p> <p>Descrição: Estima-se que 20% da população da união europeia vive exposta a níveis de ruído prejudiciais para a saúde e que em contexto urbano 80 milhões de pessoas estejam expostas a ruído. Estima-se que em Portugal 477 mil pessoas estejam expostas a ruído durante a noite.</p>	<p>Número de pessoas expostas a $L_{den} > 55\text{dB}$ e a $L_{night} > 50\text{dB}$ (em milhões)</p> <p>The chart displays the number of people exposed to noise levels $L_{den} > 55\text{dB}$ and $L_{night} > 50\text{dB}$ in millions. It is divided into two main categories: 'Dentro de áreas urbanas' (Within urban areas) and 'Fora de áreas urbanas' (Outside urban areas). Each category is further divided into noise sources: 'Tráfego Rodoviário' (Road traffic), 'Tráfego Ferroviário' (Railway traffic), 'Tráfego aéreo' (Air traffic), and 'Indústria' (Industry). For each source, there are two bars: one for 'Reportado' (Reported) and one for 'Estimado' (Estimated). The y-axis ranges from 0 to 90 million. The highest exposure is reported for Road traffic in urban areas, with approximately 80 million people exposed.</p>
<p>Botão nº2: Incómodo</p> <p>Descrição: Um dos efeitos negativos causados pelo ruído é incómodo caracterizado por sentimentos negativos como insatisfação e angústia que são precursores de stress. Isto pode ter consequências imprevisíveis como o aumento de risco de acidentes.</p>	
<p>Botão nº3: Sistema Endócrino</p> <p>Descrição: O sistema endócrino é o conjunto de glândulas e tecidos que produzem hormonas. Este produz hormonas precursoras de stress quando o organismo está exposto a ruído.</p>	
<p>Botão nº4: Doenças Cardiovasculares</p> <p>Descrição: A longo termo o stress provocado pelo ruído pode levar a doenças cardiovasculares como pressão arterial alta, AVC insuficiência cardíaca e doença cardíaca isquémica</p>	
<p>Botão nº5: Sono</p>	

<p>Descrição: O ruído leva a perturbações do sono aumentando a pressão arterial, o ritmo cardíaco e os movimentos do corpo durante o sono. Isto leva a uma diminuição da qualidade do sono. Eventos sonoros muito altos podem mesmo levar à interrupção do sono</p>	
<p>Descrição: A privação do sono ou o aumento dos níveis de stress pode levar a consequências como o aumento do risco de acidentes ou diminuição da capacidade de concentração</p>	

<p>Botão nº6: Doenças Metabólicas</p>	
<p>Descrição: O ruído pode ter efeitos no metabolismo da glicose e na regulação do apetite podendo levar a doenças como diabetes.</p>	

<p>Botão nº7: Referências Bibliográficas</p>	
<p>Descrição: Peris, E., Blanes, N., Fons, J., Sainz de la Maz, M., Ramos, M., Domingues, F., Biala, K., Ganzleben, C., & Adams, M. (2020). Environmental noise in Europe - 2020. https://doi.org/10.2800/686249 , Stansfeld, S. A., & Matheson, M. P. (2003). Noise pollution: non-auditory effects on health. <i>British Medical Bulletin</i>, 68(1), 243–257. https://doi.org/10.1093/bmb/ldg033</p>	

Apêndice 7 – Adaptação dos Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre sustentabilidade do GreenComp à temática da qualidade do ar

Competência	Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre qualidade do ar
Valorizar a sustentabilidade	Reflete sobre o seu conhecimento à cerca da qualidade do ar. Capacidade de reconhecer diferentes atitudes perante o tema. Propensão a agir tendo em vista a diminuição da poluição atmosférica e a proteção da saúde.
Apoiar a equidade	Reconhecer o direito de todos a um ar limpo tanto na geração presente como nas futuras gerações e a necessidade de agir nesse sentido. Está consciente da importância proteção da natureza e da importância da mesma para uma boa qualidade do ar.
Promover a natureza	Reconhecer o impacto que a poluição atmosférica pode ter na natureza e reconhecer os impactos positivos que a natureza pode ter na qualidade do ar. Capaz de avaliar o próprio impacto.
Pensamento sistémico	Perceber a poluição atmosférica de forma holística que englobando questões sociais, económica e culturais e a forma como estes fatores influenciam as nossas ações do dia a dia o que por sua vez têm consequências para a qualidade do ar. Reconhecer a variabilidade da poluição atmosférica no tempo e no espaço. Perceber como estes elementos todos interagem. Mostrar preocupação com os impactos de curto e longo prazo da poluição
Pensamento crítico	Confiar em factos científicos como o índice de qualidade do ar mesmo sem perceber tudo o que está por de trás disso. Questionar a validade de alegações. Refletir sobre como as diferenças sociais, económicas e pode levar a valores diferentes.
Enquadramento de problemas	Perceber os desafios da poluição atmosférica: fontes difusas, grande número e pessoas afetadas, dinâmicas espaço-temporais do problema e implicações socioeconómicas a fim de identificar soluções. Reconhecer a necessidade de ouvir as partes interessadas para desenvolvimento de ações justas. É capaz de estabelecer abordagem transdisciplinar para enquadrar a poluição atmosférica.
Literacia sobre o Futuro	Reconhecer que as consequências negativas da poluição atmosférica justificam a tomada de medidas para a sua redução. É capaz de imaginar um futuro com uma melhor qualidade do ar. Saber a diferença entre o futuro com e sem ações para melhoria da qualidade do ar. E perceber como a percepção do risco influencia a preferência por cada um dos cenários

Adaptabilidade	Sabe que libertação de poluentes para a atmosfera tem consequências complexas e incertas. Tem em conta circunstâncias locais quando se trata de questões e oportunidades. Está disposto a mudar ações do seu dia a dia de forma a diminuir a emissão e a sua exposição a poluentes.
Pensamento exploratório	Pensa no problema da qualidade do ar associando as diferentes disciplinas usando a criatividade experiência com ideias e métodos inovadores. Necessidade de combinação de diferentes pontos de vista para resolução do problema. Reconhece desafios e oportunidades na redução da poluição atmosférica de diferentes ângulos.
Agência política	Reconhece a responsabilidade política por trás de poluição atmosférica. Conhece políticas que responsabilizam o poluidor. Capaz de identificar partes interessadas. Exige responsabilização de quem emite poluentes para a atmosfera.
Ação coletiva	Está disposto a envolver-se com outros para desafiar o status quo e agir em prol da mudança criando uma visão inclusiva.
Ação individual	Consegue identificar o próprio potencial para contribuir para a redução de poluição atmosférica. Sabe que medidas devem ser tomadas. É capaz de agir rapidamente mesmo face à incerteza tendo em conta o princípio da precaução. Sente confiança no impacto das duas ações.

Apêndice 8 – Resumo dos conhecimentos, aptidões e atitudes sobre sustentabilidade do GreenComp à temática da qualidade do ar

Competência	Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre qualidade do ar
Valorizar a sustentabilidade	Reflete sobre o seu conhecimento à cerca da qualidade do ar. Propensão a agir e predisposição a mudar ações do seu dia a dia tendo em vista a diminuição da poluição atmosférica e a proteção da saúde.
Promover a natureza	Reconhecer a relação entre a natureza e a qualidade do ar e a importância da sua preservação. Ser capaz de avaliar o próprio impacto.
Pensamento sistémico	Reconhecer a variabilidade da poluição atmosférica no tempo e no espaço. Mostrar preocupação com os impactos de curto e longo prazo da poluição
Pensamento crítico	Confiar em factos científicos como o índice de qualidade do ar mesmo sem perceber tudo o que está por de trás disso.
Enquadramento de problemas	Perceber os desafios da poluição atmosférica: fontes difusas, grande número e pessoas afetadas, dinâmicas espaço-temporais do problema e implicações socioeconómicas a fim de identificar soluções. É capaz de estabelecer uma abordagem transdisciplinar para pensar e enquadrar poluição atmosférica
Literacia sobre o Futuro	Reconhecer as consequências negativas da poluição. Saber a diferença entre o futuro com e sem ações para melhoria da qualidade do ar atmosférica justificam a tomada de medidas para a sua redução.
Agência política	Reconhece a responsabilidade política por trás de poluição atmosférica.
Ação individual	Consegue identificar o próprio potencial e sabe como contribuir para a redução de poluição atmosférica.

Anexo 9 – Adaptação dos Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre sustentabilidade do GreenComp à temática do ruído

Competência	Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre ruído
Valorizar a sustentabilidade	Reflete sobre o seu conhecimento à cerca do ruído. Capacidade de reconhecer diferentes atitudes perante o tema. Propensão a agir tendo em vista a diminuição do ruído e a proteção da saúde.
Apoiar a equidade	Reconhecer o direito de todos a um ambiente pouco ruidoso tanto na geração presente como nas futuras gerações e a necessidade de agir nesse sentido. Está consciente da importância proteção da natureza e da importância da mesma para um bom ambiente sonoro.
Promover a natureza	Reconhecer o impacto que o ruído pode ter na natureza e reconhecer os impactos positivos que a natureza pode ter na diminuição do ruído. Capaz de avaliar o próprio impacto.
Pensamento sistémico	Perceber a ruído de forma holística englobando questões sociais, económica e culturais e a forma como estes fatores influenciam as nossas ações do dia a dia o que por sua vez têm consequências no ruído ambiente. Reconhecer a variabilidade do ruído no tempo e no espaço. Perceber como estes elementos todos interagem. Mostrar preocupação com os impactos de curto e longo prazo do ruído.
Pensamento crítico	Confiar em factos científicos mesmo sem perceber tudo o que está por de trás disso. Questionar a validade de alegações. Refletir sobre como as diferenças sociais, económicas e pode levar a valores diferentes.
Enquadramento de problemas	Perceber os desafios da poluição sonora: fontes difusas, grande número e pessoas afetadas, dinâmicas espaço-temporais do problema e implicações socioeconómicas a fim de identificar soluções. Reconhecer a necessidade de ouvir as partes interessadas para desenvolvimento de ações justas. É capaz de estabelecer abordagem transdisciplinar para enquadrar o ruído
Literacia sobre o Futuro	Reconhecer que as consequências negativas do ruído justificam a tomada de medidas para a sua redução. É capaz de imaginar um futuro com menor poluição sonora. Saber a diferença entre o futuro com e sem ações para a diminuição do ruído. E perceber como a perceção do risco influencia a preferência por cada um dos cenários
Adaptabilidade	Sabe que atividades ruidosas têm consequências complexas e incertas. Tem em conta circunstâncias locais quando se trata de questões e oportunidades. Está disposto a mudar ações do seu dia a dia de forma a diminuir a emissão e a sua exposição a ruído
Pensamento exploratório	Pensa no problema da poluição sonora associando as diferentes disciplinas usando a criatividade experiência com ideias e métodos inovadores. Necessidade de combinação de diferentes pontos de vista para resolução do problema. Reconhece desafios e oportunidades na redução da poluição sonora de diferentes ângulos.

Agência política	Reconhece a responsabilidade política por trás da poluição sonora. Conhece políticas que responsabilizam o poluidor (licenças de ruído). Capaz de identificar partes interessadas. Exige responsabilização de quem produz ruído.
Ação coletiva	Está disposto a envolver-se com outros para desafiar o status quo e agir em prol da mudança criando uma visão inclusiva.
Ação individual	Consegue identificar o próprio potencial para contribuir para a redução e mitigação da poluição sonora. Sabe que medidas devem ser tomadas. É capaz de agir rapidamente mesmo face a incerteza tendo em conta o princípio da precaução. Sente confiança no impacto das duas ações.

Apêndice 10 – Resumo dos conhecimentos, aptidões e atitudes sobre sustentabilidade do GreenComp à temática do ruído

Competência	Conhecimentos, aptidões e atitudes sobre ruído
Valorizar a sustentabilidade	Reflete sobre o seu conhecimento à cerca do ruído. Propensão a agir e predisposição a mudar ações do seu dia a dia tendo em vista a diminuição da poluição sonora e a proteção da saúde.
Promover a natureza	Reconhecer a relação entre a natureza e o ruído e a importância da sua preservação. Ser capaz de avaliar o próprio impacto.
Pensamento sistémico	Reconhecer a variabilidade da poluição sonora no tempo e no espaço. Mostrar preocupação com os impactos de curto e longo prazo.
Pensamento crítico	Confiar em factos mesmo sem perceber tudo o que está por de trás disso.
Enquadramento de problemas	Perceber os desafios da poluição sonora: fontes difusas, grande número e pessoas afetadas, dinâmicas espaço-temporais do problema e implicações socioeconómicas a fim de identificar soluções. É capaz de estabelecer uma abordagem transdisciplinar para pensar e enquadrar poluição sonora.
Literacia sobre o Futuro	Reconhecer as consequências negativas da poluição sonora. Saber que a diferença entre o futuro com e sem ações para diminuição do ruído justifica a tomada de medidas para a sua redução.
Agência política	Reconhece a responsabilidade política por trás de poluição sonora.
Ação individual	Consegue identificar o próprio potencial e sabe como contribuir para a redução de poluição sonora.

Apêndice 11 – Pré questionário associado ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”



Pré questionário do jogo: EduCITY e a qualidade do ar



Este questionário tem como principal objetivo recolher a tua avaliação sobre o Jogo: EduCITY e a qualidade do ar.

É anónimo e os dados são recolhidos apenas para fins educacionais e científicos.

Nas questões de escolha múltipla, lê atentamente cada frase e responde de acordo com a tua opinião, utilizando a seguinte escala: 1- não corresponde de todo; 2- corresponde muito pouco; 3- corresponde um pouco; 4- corresponde moderadamente; 5- corresponde o suficiente; 6- corresponde muito; 7- corresponde exatamente.

Obrigado pela tua colaboração!

A. Perceção dos problemas ambientais

1. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua opinião. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
1.1. Considero que em Aveiro a poluição atmosférica não é um problema significativo	1	2	3	4	5	6	7
1.2. Considero que a poluição atmosférica varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade	1	2	3	4	5	6	7
1.3. Considero que devo evitar fazer atividade física ao ar livre em dias de má qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
1.4. Considero que a poluição atmosférica não afeta a saúde dos aveirenses	1	2	3	4	5	6	7
1.5. Considero que as minhas ações do dia a dia influenciam a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
1.6. Considero que o uso das lareiras tem consequências negativas para a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
1.7. Considero que os espaços verdes ajudam a melhorar a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
1.8. Considero importante o uso de meios de mobilidade suave sempre que possível (Bicicleta, andar a pé)	1	2	3	4	5	6	7
1.9. Considero que a qualidade do ar em Aveiro é muito boa	1	2	3	4	5	6	7
1.10. Acredito que em Portugal morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica como demonstra um estudo de José Brito (2022)	1	2	3	4	5	6	7
1.11. Considero que os carros elétricos têm zero emissões para a atmosfera	1	2	3	4	5	6	7
1.12. Considero que as ações individuais têm pouco impacto na qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7

1.13. Considero que a qualidade do ar varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano	1	2	3	4	5	6	7
1.14. Considero que o estudo da poluição atmosférica está relacionado com as mais diferentes áreas como a Biologia, Geografia, Físico-química, Ciências da Saúde e a Sociologia	1	2	3	4	5	6	7
1.15. Considero necessária a promoção de mobilidade suave mesmo que isso implique retirar espaço aos carros	1	2	3	4	5	6	7
1.16. Considero que o investimento em transportes públicos pode levar a diminuição da emissão de poluentes	1	2	3	4	5	6	7

B. Escolhe a opção ou opções que parecerem mais corretas:

X. A exposição a poluição atmosférica está relacionada com as seguintes consequências para a saúde:

A) Fadiga B) Doença pulmonar crónica C) Tensão alta D) Doença cardíaca

E) Diabetes F) Dificuldade de concentração G) Aumento da pressão sanguínea H)

Enfarte

I) Cancro do pulmão J) Asma K) Diminuição de apetite L) Irritabilidade

Y. Dos seguintes poluentes atmosféricos quais é que ouviste falar?

A) O₃ B) CFC C) CO D) NO₂ E) PM₁₀ F) PM_{2.5} H) COV I) CFC J) SO₂ K) N₂

Z. Completa a afirmação com as opções que parecerem mais corretas. A qualidade do ar é influenciada por:

- A) Fenómenos naturais
- B) Práticas culturais (ex. costumes e tradições)
- C) Questões sociais (ex. pobreza e desigualdades)
- D) Condições atmosféricas
- E) Atividades económicas
- F) Decisões políticas
- G) Fenómenos químicos na atmosfera
- H) Ações individuais

C.O meu perfil

Habilitações académicas: Ensino básico Ensino secundário Licenciatura

“ Mestrado

Área de qualificações (se aplicável): _____

Número do inquérito: _____

Apêndice 12 – Pós questionário associado ao jogo “EduCITY e a qualidade do ar”



Avaliação do Jogo: EduCITY e a qualidade do ar



Este questionário tem como principal objetivo recolher a tua avaliação sobre o Jogo: EduCITY e a qualidade do ar. É anónimo e os dados são recolhidos apenas para fins educacionais e científicos.

Nas questões de escolha múltipla, lê atentamente cada frase e responde de acordo com a tua opinião, utilizando a seguinte escala: 1- não corresponde de todo; 2- corresponde muito pouco; 3- corresponde um pouco; 4- corresponde moderadamente; 5- corresponde o suficiente; 6- corresponde muito; 7- corresponde exatamente.

Obrigado pela tua colaboração!

A. Avaliação do Jogo: EduCITY e a qualidade do ar

1. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua opinião. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
1.1. Com o jogo aprendi conceitos novos sobre qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
1.2. Os recursos (imagens, conteúdos em realidade aumentada “RA” e vídeos) são adequados e ajudam a responder às perguntas	1	2	3	4	5	6	7
1.3. Os recursos (imagens, conteúdos em realidade aumentada “RA” e vídeos) são demasiado simples	1	2	3	4	5	6	7
1.4. O jogo é desafiante	1	2	3	4	5	6	7
1.5. O jogo é aborrecido	1	2	3	4	5	6	7
1.6. O jogo é demasiado extenso	1	2	3	4	5	6	7
1.7. Consegui perceber facilmente todas as perguntas	1	2	3	4	5	6	7
1.8. Gostei de fazer esta atividade	1	2	3	4	5	6	7

B. Experiência de utilização dos sensores.

2. O meu grupo usou o sensor durante a atividade: Sim Não

Se respondeste **sim** por favor responde às perguntas do grupo 3 caso contrário passa para as perguntas do grupo 4.

3. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião caso tenhas utilizado o sensor PM**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
3.1. Não vi os resultados das medições do sensor durante o jogo	1	2	3	4	5	6	7
3.2. As questões incentivaram-me a usar o sensor	1	2	3	4	5	6	7
3.3. Compreendi a utilidade dos sensores	1	2	3	4	5	6	7
3.4. A visualização dos dados dos sensores é de fácil compreensão	1	2	3	4	5	6	7
3.5. Compreendi o que é um índice de qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
3.6. O índice de qualidade do ar EduCITY é fácil de entender	1	2	3	4	5	6	7
3.7. Os sensores tornam a experiência do jogo confusa	1	2	3	4	5	6	7
3.8. Os sensores tornam a experiência do jogo mais interessante	1	2	3	4	5	6	7

C. Perceção dos problemas ambientais

4. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frases	Escala de Resposta						
	Não corresponde de todo			Corresponde exatamente			
	1	2	3	4	5	6	7
4.1. Considero que em Aveiro a poluição atmosférica não é um problema significativo	1	2	3	4	5	6	7
4.2. Considero que a poluição atmosférica varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade	1	2	3	4	5	6	7
4.3. Considero que devo evitar fazer atividade física ao ar livre em dias de má qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
4.4. Considero que a poluição atmosférica não afeta a saúde dos aveirenses	1	2	3	4	5	6	7
4.5. Considero que as minhas ações do dia a dia influenciam a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
4.6. Considero que o uso das lareiras tem conseqüências negativas para a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
4.7. Considero que os espaços verdes ajudam a melhorar a qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
4.8. Considero importante o uso de meios de mobilidade suave sempre que possível (Bicicleta, andar apé)	1	2	3	4	5	6	7
4.9. Considero que a qualidade do ar em Aveiro é muito boa	1	2	3	4	5	6	7
4.10. Acredito que em Portugal morrem cerca de 5000 pessoas por ano devido à poluição atmosférica como demonstra um estudo de José Brito (2022)	1	2	3	4	5	6	7
4.11. Considero que os carros elétricos têm zero emissões para a atmosfera	1	2	3	4	5	6	7
4.12. Considero que as ações individuais têm pouco impacto na qualidade do ar	1	2	3	4	5	6	7
4.13. Considero que a qualidade do ar varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano	1	2	3	4	5	6	7
4.14. Considero que o estudo da poluição atmosférica está relacionado com as mais diferentes áreas como a Biologia, Geografia, Físico-química, Ciências da Saúde e a Sociologia	1	2	3	4	5	6	7
4.15. Considero necessária a promoção de mobilidade suave mesmo que isso implique retirar espaço aos carros	1	2	3	4	5	6	7
4.16. Considero que o investimento em transportes públicos pode levar a diminuição da emissão de poluentes	1	2	3	4	5	6	7

D. Escolhe a opção ou opções que te parecerem mais corretas:

X. A exposição a poluição atmosférica está relacionada com:

- A) Fadiga B) Doença pulmonar crónica C) Tensão alta D) Diminuição de apetite E) Diabetes F) Dificuldade de concentração G) Aumento da pressão sanguínea H) Enfarte I) Cancro do pulmão J) Asma K) Doença cardíaca L) Irritabilidade

Y. Dos seguintes poluentes atmosféricos quais é que ouviste falar?

- A) O₃ B) CFC C) CO D) NO₂ E) PM₁₀ F) PM_{2.5} H) COV I) CFC J) SO₂ K) N₂

Z. Completa a afirmação com as opções que parecerem mais corretas. A qualidade do ar é influenciada por:

- I) Fenómenos naturais

- J) Práticas culturais (ex. costumes e tradições)
- K) Questões sociais (ex. pobreza e desigualdades)
- L) Condições atmosféricas
- M) Atividades económicas
- N) Decisões políticas
- O) Fenómenos químicos na atmosfera
- P) Ações individuais

E. O meu perfil

Habilitações académicas: Ensino básico Ensino secundário Licenciatura

Mestrado

Área de qualificações (se aplicável): _____

Número do inquérito: _____

Apêndice 13 – Pré questionário associado ao jogo “EduCITY e o ruído”



Pré questionário do jogo: EduCITY e o ruído



Este questionário tem como principal objetivo recolher a tua avaliação sobre o Jogo: EduCITY e o ruído. É anónimo e os dados são recolhidos apenas para fins educacionais e científicos.

Nas questões de escolha múltipla, lê atentamente cada frase e responde de acordo com a tua opinião, utilizando a seguinte escala: 1- não corresponde de todo; 2- corresponde muito pouco; 3- corresponde um pouco; 4- corresponde moderadamente; 5- corresponde o suficiente; 6- corresponde muito; 7- corresponde exatamente.

Obrigado pela tua colaboração!

A. Perceção dos problemas ambientais

1. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
1.1. Considero que em Aveiro o ruído não é um problema significativo							
1.2. Considero que a poluição sonora varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade	1	2	3	4	5	6	7
1.3. Considero importante evitar a exposição a locais ruidosos	1	2	3	4	5	6	7
1.4. Fico preocupado(a) com a minha saúde auditiva quando a música está demasiado alta	1	2	3	4	5	6	7
1.5. Considero que a poluição sonora não afeta a saúde dos Aveirenses	1	2	3	4	5	6	7
1.6. Considero que as ações do meu dia a dia contribuem para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
1.7. Considero que eventos como as festas de S. Gonçálinho ou a Feira de março contribuem significativamente para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
1.8. Considero que os espaços verdes ajudam a diminuir o ruído nas cidades	1	2	3	4	5	6	7
1.9. Considero que o nível de ruído em Aveiro é baixo	1	2	3	4	5	6	7
1.10. Acho importante minimizar a minha exposição a ruído no meu dia-a-dia	1	2	3	4	5	6	7
1.11. Considero importante o uso de protetores auditivos em ambientes ruidosos	1	2	3	4	5	6	7
1.12. Considero que as ações individuais têm pouco impacto para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
1.13. Considero que a poluição sonora varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano	1	2	3	4	5	6	7
1.14. Considero que a poluição sonora implica as mais diferentes áreas como Biologia, Físico-química; Saúde e a Sociologia	1	2	3	4	5	6	7

1.15. Considero necessárias estratégias de redução de ruído mesmo que estas sejam inconvenientes como diminuição de velocidade de circulação ou colocação de lombas nas estradas

1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---

B. Escolhe a opção ou opções que parecerem mais corretas:

I. Um ruído é medido em:

A) dB B) Psi C) Pa D) Ru

II. Um ruído é:

A) Um som alto B) Um som incomodativo C) Um som agudo D) um som desagradável

III. O organismo quando é exposto a ruído produz hormonas relacionadas com o stress:

A) Verdadeiro B) Falso

IV. A exposição a ruído está relacionada com:

A) Perturbação do sono B) Perda auditiva C) Tensão alta D) Doença cardíaca E) Diabetes
F) Dificuldade de concentração G) Aumento da pressão sanguínea H) Enfarte J) Asma
K) Diminuição de apetite L) Irritabilidade

C. O meu perfil

Habilitações académicas: Ensino básico Ensino secundário Licenciatura

Mestrado

Área de qualificações (se aplicável): _____

Número inquérito: _____

Apêndice 14 – Pós questionário associado ao jogo “EduCITY e o ruído”



Avaliação do Jogo: EduCITY e ao ruído



Este questionário tem como principal objetivo recolher a tua avaliação sobre o Jogo: EduCITY e a qualidade do ar. É anónimo e os dados são recolhidos apenas para fins educacionais e científicos.

Nas questões de escolha múltipla, lê atentamente cada frase e responde de acordo com a tua opinião, utilizando a seguinte escala: 1- não corresponde de todo; 2- corresponde muito pouco; 3- corresponde um pouco; 4- corresponde moderadamente; 5- corresponde o suficiente; 6- corresponde muito; 7- corresponde exatamente.

Obrigado pela tua colaboração!

A. Avaliação do Jogo: EduCITY e o ruído

1. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
1.1. Com o jogo aprendi conceitos novos sobre ruído							
1.2. Os recursos (imagens, conteúdos em realidade aumentada “RA” e vídeos) são adequados e ajudam a responder às perguntas							
1.3. Os recursos (imagens, conteúdos em realidade aumentada “RA” e vídeos) são demasiado simples							
1.4. O jogo é desafiante							
1.5. O jogo é aborrecido							
1.6. O jogo é demasiado extenso							
1.7. Consegui perceber facilmente todas as perguntas							
1.8. Gostei de fazer esta atividade							

B. Experiência de utilização dos sensores.

2. O meu grupo usou o sensor durante a atividade: Sim Não

Se respondeste **sim** por favor responde às perguntas do grupo 3 caso contrário passa para as perguntas do grupo 4.

3. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião caso tenhas usado o sensor SOM**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frase	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
3.1. Não vi os resultados das medições do sensor de ruído durante o jogo							
3.2. As questões incentivaram-me a usar o sensor							
3.3. Compreendi a utilidade dos sensores							

3.4. A visualização dos dados dos sensores é de fácil compreensão	1	2	3	4	5	6	7
3.5. Compreendi o que é um índice de ruído	1	2	3	4	5	6	7
3.6. O índice de ruído EduCITY é fácil de entender	1	2	3	4	5	6	7
3.7. Os sensores tornam a experiência do jogo mais interessante	1	2	3	4	5	6	7
3.8. Os sensores tornam a experiência do jogo confusa	1	2	3	4	5	6	7

C. Percepção dos problemas ambientais

4. Faz um círculo à volta da opção que melhor descreve a tua **opinião**. Não há respostas certas ou erradas. É um questionário de opinião.

Frases	Não corresponde de todo				Corresponde exatamente		
	1	2	3	4	5	6	7
4.1. Considero que em Aveiro o ruído não é um problema significativo	1	2	3	4	5	6	7
4.2. Considero que a poluição sonora varia muito de local para local, até dentro da mesma cidade	1	2	3	4	5	6	7
4.3. Considero importante evitar a exposição a locais ruidosos	1	2	3	4	5	6	7
4.4. Fico preocupado(a) com a minha saúde auditiva quando a música está demasiado alta	1	2	3	4	5	6	7
4.5. Considero que a poluição sonora não afeta a saúde dos Aveirenses	1	2	3	4	5	6	7
4.6. Considero que as ações do meu dia a dia contribuem para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
4.7. Considero que eventos como as festas de S. Gonçalinho ou a Feira de março contribuem significativamente para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
4.8. Considero que os espaços verdes ajudam a diminuir o ruído nas cidades	1	2	3	4	5	6	7
4.9. Considero que o nível de ruído em Aveiro é baixo	1	2	3	4	5	6	7
4.10. Acho importante minimizar a minha exposição a ruído no meu dia-a-dia	1	2	3	4	5	6	7
4.11. Considero importante o uso de protetores auditivos em ambientes ruidosos	1	2	3	4	5	6	7
4.12. Considero que as ações individuais têm pouco impacto para a poluição sonora	1	2	3	4	5	6	7
4.13. Considero que a poluição sonora varia ao longo do dia de acordo com as ações do ser humano	1	2	3	4	5	6	7
4.14. Considero que a poluição sonora implica as mais diferentes áreas como Biologia, Físico-química; Saúde e a Sociologia	1	2	3	4	5	6	7
4.15. Considero necessárias estratégias de redução de ruído mesmo que estas sejam inconvenientes como diminuição de velocidade de circulação ou colocação de lombas nas estradas	1	2	3	4	5	6	7

- D. Escolha a opção ou opções que parecerem mais corretas:

- I. Um ruído é medido em:
A) dB B) Psi C) Pa D) Ru
- II. Um ruído é:

Apêndice 15 – Classificação de cada pergunta do jogo “EduCITY e a qualidade do ar” por tipologia de pergunta.

Jogo EduCITY e a qualidade do ar	
Pergunta	Tipologia
1. Tendo em conta a variação nos níveis de poluentes provocada pelo confinamento, qual é a principal fonte de poluição atmosférica nas cidades?	Interpretação de recurso educativo: imagem
2. Quais são os principais poluentes emitidos diretamente pelos carros?	Raciocínio e conhecimento de Físico-química
3. Dos seguintes compostos qual é um poluente secundário?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
4. Em Portugal quantas mortes ocorrem devido à poluição atmosférica por ano?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
5. O que é possível consultar na app QualAr?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
6. Se o índice QUALAR for mau (vermelho) significa que:	Interpretação de recurso educativo: AR Book
7. O que podemos fazer para evitar exposição à poluição atmosférica?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
8. Das seguintes opções quais são consequências da exposição à poluição atmosférica?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
9. Qual é o diâmetro das partículas PM ₁₀ e PM _{2.5} ?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
10. Por que razão as partículas de diâmetro mais pequeno são as mais nocivas para a saúde?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
11. A que ordem religiosa se juntou a Princesa Santa Joana?	Interpretação de recurso educativo: Placa informativa museu
12. Em que dia morreu a Princesa Santa Joana?	Interpretação de recurso educativo: Placa informativa museu
13. Uma via com estes dois sinais significa que:	Interpretação de recurso educativo: imagem
14. A que hora se verifica maior concentração de NO ₂ durante um dia útil?	Interpretação de recurso educativo: imagem

15.	Qual a redução de emissões comparando um carro elétrico com um carro a gasolina.	Raciocínio e conhecimento Matemático
16.	Qual a percentagem da população que está exposta a concentrações de PM2.5 acima do valor limite para a Organização Mundial de Saúde?	Interpretação de recurso educativo: imagem
17.	Considerem que respiramos cerca de 1 m ³ de ar / hora e que a concentração de PM2.5 é 20 µg/m ³ . Qual é a massa de poluentes inalada em meia hora?	Raciocínio e conhecimento Matemático
18.	Considerando que na primeira opção respiram 1,5 m ³ de ar e na segunda 2,3 m ³ .	Raciocínio e conhecimento Matemático
19.	Quais são as principais vantagens da prática desportiva?	Cultura geral
20.	Que serviços ecossistémicos são fornecidos por uma zona verde urbana como é o caso deste parque?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
21.	Que fatores naturais afetam a qualidade do ar?	Interpretação de recurso educativo: Vídeo
22.	Que fenómeno provocou o pico de poluentes em Aveiro?	Interpretação de recurso educativo: imagem

Apêndice 16 – Classificação de cada pergunta do jogo “EduCITY e o ruído” por tipologia de pergunta

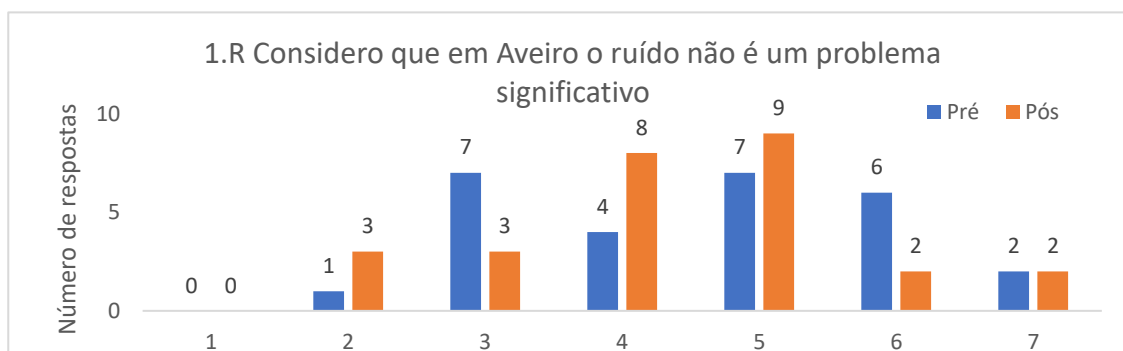
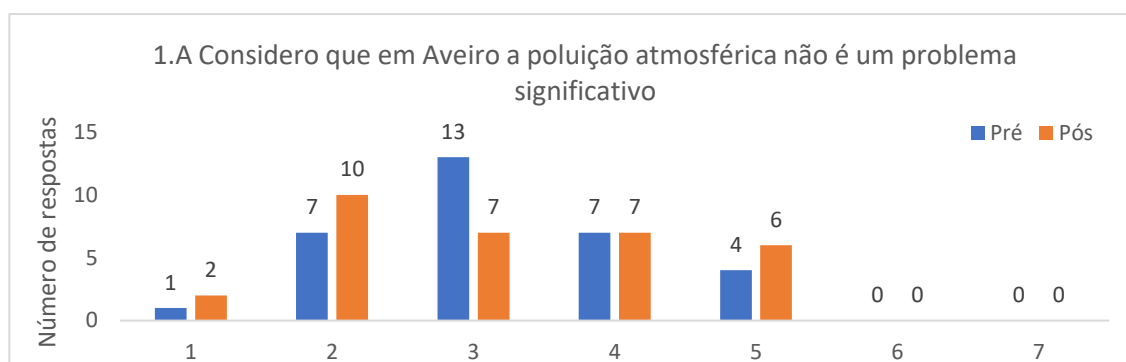
Jogo EduCITY e o ruído	
Pergunta	Tipologia
1. Analisando o esquema, tentem perceber o intervalo de valores de pressão sonora a que corresponde o ruído de uma conversa. Caso tenham um sensor de ruído podem medir o ruído da vossa conversa.	Interpretação de recurso educativo: imagem
2. Qual dos ruídos é mais incomodativo?	Interpretação de recurso educativo: vídeo
3. Qual a diferença entre um ruído e um som?	Cultura geral
4. Qual das seguintes situações pode ser considerada ruidosa?	Cultura geral
5. Que estratégia foi adotada para reduzir o ruído nesta rua?	Pergunta de observação
6. Analisando o gráfico, um ruído com uma frequência de 100 Hz tem uma perceção no ouvido humano de:	Interpretação de recurso educativo: Imagem
7. Por que razão durante o entardecer e a noite os limites de ruído permitidos são mais baixos?	Cultura geral
8. Através do mapa, identifica qual poderá ser a principal fonte de ruído nas cidades.	Interpretação de recurso educativo: Imagem
9. A que ordem religiosa se juntou a Princesa Santa Joana?	Interpretação de recurso educativo: Placa informativa museu
10. Em que dia morreu a Princesa Santa Joana?	Interpretação de recurso educativo: Placa informativa museu
11. Uma pressão sonora de 1 000 μ Pa e 1 000 000 μ Pa corresponde a que valores em dB?	Interpretação de recurso educativo: Imagem
12. Qual é o resultado da soma seguinte: 60 dB + 67 dB?	Raciocínio e conhecimento Matemático
13. Sabendo que os locais são Universidade de Aveiro, Parque Infante D. Pedro, Praça Marquês de Pombal e Av. Santa Joana, qual dos pontos corresponde ao local em que te encontras?	Interpretação de recurso educativo: imagem

14.	Quais são os principais poluentes emitidos diretamente pelos carros? Dica: Resolva as equações químicas para responder corretamente.	Raciocínio e conhecimento de Físico-química
15.	Qual a redução de emissões comparando um carro elétrico com um carro a gasolina.	Raciocínio e conhecimento Matemático
16.	Quais são os principais efeitos do ruído na saúde?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
17.	Que fatores fazem com que um ruído provoque perda auditiva? Seleccionem as opções corretas.	Interpretação de recurso educativo: Imagem
18.	Qual é a reação do sistema endócrino à exposição prolongada ao ruído?	Interpretação de recurso educativo: AR Book
19.	Porque é importante avaliar a exposição dos trabalhadores ao ruído? Seleccionem as opções corretas.	Interpretação de recurso educativo: imagem
20.	Como é que posso medir o ruído do nosso dia-a-dia, de modo fácil e acessível? Seleccionem as opções corretas.	Cultura geral
21.	Quais são as medidas mais adequadas para nos protegermos do ruído? Seleccionem as opções corretas.	Cultura geral
22.	Que serviços ambientais fornece uma zona verde urbana? Seleccionem as opções corretas.	Interpretação de recurso educativo: AR Book

Apêndice 17 – Avaliação das competências para a sustentabilidade pré e pós atividade

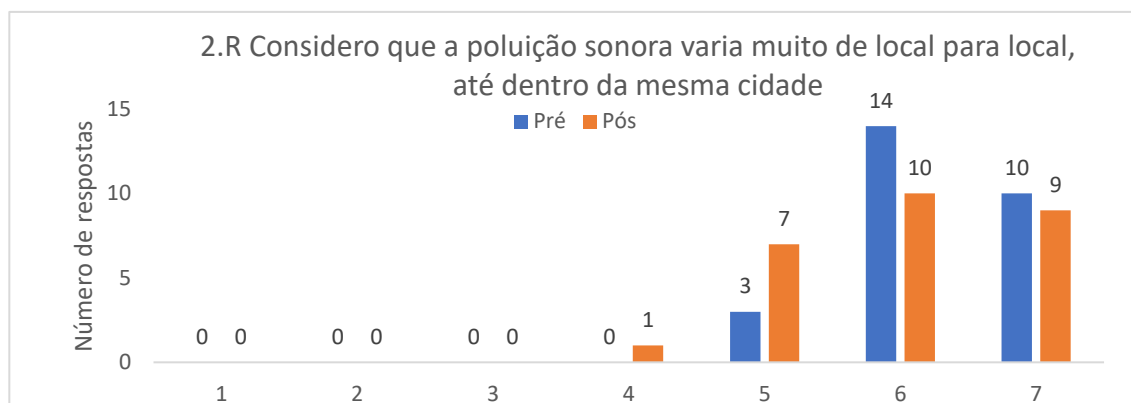
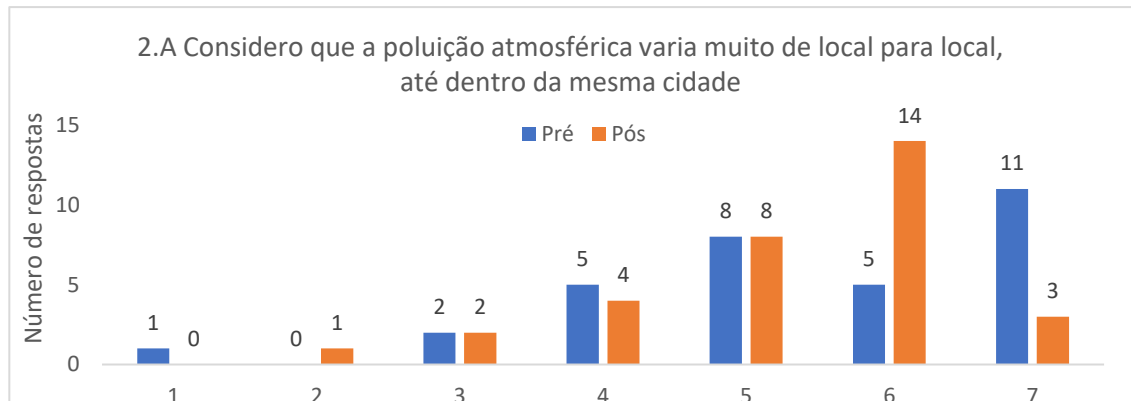
O presente apêndice apresenta a discussão detalhada dos questionários de avaliação das competências para a sustentabilidade.

De seguida são apresentados e discutidos os resultados da aplicação dos questionários de avaliação das competências da sustentabilidade comparando os resultados associados a cada um dos jogos. Para apresentação e análise dos resultados as perguntas do questionário associado ao jogo “EduCITY e qualidade do ar” são numeradas de acordo com a numeração correspondente no Apêndice 7 seguidas da letra A (exemplo: 1.A) e aquelas associadas ao jogo “EduCITY e o ruído” são numeradas seguindo a numeração do Apêndice 9 sendo seguidas da letra R (exemplo 1.R).

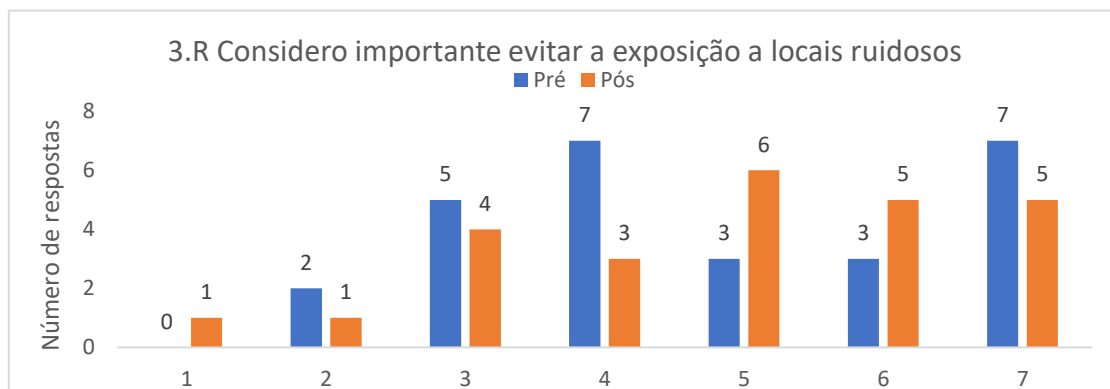
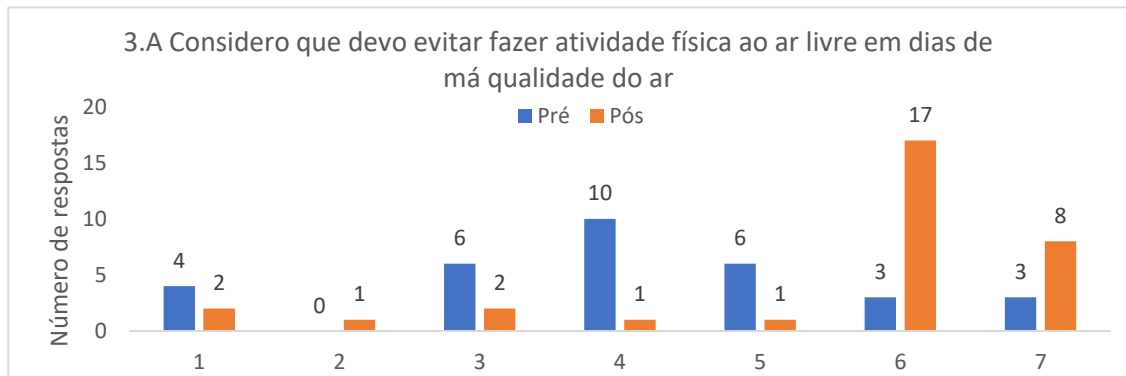


Com as afirmações 1.A e 1.R pretendia-se avaliar perceção dos participantes relativamente à poluição atmosférica e ao ruído a que estão diariamente expostos respetivamente. Uma vez que a questão é feita na negativa seria de esperar que a classificação segundo a escala de Likert diminuísse entre os questionários como consequência de uma maior preocupação para com o ar que respiram e o ruído a que estão expostos. Verifica-se relativamente à afirmação 1.A o valor médio das respostas passa de 3,19 para 3,15 indicando uma ligara descida, mas muito pouco significativa. Verifica-se, contudo, que os participantes na sua maioria discordam da afirmação. Relativamente à pergunta 1.R o resultado é completamente diferente

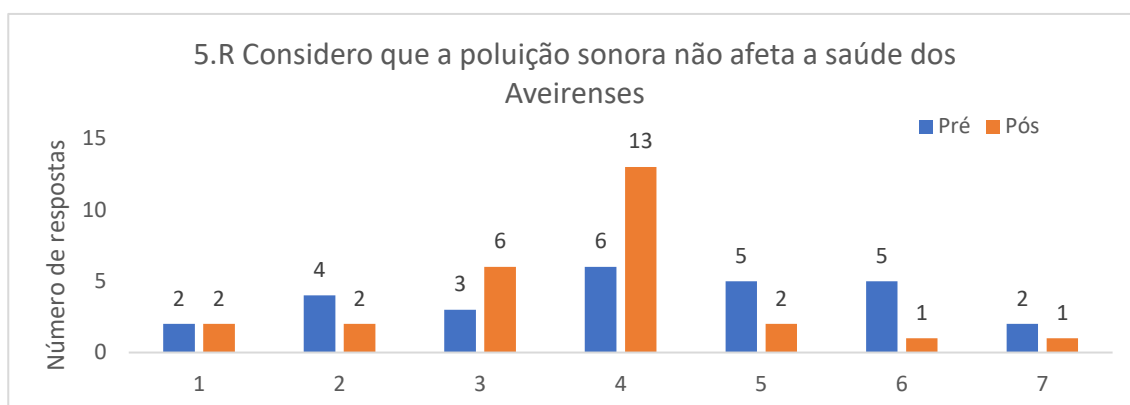
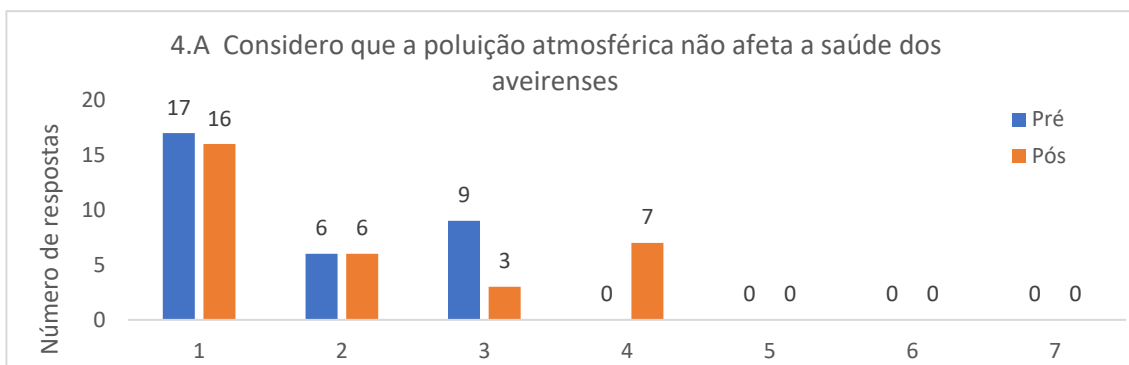
com a maioria dos participantes a concordar com a afirmação que no início quer no final da atividade com o valor médio das respostas a passar de 4,59 para 4,37 uma ligeira evolução no sentido pretendido. Contudo a maioria dos participantes continua a concordar com a afirmação. Verifica-se assim que os participantes estão mais conscientes para o problema da poluição atmosférica do ruído e que em ambos os casos a evolução das respostas dos participantes foi muito pouco significativa evidenciando pouca alteração da opinião em relação a este assunto.



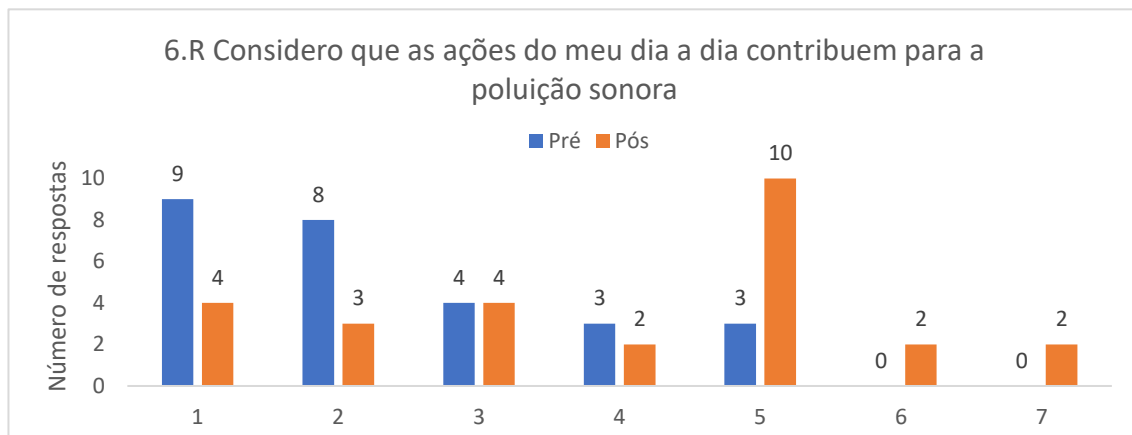
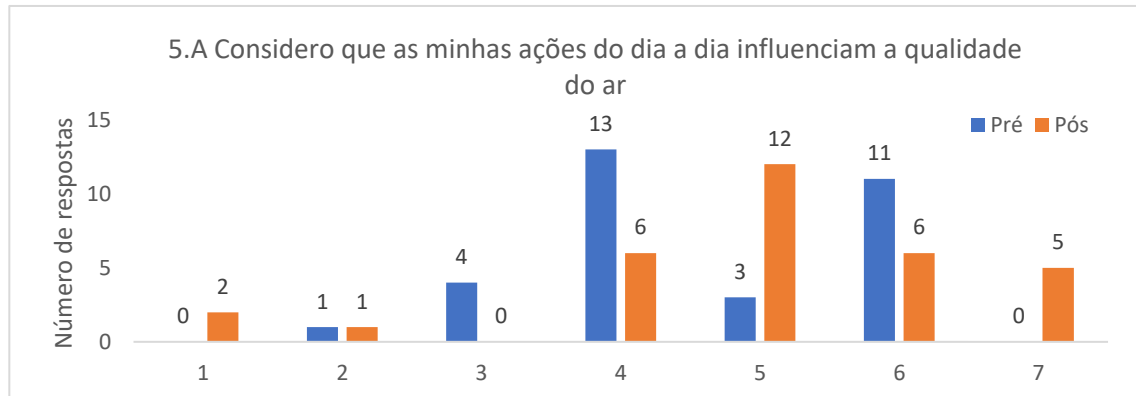
Com as afirmações 2.A e 2.R pretendia-se avaliar a percepção dos participantes dos desafios da poluição atmosférica e ruído nomeadamente das dinâmicas espaço-temporais. Era esperado que após a atividade a percepção dos participantes aumentasse, contudo, o valor médio das respostas à afirmação 2.A passou de 5,43 para 5,28. O mesmo acontece relativamente à afirmação 2.R onde o valor médio passa de 6,26 para 6,00 demonstrando uma percepção menor das dinâmicas espaço temporais relacionadas com o ruído. Em questões onde a média das respostas iniciais é muito elevada como é o caso destas afirmações onde a média das respostas está acima de 5 e a moda das respostas no questionário prévio é 7 e 6 torna-se difícil de se verificar uma evolução positiva. Uma vez que a percepção inicial dos participantes é tão elevada é impossível subir para alguns e qualquer variabilidade fruto da incerteza da resposta de cada participante será sempre para valores mais reduzidos uma vez que é impossível tomar valores superiores. Por esta razão e pelas diferenças reduzidas entre os questionários finais e iniciais considera-se que não existem diferenças significativas entre questionários.



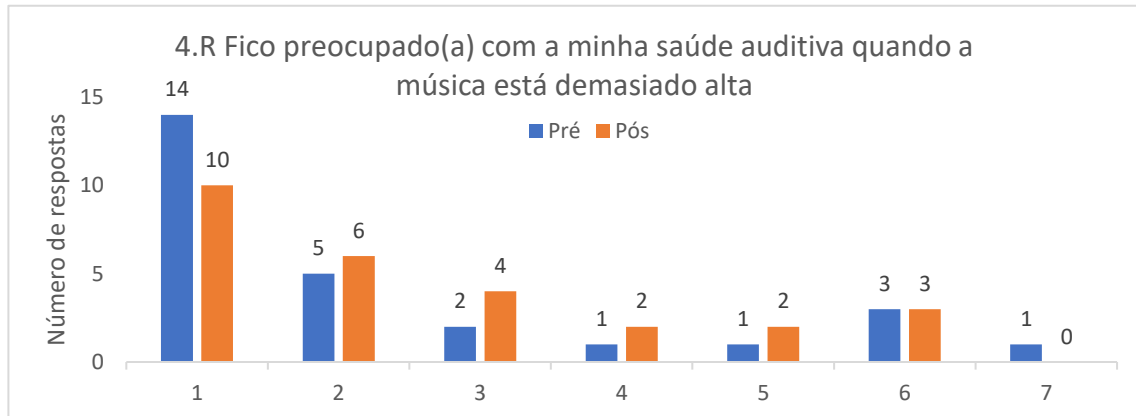
As afirmações 3.A e 3.R pretendiam avaliar a predisposição dos participantes para agir tendo em vista a proteção da saúde. Era esperada uma evolução positiva entre as respostas dos dois questionários e os resultados vão ao encontro disso. O valor médio das respostas à afirmação 3.A passou de 4,09 para 5,53 com a moda a passar de 4 para 6. Verifica-se que esta é uma evolução bastante expressiva com 78% dos participantes a concordarem ou concordarem com a afirmação posteriormente comparando com 18% no questionário prévio. Relativamente à afirmação 3.R, uma afirmação completamente diferente da 3.A, uma vez que conceito não é transponível para o tema da poluição sonora, os resultados foram igualmente diferentes. A média das respostas iniciais 4,77 é mais alta do que o verificado na afirmação 3.A e o valor médio pós atividade foi 4,88 uma evolução positiva, mas não tão expressiva como que questão 3.A. Percebe-se assim que os participantes já tinham uma percepção bastante significativa da importância de evitar exposição a ruído. Contudo quando comparado com a relevância que os participantes atribuem à poluição sonora, com a noção do risco para a saúde que estes lhe atribuem com a predisposição em agir verifica-se respostas diferentes. Apensar de mostrarem um grande conhecimento sobre a atitude correta para a proteção da saúde isso não se traduz em ações. Pelo contrário no caso da poluição atmosférica existe algum desconhecimento inicialmente sobre o modo de agir de forma a proteger a saúde, e a tomada de consciência leva também a uma maior predisposição a agir.



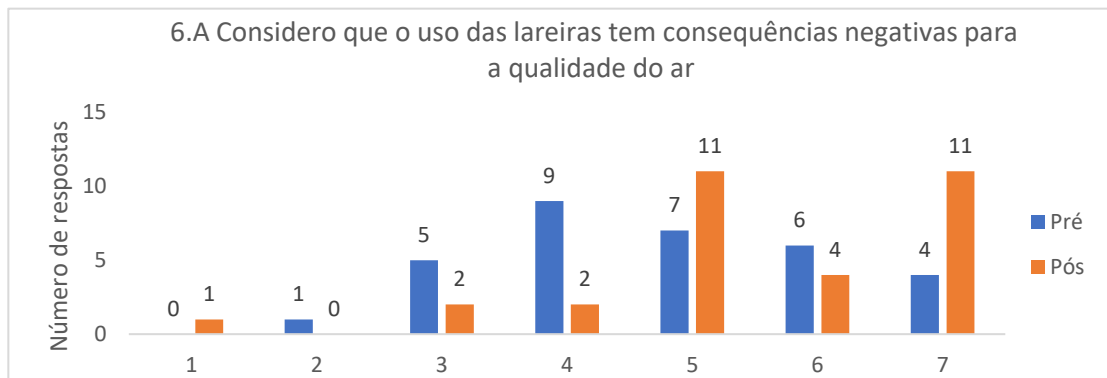
As afirmações 4.A e 5.R pretendiam avaliar a perceção dos participantes relativa aos riscos para a saúde da exposição a poluição atmosférica e sonora. Era esperada uma evolução negativa dos resultados uma vez que a pergunta estava na negativa. Contudo relativamente à afirmação 4.A verifica-se novamente um resultado inicial muito baixo com uma média de 1,75 o que revela uma grande perceção dos efeitos negativos da poluição atmosférica prévia à atividade e por torna difícil uma evolução negativa dos resultados. A média dos resultados finais foi de 2,03 o que vai no sentido contrário com o que seria de esperar, mas é pouco significativo pelas razões explicadas anteriormente. Relativamente à afirmação 5.R verifica-se uma evolução negativa, como era de esperar, com o valor médio a passar de 4,15 para 3,67. Verifica-se que a percentagem de participantes que discorda com a afirmação 5.R passa de 33% para 37% revelando uma variação muito pouco significativa da opinião dos participantes. Isto também se deve à elevada percentagem de participantes que escolheram a opção neutra, 48%. Conclui-se por isso que a perceção dos impactos da poluição atmosférica e a perceção do risco para a saúde é muito maior do que dos impactos do ruído.



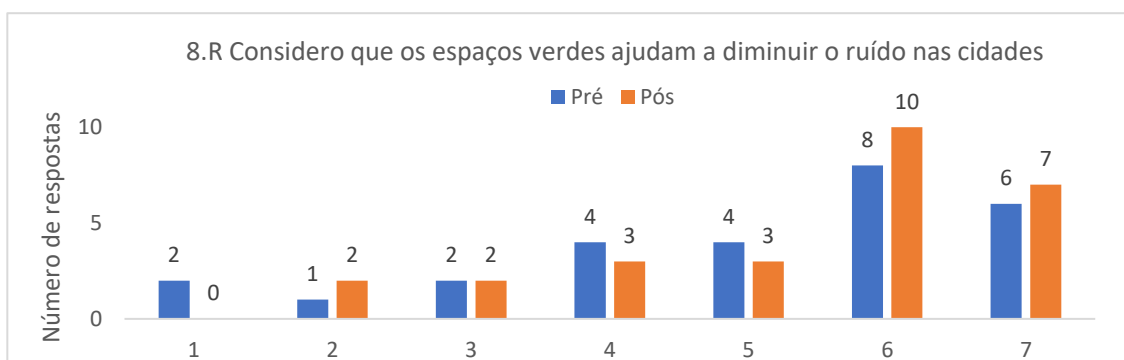
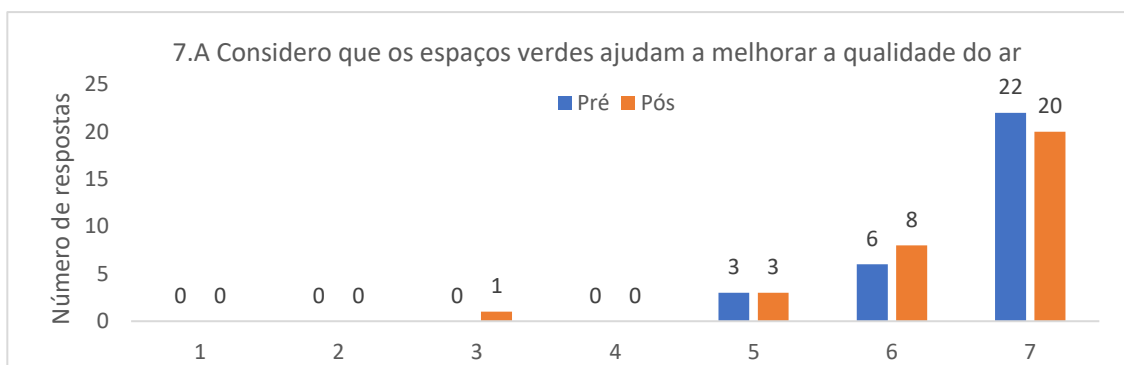
As afirmações 5.A e 6.R pretendiam avaliar a capacidade dos participantes de reconhecerem o próprio impacto na qualidade do ar. Era esperada uma evolução positiva entre os dois questionários e os resultados vão ao encontro disso. O valor médio das respostas à afirmação 5.A passou de 4,59 para 4,97 e a moda passou de 4 para 6. Apesar da evolução ser positiva e visível com o aumento de 0 para 7 de participantes que concordam totalmente com a afirmação verifica-se também um aumento de participantes que discorda totalmente. Por isso e por pela diferença do valor médio ser muito reduzida percebe-se que a variação não é muito significativa. Relativamente a afirmação 6R os resultados são muito diferentes. Verifica-se que no início da atividade a maior parte dos participantes discordam da afirmação com uma média das respostas de 2.37 que passa para 3.93 no final da atividade, uma variação bastante expressiva que mostra a variação da opinião de alguns participantes. Verifica-se que a moda das respostas passa de 1 para 5 reforçando esta evolução positiva dos resultados.



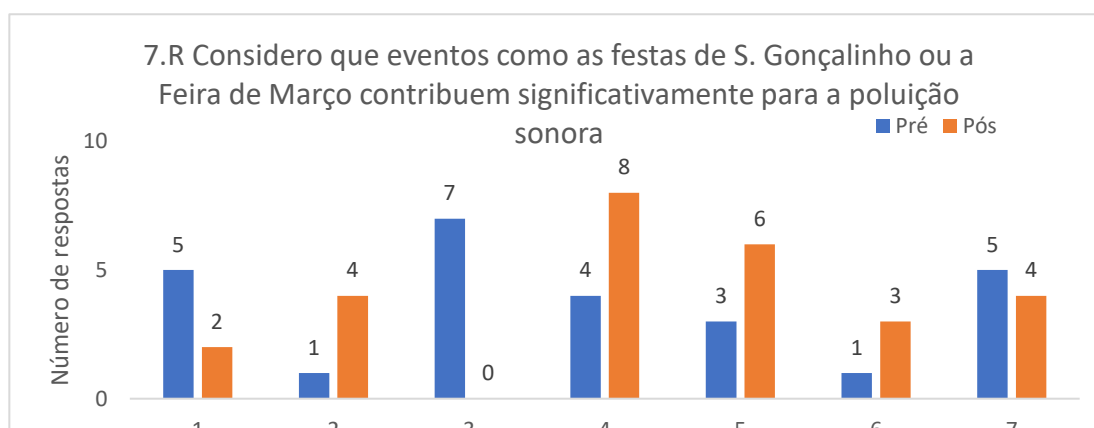
A afirmação 4.R pretendia avaliar a perceção dos participantes em relação ao risco para a saúde da exposição a poluição sonora. Verifica-se que a maior parte dos participantes não se mostra preocupado com um valor médio de repostas iniciais de 2,37 que passa para 2,59 no final da atividade, uma evolução positiva como seria de esperar. No entanto esta evolução é muito pouco significativa e verifica-se que a maioria dos participantes não mudou de opinião havendo apenas um menor número de participantes a discordar totalmente com a afirmação.



A afirmação 6.A pretendia avaliar a perceção dos problemas ambientais como englobando questões essenciais da via humana como a necessidade do aquecimento das habitações e relacionar a poluição com uma fonte natural como a queima de biomassa. Era esperada uma evolução positiva entre as respostas dos dois questionários e os resultados vão ao encontro disso. O valor médio das respostas passou de 4,75 para 5,52 com a percentagem de participantes que concordam com a afirmação (opções 5, 6 e 7) a passar de 53% para 84% no questionário final. Assim é possível afirmar que se verifica uma variação expressiva entre questionários.

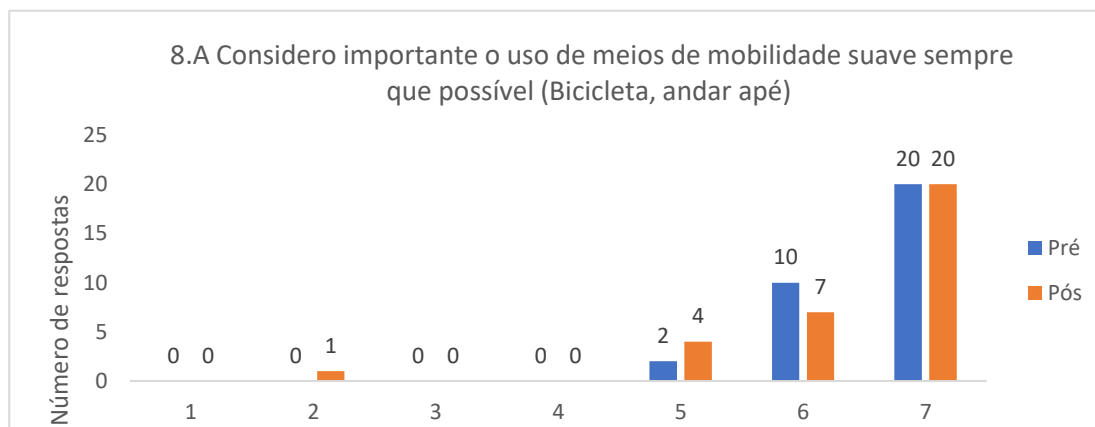


As afirmações 7.A e 8.R pretendiam avaliar a capacidade dos participantes de reconhecer o impacto positivo que a natureza pode ter na qualidade do ar e ruído respetivamente. À semelhança do que aconteceu com outras afirmações os resultados iniciais foram muito elevados com um valor de respostas médio à afirmação 7.A de 6,61 e de 5,3 relativamente à afirmação 8.R, estando a maioria dos participantes ciente do impacto que a natureza pode ter na qualidade do ar e no ruído. Relativamente à afirmação 8.R verifica-se uma evolução positiva das respostas com a média final a passar a ser 5,41 embora seja uma evolução muito pouco significativa tal como na afirmação 7.A.

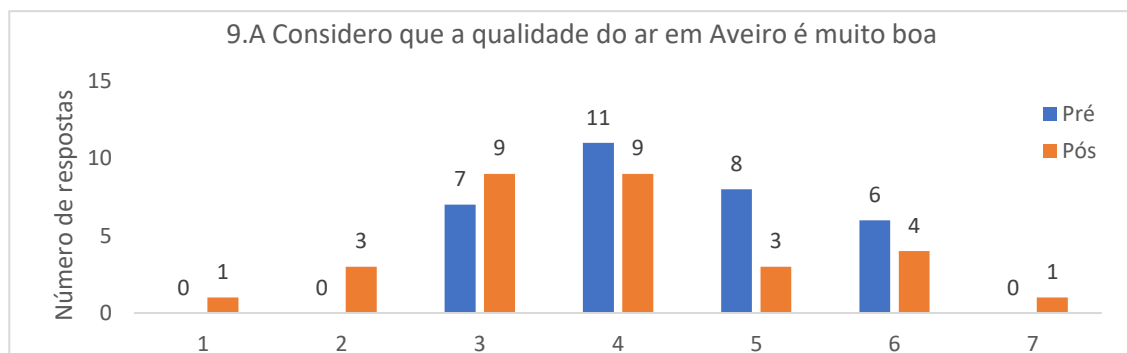


A afirmação 7.R pretendia avaliar a capacidade dos participantes de forma holística como sendo influenciada pelos mais diversos fatores incluindo praticas culturais. Seria de esperar uma variação positiva das respostas dos participantes. A valor

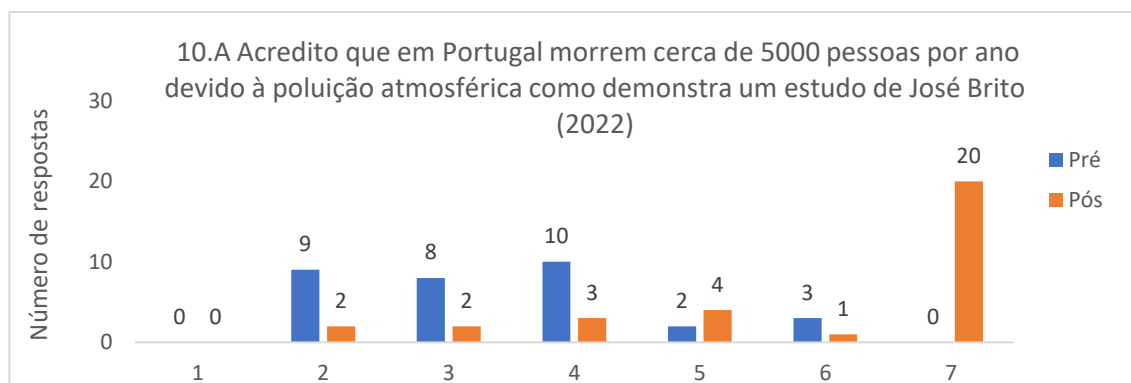
médios das respostas passou de 3.85 para 4.37 evidenciando um baixo conhecimento prévio à atividade e uma melhoria na perceção dos participantes. A evolução demonstra que no final da atividade a maior parte dos participantes concordava com a afirmação o que é positivo.



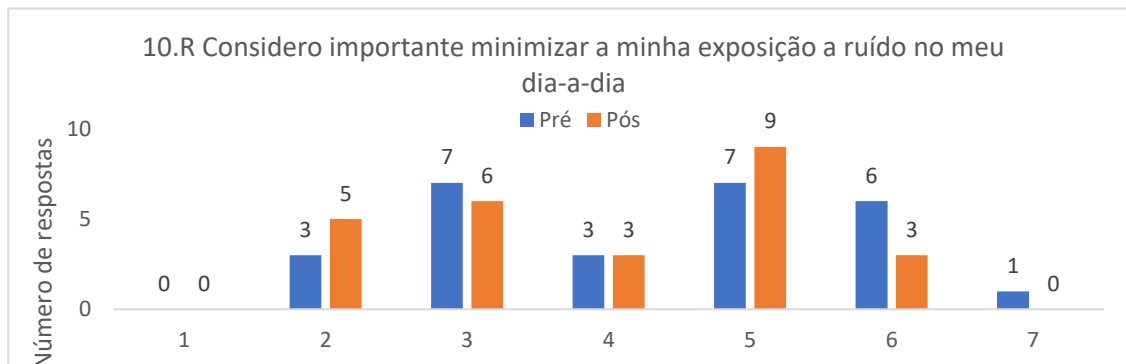
A afirmação 8.A pretendia avaliar a capacidade dos participantes para identificar o próprio potencial para contribuir para redução da poluição sendo esperada uma evolução positiva. À semelhança do ocorrido na 7ª afirmação não é possível retirar mais conclusões para além do facto de que os participantes estavam conscientes para a importância da redução do seu impacto pessoal previamente à realização da atividade.



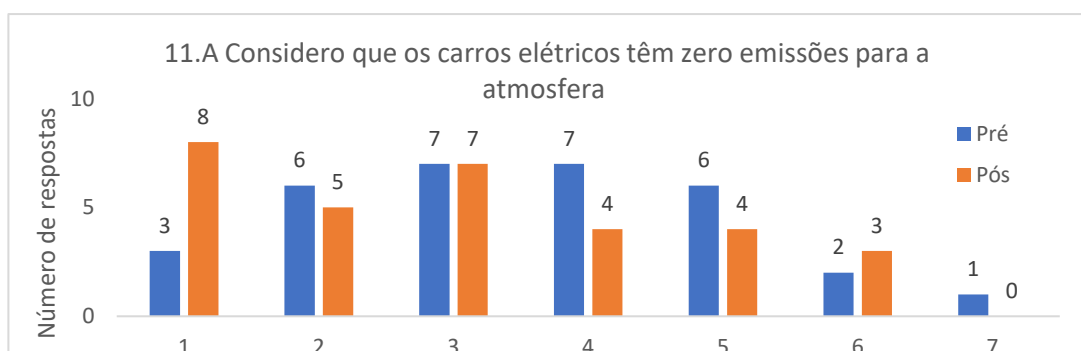
As afirmações 9.A e 9.R pretendiam avaliar novamente a percepção dos participantes relativamente à poluição ambiental a que estão diariamente expostos. Estas questões serviam também como controlo para deteção de incoerência no preenchimento dos questionários uma vez que se referem ao mesmo tópico abordado pelas afirmações 1.A e 1.R respetivamente. Seria de esperar uma evolução negativa dos resultados uma vez que uma maior consciencialização deveria levar também maior preocupação e exigência relativamente ao ar que respira. O valor médio das respostas à pergunta 1A passou de 4,41 para 3,87 de acordo com o que seria de esperar. Verifica-se que no questionário prévio há uma grande concentração das respostas em valores intermédios da escala e que nos pós questionário há uma maior dispersão das respostas. A percentagem de participantes que discorda da afirmação passa de 22% para 43%. Estes são resultados promissores, mas pouco significativos. Relativamente à questão A.R verifica-se que a média das respostas passa de 4,85 para 4,33 como seria de esperar. Verifica-se novamente uma menor preocupação com o ruído e com os seus impactos antes e depois do jogo quando comparado com os resultados para o jogo sobre qualidade do ar.



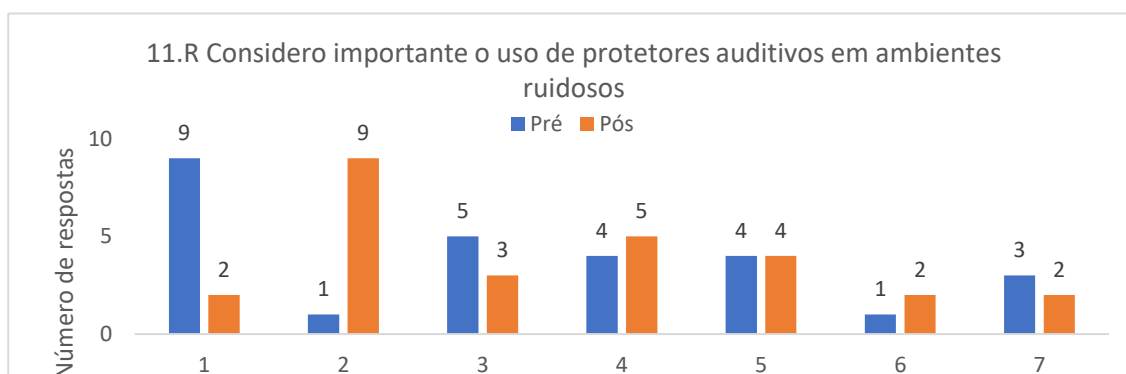
A afirmação 10.A pretendia avaliar a capacidade dos participantes em confiar em factos científicos mesmo sem compreender aquilo que está por de trás deles. Era de esperar uma variação positiva dos resultados. O valor médio das respostas passou de 3,43 para 5,88 de acordo com o que seria de esperar sendo a maior variação entre todas as afirmações. Isto significa que inicialmente os participantes demonstraram dificuldade em confiar em informação científica e que essa tendência se inverteu completamente no final do jogo. A percentagem de participante que concorda com a afirmação passa de 16% para 78% sendo estes resultados bastante expressivos e demonstrando uma evolução positiva desta competência para a sustentabilidade.



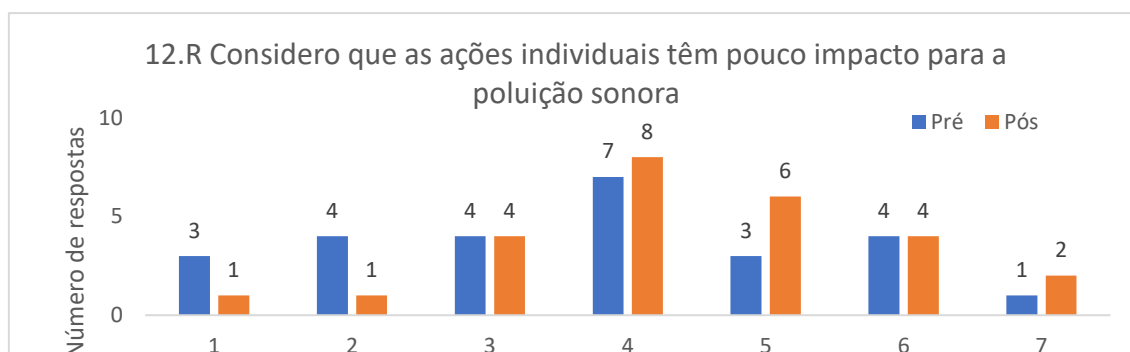
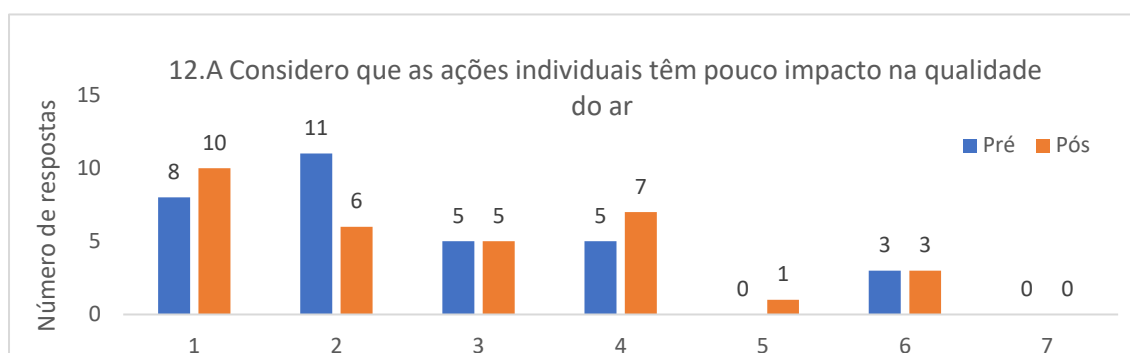
A afirmação 10.R pretendia avaliar a disponibilidade para alterar o seu dia a dia de forma a se protegerem da poluição sonora. Era de esperar uma evolução positiva entre questionários, mas tal não se verificou. A média dos resultados do primeiro questionário era de 4,33 sendo que no final foi de 3,96. É possível concluir por isso que a atividade não foi eficaz a sensibilizar os participantes para a importância de diminuir a exposição a poluição sonora.



A afirmação 11.A pretendia avaliar o pensamento crítico dos participantes e a sua capacidade de questionar a validade de alegações. Seria de esperar uma variação negativa dos resultados. O valor médio das respostas passou de 3,53 para 3 de acordo com o que era esperado, com a percentagem de participante que discorda da afirmação passa de 50% para 64% sendo estes resultados positivos, mas pouco expressivos.

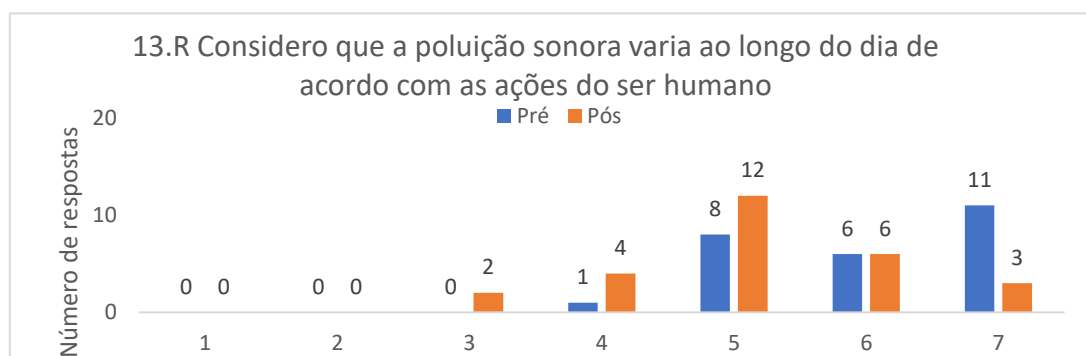
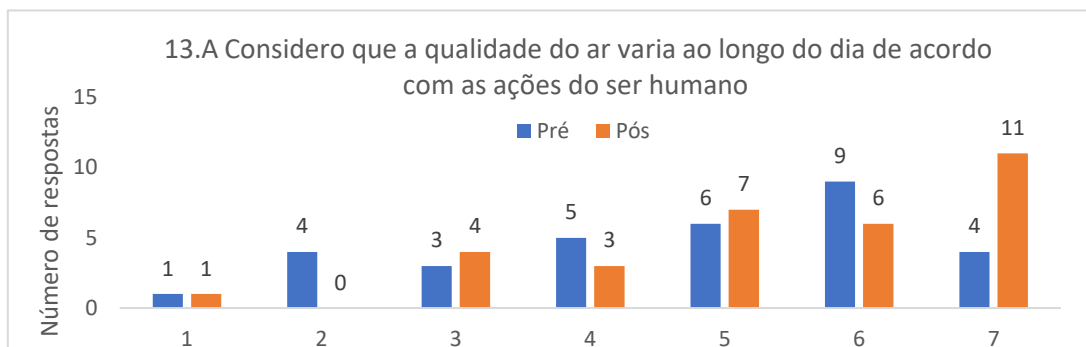


A afirmação 11.R pretendia avaliar a percepção dos participantes sobre a importância do uso de protetores auditivos, ou seja, sobre a importância de proteção da saúde auditiva. Verifica-se que em ambos os questionários os participantes discordam na sua maioria com a afirmação mostrando que não estão sensibilizados para este facto. Contudo a média dos resultados passou de 3,30 para 3,52 uma variação positiva, mas muito pouco expressiva mostrando mais uma vez que o jogo foi pouco eficaz na sensibilização para a proteção da saúde e que os participantes demonstram menor preocupação em relação às consequências da poluição sonora comparativamente com a preocupação demonstrada com a poluição atmosférica.

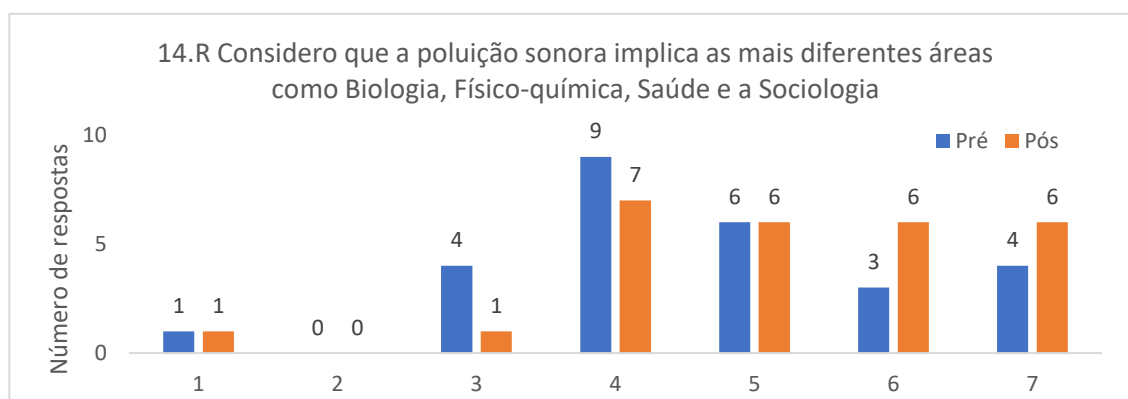
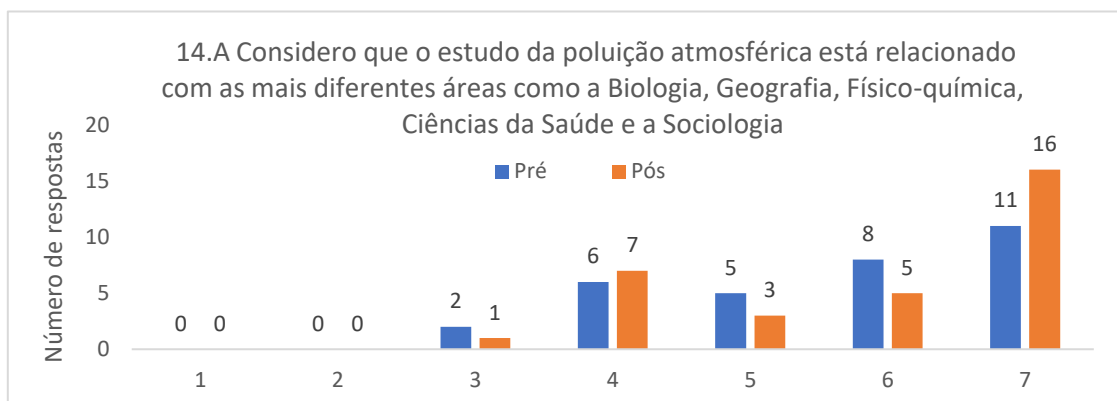


As afirmações 12.A e 12.R pretendiam avaliar a capacidade dos participantes de reconhecerem o próprio impacto na qualidade do ar e no ruído, respetivamente, servindo também de controlo para deteção de incoerências no preenchimento dos questionários uma vez que se referiam ao mesmo tópico abordado pelas afirmações 5.A e 6.R. Seria de esperar uma variação negativa dos resultados. O valor médio das respostas da afirmação 12.A passou de 2,59 para 2,75 uma variação pequena no sentido contrário ao esperado. Contudo o valor médio das respostas iniciais era já bastante baixo o que explica o porque da evolução dos resultados. Já o valor médio das respostas à afirmação 12.R passaram de 3,73 para 4,42 um valor muito diferente do que era esperado. Aqui mais uma vez os participantes parecem estar pouco conscientes daquele que será o seu impacto pessoal no ruído urbano e pós o jogo essa percepção não melhora. Estes resultados indicam alguma incoerência no preenchimento dos questionários já que as respostas a pergunta 5.A indicam uma opinião oposta de à opinião expressa na pergunta 12.A. relativamente às respostas do questionário pós da pergunta 12.R existe uma incoerência quando relacionado com a afirmação 6.R uma vez que

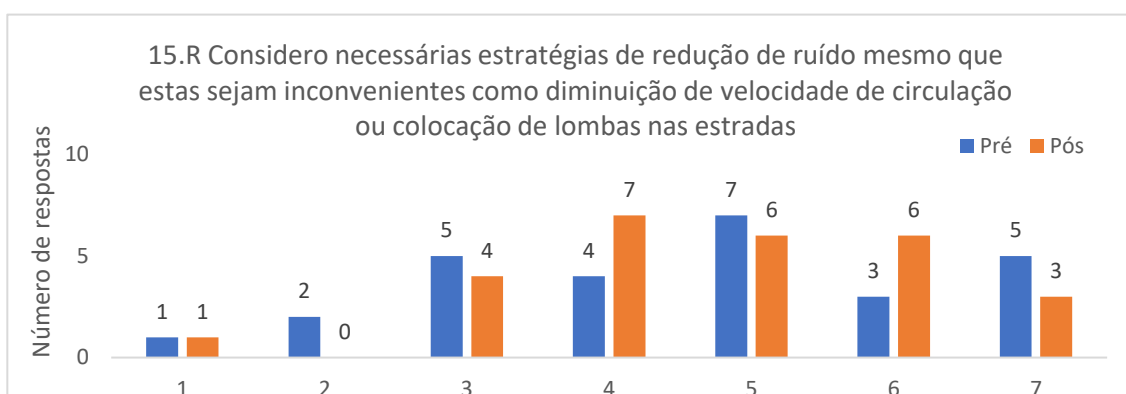
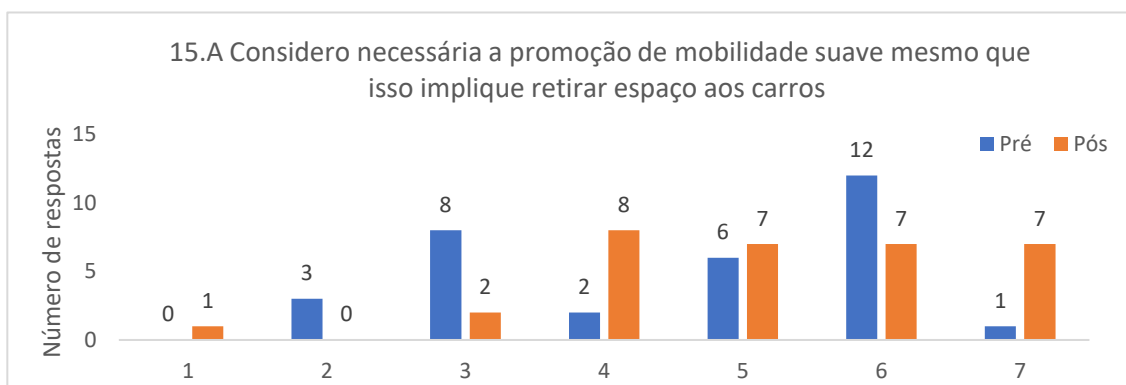
evoluem em direções opostas indicando posições contraditórias dos participantes. Esta divergência pode estar relacionada com um progressivo maior cansaço dos participantes ao longo do preenchimento do questionário. Isto também se revela de outras formas com vários participantes a deixarem perguntas por responder na parte final do questionário o que não tinha ocorrido no questionário prévio.



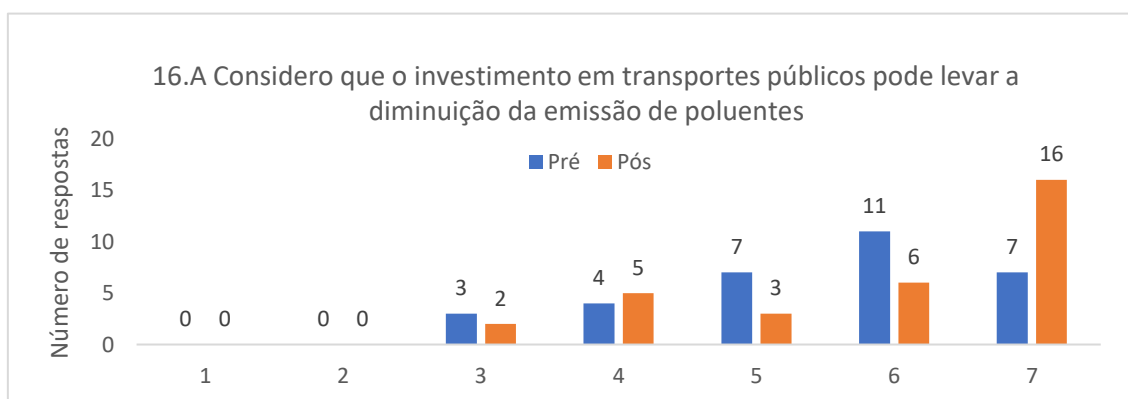
As afirmações 13.A e 13.R pretendiam avaliar a capacidade de enquadramento da poluição atmosférica quanto as suas dinâmicas espaço-temporais e a percepção da influência do ser humano na qualidade do ar e no ruído, sendo esperada uma variação positiva dos resultados. O valor médio das respostas à afirmação 13.A passou de 4,68 para 5,41 de acordo com o que era esperado, percebendo-se uma ligeira melhoria na percepção dos participantes. Relativamente à afirmação 13.R o valor médio das respostas passou de 6,04 para 5,15 ao contrário do que seria de esperar. O valor muito elevado da média das respostas ao questionário inicial é muito elevado sendo por isso muito difícil uma variação positiva. Para além disso verifica-se que 96% dos participantes concordam com a afirmação inicialmente, valor que baixa para 77% após a atividade. Esta concentração inicial de respostas em valores mais elevados da escala justifica a menor evolução negativa dos resultados e, por isso, considera-se que não é muito significativa. A pergunta 13.R demonstra a contradição das respostas dos participantes uma vez que estes consideram que as ações individuais não têm muito impacto no ruído, mas que o ser humano é responsável pelo ruído ao ponto de ser responsável pela sua variação ao longo do dia.



As afirmações 14.A e 14.R pretendam avaliar a perceção da poluição atmosférica e sonora quanto a sua natureza multidisciplinar abrangendo as mais diversas áreas. O valor médio das respostas à pergunta 14.A passou de 5,63 para 5,88 de acordo com o esperado. Mais uma vez é um resultado com valores iniciais muito elevados com 75% dos participantes a concordar com a afirmação previamente à atividade. Relativamente à afirmação 14.R o valor médio dos resultados passou de 4,63 para 5,19 de acordo com o que era esperado. No entanto verifica-se que os resultados ficam muito aquém daqueles da afirmação 14.A mostrando existir uma melhor perceção interdisciplinaridade da poluição atmosférica. Apesar de pouco expressiva verifica-se em ambos os casos uma variação positiva dos resultados.



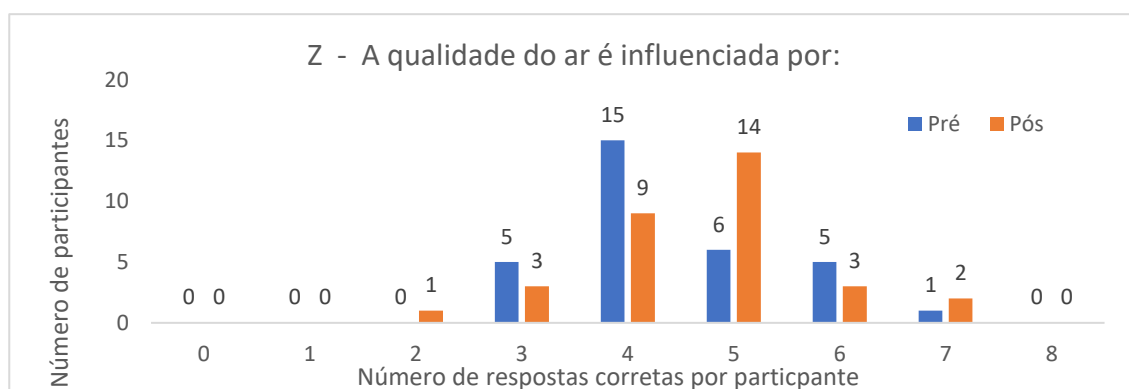
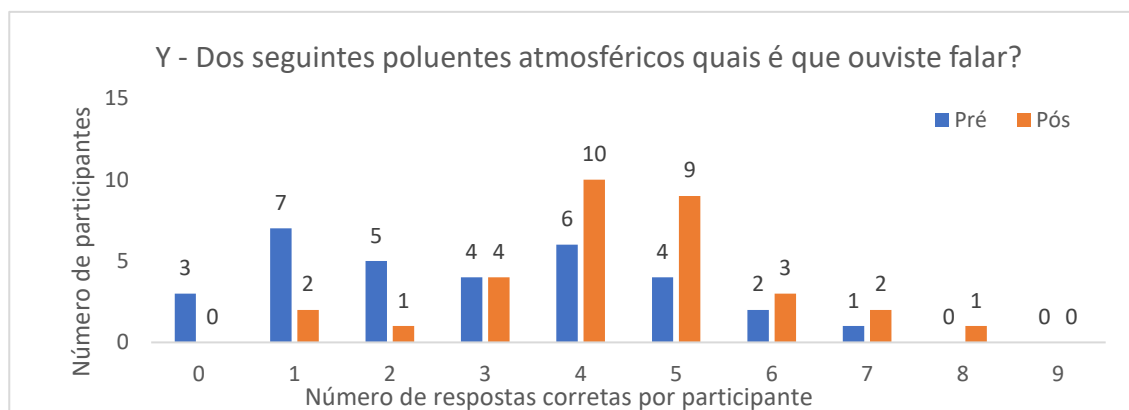
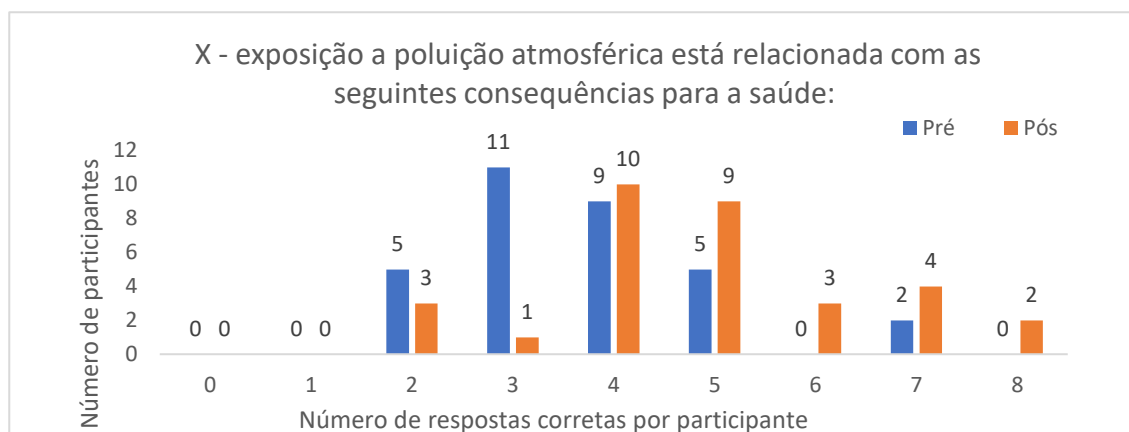
As afirmações 15.A e 15.R pretendiam avaliar a perceção dos participantes da relação entre decisões políticas publicas, qualidade do ar e ruído e sobre a opinião sobre a importância da tomada de medidas de mitigação. Era esperado que a variação dos resultados fosse positiva. O valor médio das respostas à afirmação 15.A passou de 4,59 para 5,16 sendo que a percentagem de participantes que concorda com a afirmação sobe de 59% para 66% de acordo com o esperado. Os resultados relativos à afirmação 15.R não são tão positivos com o valor médio das respostas a passar de 4,59 para 4,74, uma variação muito pouco expressiva. Verifica-se novamente uma pior consciencialização para as questões do ruído.



A afirmação 16.A pretendia avaliar a perceção da poluição atmosférica e das dinâmicas sociais que a influenciam, a perceção da necessidade de agir e o reconhecimento de responsabilidade política. Era Esperado que a variação dos

resultados fosse positiva sendo que o valor médio das respostas passou de 5,47 para 5,91 como era esperado. Verifica-se que 78% dos participantes concordam com a afirmação antes e depois do jogo o que indica boa uma consciencialização dos participantes.

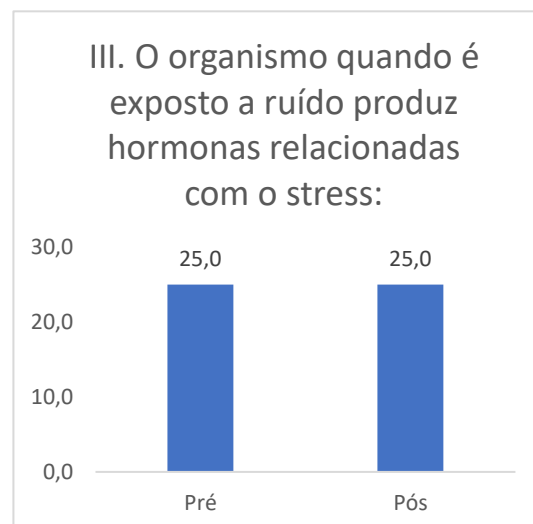
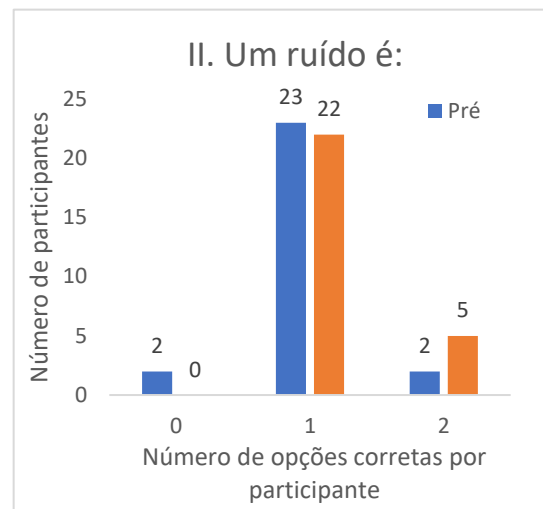
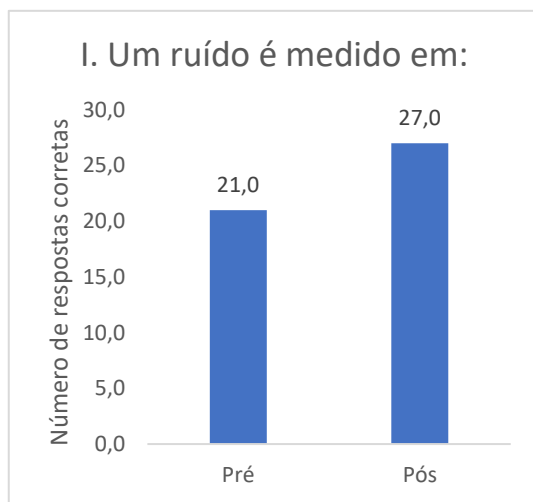
Por último foram analisadas as respostas às questões de avaliação de conhecimentos sobre qualidade do ar. As perguntas consistiam em perguntas de escolha múltipla com várias opções corretas. Os resultados dessas questões estão ilustrados nas figuras seguintes.

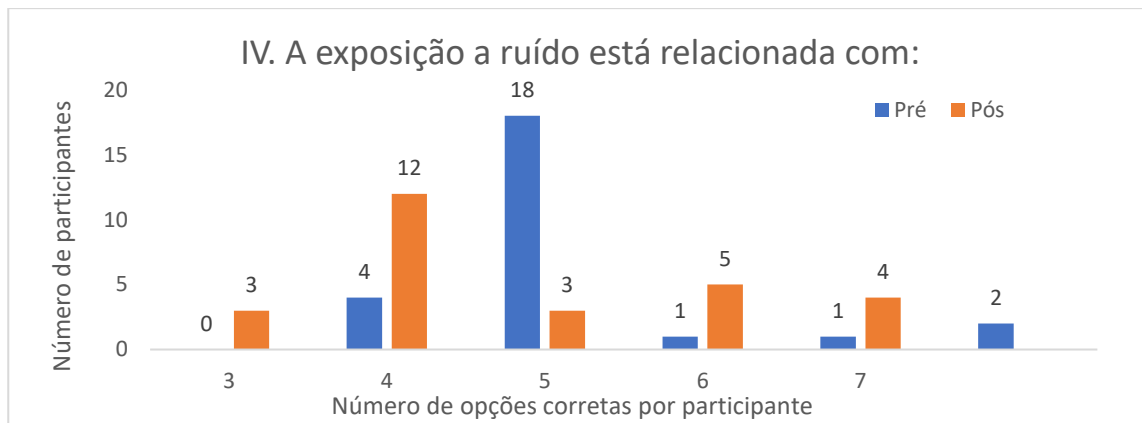


Através das figuras é possível perceber que os conhecimentos dos participantes evoluíram positivamente uma vez que o número de respostas corretas a aumentar entre os questionários. A pergunta onde a variação foi mais expressiva foi a

pergunta Y onde os participantes demonstraram saber identificar um maior número de poluentes atmosféricos depois do jogo sendo que o valor médio de respostas certas passou de 2,9 para 4,4. A pergunta X passou de uma média de respostas certas de 3,7 para 4,9 mostrando uma melhoria no conhecimento dos participantes a cerca das consequências da poluição atmosférica. A pergunta Z passou de uma média de respostas certas de 4,4 para 4,7 uma alteração muito reduzida sem alteração do conhecimento à cerca das questões que influenciam a qualidade do ar.

Por último são analisados os resultados das questões para avaliação dos conhecimentos sobre ruído. Os questionários contavam com 4 questões de escolha múltipla: duas questões com 1 opção correta, uma questão com duas opções corretas e uma questão com 9 opções corretas. As figuras seguintes ilustram os resultados dessas questões.





As respostas à pergunta I. indica uma ligeira melhoria do conhecimento dos participantes com 27 a identificarem corretamente a unidade de medida do ruído no final da atividade comparando com 21 no pré questionário. Em relação à pergunta II identifica-se um ligeiro aumento das pessoas que identificam corretamente o que é um ruído. Relativamente à pergunta III apenas 2 participantes não concordam com a afirmação em ambos os questionários mostrando que a grande generalidade dos participantes compreendia previamente a ligação entre ruído e stress. Relativamente à questão IV verifica-se um aumento do conhecimento dos participantes sobre as possíveis consequências para a saúde a ruído com o valor médio do número de respostas corretas a passar de 4.2 para 4.8.

Apêndice 18 – Declaração de consentimento informado dos participantes no estudo



Informação e Declaração de Consentimento Informado

Preenchimento do “Questionário sobre o contributo do jogo móvel - EduCITY e a qualidade do ar / EduCITY e o ruído - para a promoção de competências para a sustentabilidade”

INFORMAÇÃO

O preenchimento deste questionário insere-se no âmbito da dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente do aluno Diogo Almeida de Figueiredo com o título “Sensorização Ambiental Game-Based Learning na Promoção de Cidades Inteligentes e Sustentáveis”

Finalidade: Avaliar os recursos educativos. Avaliar a eficácia do jogo para o ensino de conceitos relacionados com ruído ou qualidade do ar. Avaliar a eficácia na promoção de competências para a sustentabilidade. Avaliar a experiência do uso dos sensores, bem como dos índices de ruído e qualidade do ar, avaliar a motivação para o uso dos sensores e a capacidade de compreensão dos resultados da monitorização ambiental.

Público-alvo: Participantes em atividades dinamizadas no âmbito do projeto EduCITY.

Tipo de dados recolhidos: a) o contributo do EduCITY para a Educação para a Sustentabilidade.

Responsável pelos dados: Diogo Almeida Figueiredo (diogo.figueiredo@ua.pt)

O preenchimento deste questionário não produzirá julgamento de resposta por parte da equipa, uma vez que não há respostas corretas ou erradas. O tempo de preenchimento deste questionário é de aproximadamente 20 minutos.

DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO INFORMADO

Eu, _____,
pessoa singular titular de dados pessoais, declaro que aceito participar no preenchimento do Questionário Questionário sobre o contributo do jogo móvel - EduCITY e a qualidade do ar / EduCITY e o ruído - para promoção de competências para a sustentabilidade, um trabalho do Mestrando Diogo Figueiredo, orientado por Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes, Professora Associada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e Sónia Alexandra Morais Rodrigues, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro. Antes de optar pela minha participação, tomei conhecimento da finalidade deste questionário, e de todos os aspetos relacionados com a minha participação e do que é necessário fazer para participar. Fui também informado(a) da duração estimada de preenchimento deste questionário, tendo-me sido dadas garantias de total anonimato e confidencialidade, além de que me foi transmitido de que me pertence o direito de recusar de participar ou cessar a minha participação, em qualquer momento, sem consequências para mim.

Tendo compreendido todas as informações que me foram dadas a respeito deste questionário e do seu preenchimento, foi-me dada oportunidade de esclarecimento de dúvidas.

(Assinatura conforme documento de identificação)

Apêndice 19 – Declaração de consentimento informado dos encarregados de educação dos participantes no estudo

Jogo móvel para promoção de competências para a sustentabilidade – uma investigação integrada no Projeto EduCITY

Este documento tem como objetivo fornecer informações sobre a possível participação do seu educando numa investigação conduzida por Diogo Almeida de Figueiredo, aluno de Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente na Universidade de Aveiro, em articulação com o projeto “EduCITY”. A participação do seu educando é voluntária.

OBJETIVOS DO ESTUDO

Este estudo advém da importância da promoção de competências para a sustentabilidade nomeadamente na promoção de competências relacionadas com a poluição atmosférica e o ruído. Para esse fim foram desenvolvidos dois guiões educativos sobre qualidade do ar e sobre ruído que foram integrados na app EduCITY. Estes guiões através de vários desafios interdisciplinares pretendem consciencializar para os problemas da poluição atmosférica e ruído.

Para isso foram definidos os seguintes objetivos: Avaliar os recursos educativos. Avaliar a eficácia do jogo para o ensino de conceitos relacionados com ruído ou qualidade do ar. Avaliar a eficácia na promoção de competências para a sustentabilidade. Avaliar a experiência do uso dos sensores, bem como dos índices de ruído e qualidade do ar, avaliar a motivação para o uso dos sensores e a capacidade de compreensão dos resultados da monitorização ambiental.

A informação recolhida será usada para elaborar a dissertação de mestrado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente.

PROCEDIMENTO

Caso aceite que o seu educando participe nesta investigação, ele participará numa atividade com uma duração aproximada de 1 hora e 30 minutos com o percurso que vai desde a Avenida 25 de Abril terminando no parque Infante D. Pedro sendo acompanhados pela professora responsável, pelo mestrando Diogo Figueiredo e por investigadores do projeto EduCITY.

Quanto a recolha de dados para investigação esta é feita através de dois questionários pré e pós atividade para avaliar os guiões aplicados no desenvolvimento de competências para a sustentabilidade. Estes questionários têm por base afirmações baseadas no referencial GreenComp (<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128040>).

Os alunos poderão ser fotografados, mas sem que a seja possível a sua identificação, ou seja, não serão tiradas fotografias da cara dos alunos ou a sua identidade será escondida.

Todos os métodos mencionados são usados exclusivamente no âmbito desta investigação. Após a conclusão do estudo todos os dados serão eliminados de forma permanente sendo assegurado o anonimato dos participantes. Os dados recolhidos serão armazenados no disco rígido do computador pessoal do investigador principal e no armazenamento em nuvem da Universidade de Aveiro. É seguido o princípio da minimização dos dados garantindo que apenas são recolhidos dados relevantes para a investigação. Nenhum dado pessoal é coletado para além da caligrafia.

ANÁLISE DE DADOS

O armazenamento de dados é feito de forma encriptada serão usados apenas para fins académicos e apenas o investigador principal terá acesso. Após a conclusão da investigação (julho 2024) todos os dados serão eliminados.

A recolha e análise de dados que fazem parte desta investigação farão parte de uma dissertação de mestrado que será disponibilizada publicamente no Repositório Científico de Acesso Aberto de Portugal.

CONFIDENCIALIDADE

A responsabilidade dos dados recolhidos é do investigador Diogo Figueiredo e estes serão armazenados de forma a garantir a conformidade com a legislação portuguesa (Lei n.º 58/2019) e da União Europeia em matéria de

proteção do Regulamento europeu de proteção de dados (EU). Dados pessoais como caligrafia são armazenados separadamente em locais seguros. Adicionalmente e como parte de estratégia de mitigação de riscos serão implementados procedimentos de backup de dados para garantir a segurança dos mesmos.

RISCOS POTENCIAIS

Este estudo não apresenta qualquer risco para os participantes (alunos). Na eventualidade de qualquer incidente, furto ou extravio dos dados a entidade supervisora será prontamente notificada sobre a violação dos dados.

RECUSA EM PARTICIPAR

A participação no estudo é completamente voluntária sendo livre de aceitar ou recusar a participação ou desistir em qualquer momento da sua participação.

CONTEXTO DO ESTUDO

Este trabalho é apoiado financeiramente por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito da Bolsa de Investigação com a referência BI/UI57/10394/2022. O projeto EduCITY é financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/CED-EDG/0197/2021.

IDENTIFICAÇÃO DO INVESTIGADOR

Caso tenha alguma questão ou apreensão relativa a este estudo, poderá contactar:

- Diogo Almeida de Figueiredo (estudante do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro) através do email: diogo.figueiredo@ua.pt

EQUIPA DE ORIENTAÇÃO

- Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes (orientadora da dissertação) através do email: myr@ua.pt
- Sónia Alexandra Morais Rodrigues (co-orientadora da dissertação) através do email: smorais@ua.pt

Declaro, por meio deste termo, que concordo que o meu educando participe no projeto de investigação no âmbito da dissertação de mestrado: "Sensorização ambiental e game-based learning na promoção de cidades inteligentes e sustentáveis" - uma investigação integrada no Projeto EduCITY que é da responsabilidade de Diogo Almeida Figueiredo, aluno do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro, que poderei contactar para esclarecimento de qualquer dúvida ou questão. Compreendo que a participação é voluntária, podendo deixar o projeto, sem qualquer consequência, dano ou prejuízo. Fui informado(a) dos objetivos gerais e específicos do estudo e de que o acesso aos dados será realizado apenas pelo investigador, para fins estritamente académicos.

Sabendo isto assino abaixo no local indicado, autorizando a participação do meu educando.

Nome do aluno:

Assinatura do(a) encarregado de educação:

Data e Local

Apêndice 20 – Autorização do Sistema de Monitorização de Inquéritos em Meio Escolar do Ministério de educação

diogo.figueiredo@ua.pt

De: mime.noreply@min-educ.pt
Enviado: 21 de maio de 2024 10:16
Para: diogo.figueiredo@ua.pt; diogo.figueiredo@ua.pt
Assunto: Monotorização de Inquéritos em Meio Escolar: Inquérito nº 1463500005

Exmo(a)s. Sr(a)s.

O pedido de autorização do inquérito n.º 1463500005, com a designação *Projeto EduCITY avaliação de jogos relativos à qualidade do ar e ruído*, registado em 15-05-2024, foi aprovado.

Avaliação do inquérito:

Exmo.(a) Senhor(a) Diogo Almeida Figueiredo
Cumpre-nos informar que o pedido de realização de inquérito em meio escolar é aprovado uma vez que, submetido a análise, cumpre os requisitos, devendo atender-se às observações aduzidas.
Com os melhores cumprimentos
José Carlos Sousa
Diretor de Serviços
DGE

Observações:

- a) A realização dos Inquéritos fica sujeita a autorização das Direções dos Agrupamentos de Escolas do ensino público a contactar para a realização do estudo. Merece especial atenção o modo, o momento e condições de aplicação dos instrumentos de recolha de dados em meio escolar, porque muito onerosos, devendo fazer-se em estreita articulação com as Direções dos Agrupamentos e com os encarregados de educação/representantes legais dos alunos inquiridos.
- b) Deve considerar-se o disposto legal em matéria de garantia de anonimato dos sujeitos e da sua não identificabilidade, confidencialidade, proteção e segurança dos dados a recolher e tratar no presente estudo, devendo prever-se medidas adequadas e específicas para a defesa dos direitos fundamentais e dos interesses do titular dos dados. Deste modo, procura-se garantir o tratamento lícito dos mesmos e a conformidade com os termos procedimentais indicados e legislação em vigor. Considerados os documentos que foram anexados e para efeitos da proteção de dados a recolher junto dos inquiridos resultam obrigações que o responsável se propõe cumprir, enunciadas nos documentos apresentados. Destas deve dar conhecimento a todos os inquiridos e a quem intervenha na recolha e tratamento de dados. É obrigatório recolher o consentimento inequívoco, informado e esclarecido, junto dos inquiridos. Recomenda-se que, dado o exposto, para efeitos de proteção de dados e cumprimento do disposto legal, o/a Encarregado/a de Proteção de Dados da entidade responsável pelo estudo (Univ. Aveiro) possa apoiar todo o processo, ponderando acionar medidas de salvaguarda previstas na lei para segurança dos dados pessoais e devida proteção dos titulares.
- c) Como se refere: (...) Projeto EduCITYA; A atividade será realizada em ambiente exterior na cidade de Aveiro (cerca de 1h30m) e consistirá em desafios de escolha múltipla acompanhados de recursos educativos em Realidade Aumentada, vídeo, imagem e áudio(...),

a Direção-Geral da Educação tendo o papel de validar e aprovar os documentos no âmbito do Despacho n.º 15847/2007, de 23 de julho, e conjugando com a atual legislação consolidada em matéria de autonomia, administração e gestão dos estabelecimentos públicos da educação pré-escolar e dos ensinos básico e secundário, não é competente para autorizar a realização de intervenções educativas / desenvolvimento de projetos e atividades/ programas de intervenção / formação / sensibilização / capacitação / workshops, ateliers, em meio escolar, dadas a autonomia e competências da Escola não Agrupada/Agrupamentos de Escolas, nos domínios da orientação e organização pedagógica e planificação curricular, da gestão e planificação estratégica, entre outras. Os órgãos de gestão pedagógica e educativa, (a Direção, o Conselho Pedagógico, o Conselho Geral) melhor decidirão sobre estes casos de figura e subsequentes ações, porque competentes, autorizando-as de forma integrada, estas e também as de inquirição/avaliação/registo referentes ao projeto e intervenções subsequentes.

d) A inquirição deverá apenas ter início após a data de aprovação do presente pedido ser inscrita na plataforma de Monitorização de Inquéritos em Meio Escolar.

Pode consultar na Internet toda a informação referente a este pedido no endereço <http://mime.dgeec.mec.pt>. Para tal terá de se autenticar fornecendo os dados de acesso da entidade.

Apêndice 21 – Autorização dos Agrupamentos de Escolas

Autoriza a realização da atividade.
P. Boto
27/05/24

Pedido de autorização para a realização de um estudo da dissertação de mestrado intitulada: **Sensorização Ambiental Game-Based Learning na Promoção de Cidades Inteligentes e Sustentáveis**

Exma. Diretor(a) do Agrupamento de Escolas José Estevão.

Professora Anabela Boto.

Enquanto estudante do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro, venho por este meio solicitar a V. Ex.ª autorização para a realização de um estudo de investigação, na escola secundária José Estevão, no âmbito da minha dissertação de mestrado. O estudo será acompanhado da professora Anabela Boto.

O objetivo deste trabalho de investigação é o de avaliar recursos educativos desenvolvidos com base num aplicativo para dispositivos móveis na sua eficácia para promover competências para a sustentabilidade.

A atividade consiste especificamente em dois jogos educativos, um sobre qualidade do ar e outro sobre ruído, que são jogados por alunos de ensino secundário através de dispositivos móveis cedidos pelo investigador. Os alunos são divididos em grupos e cada grupo escolhe o jogo que pretende jogar. Consoante o jogo escolhido é então implementado um questionário prévio. Estes questionários intitulados "Questionário pré jogo ar" e "Questionário pré jogo ruído" têm o propósito de recolher dados sobre os conhecimentos prévios dos alunos a cerca das temáticas em estudo bem como das suas competências para a sustentabilidade. Estes questionários foram adaptados através do quadro de referência para as competências da sustentabilidade da União Europeia, o GreenComp. A atividade será realizada em ambiente exterior na cidade de Aveiro e consistirá em desafios de escolha múltipla acompanhados de recursos educativos em Realidade Aumentada, vídeo, imagem e áudio. Os alunos serão acompanhados durante a atividade pelo investigador responsável pela atividade (Diogo Figueiredo), por investigadores do projeto EduCITY e pela professora acompanhante responsável pelos alunos.

Investigador responsável: Diogo Figueiredo (diogo.figueiredo@ua.pt)

Participantes: Alunos da turma alvo que aceitem participar.

Recolha de informação: No final da atividade serão entregues aos alunos os questionários intitulados por "Questionário pós jogo ar" e "Questionário pós jogo ruído". Estes questionários dividem-se em 3 secções: Secção A é avaliada a opinião dos alunos sobre os recursos educativos desenvolvidos; Secção B é avaliada a opinião dos alunos sobre o uso de sensores de baixo custo durante a atividade; e na secção C tem o objetivo recolher dados sobre os conhecimentos dos alunos a cerca das temáticas em estudo bem como das suas competências para a sustentabilidade depois de realizarem a atividade.

O armazenamento de dados é feito de forma encriptada serão usados apenas para fins académicos e apenas o investigador principal terá acesso. Após a conclusão da investigação (julho 2024) todos os dados serão eliminados.

Confidencialidade: A responsabilidade dos dados recolhidos é do investigador Diogo Figueiredo e estes serão armazenados de forma a garantir a conformidade com a legislação portuguesa (Lei n.º 58/2019) e da União Europeia em matéria de proteção do Regulamento europeu de proteção de

Diogo Figueiredo

De: Ana Luísa Brito <analuisabrito@gmail.com>
Enviado: 24 de maio de 2024 15:43
Para: Diogo Figueiredo
Assunto: Fwd: pedido de autorização de um aluno de mestrado

----- Mensagem encaminhada -----

From: **Diretor** <diretor@aeaveiro.pt>
Data: sex., 24/05/2024 às 15:41
Assunto: RE: pedido de autorização de um aluno de mestrado
Para: Ext Cristina Maria Mota Branco <motabranco@gmail.com>
Cc: Ext Ana Luísa Costa de Brito <analuisabrito@gmail.com>

Nada a opor.
Autorizado.

O Diretor do Agrupamento



[Vitor Manuel dos Santos Marques]

diretor@aeaveiro.pt

A informação contida neste email é confidencial e é dirigida única e exclusivamente aos seus destinatários.



378741



Antes de imprimir esta mail pense bem se é necessário fazê-lo.

Escola Secundária Homem Cristo
Rua Belém do Pará, 3810-088 Aveiro | Telefone: 234 378740 | Fax: 234
www.agrupamentodescolasdeaveiro.pt

De: Cristina Branco <motabranco@gmail.com>
Enviado: 24 de maio de 2024 12:49
Para: Diretor <diretor@aeaveiro.pt>
Cc: Ext Ana Luísa Costa de Brito <analuisabrito@gmail.com>
Assunto: pedido de autorização de um aluno de mestrado

1

Olá Vitor,
segue em anexo o pedido de autorização para a realização de um estudo de investigação de um aluno de mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro, Diogo Figueiredo.
" Para realizar um inquérito em ambiente escolar necessito de autorização da direção da escola. Para isso envio em anexo o pedido de autorização endereçado a direção do agrupamento de escolas. Pedia que reencaminhassem o email para a direção e que reencaminhem também a resposta.
A resposta pode ser em email."

Obrigada,

--

Cristina Branco

--

Ana Luísa Brito
analuisabrito@gmail.com

Pedido de autorização para a realização de um estudo da dissertação de mestrado intitulada: Sensorização Ambiental Game-Based Learning na Promoção de Cidades Inteligentes e Sustentáveis

Exma. Diretor(a) do Agrupamento de Escolas Dr. Mário Sacramento

Professora Cristina Pereira

Enquanto estudante do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro, venho por este meio solicitar a V. Ex.ª autorização para a realização de um estudo de investigação, na Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, no âmbito da minha dissertação de mestrado. O estudo será acompanhado pela professora Cristina Pereira.

O objetivo deste trabalho de investigação é o de avaliar recursos educativos desenvolvidos com base num aplicativo para dispositivos móveis na sua eficácia para promover competências para a sustentabilidade.

A atividade consiste especificamente em dois jogos educativos, um sobre qualidade do ar e outro sobre ruído, que são jogados por alunos de ensino secundário através de dispositivos móveis cedidos pelo investigador. Os alunos são divididos em grupos e cada grupo escolhe o jogo que pretende jogar. Consoante o jogo escolhido é então implementado um questionário prévio. Estes questionários intitulados “Questionário pré jogo ar” e “Questionário pré jogo ruído” têm o propósito de recolher dados sobre os conhecimentos prévios dos alunos a cerca das temáticas em estudo bem como das suas competências para a sustentabilidade. Estes questionários foram adaptados através do quadro de referência para as competências da sustentabilidade da União Europeia, o GreenComp. A atividade será realizada em ambiente exterior na cidade de Aveiro e consistirá em desafios de escolha múltipla acompanhados de recursos educativos em Realidade Aumentada, vídeo, imagem e áudio. Os alunos serão acompanhados durante a atividade pelo investigador responsável pela atividade (Diogo Figueiredo), por investigadores do projeto EduCITY e pela professora acompanhante responsável pelos alunos.

Investigador responsável: Diogo Figueiredo (diogo.figueiredo@ua.pt)

Participantes: Alunos da turma alvo que aceitem participar.

Recolha de informação: No final da atividade serão entregues aos alunos os questionários intitulados por “Questionário pós jogo ar” e “Questionário pós jogo ruído”. Estes questionários dividem-se em 3 secções: Secção A é avaliada a opinião dos alunos sobre os recursos educativos desenvolvidos; Secção B é avaliada a opinião dos alunos sobre o uso de sensores de baixo custo durante a atividade; e na secção C tem o objetivo recolher dados sobre os conhecimentos dos alunos a cerca das temáticas em estudo bem como das suas competências para a sustentabilidade depois de realizarem a atividade.

O armazenamento de dados é feito de forma encriptada serão usados apenas para fins académicos e apenas o investigador principal terá acesso. Após a conclusão da investigação (julho 2024) todos os dados serão eliminados.

Confidencialidade: A responsabilidade dos dados recolhidos é do investigador Diogo Figueiredo e estes serão armazenados de forma a garantir a conformidade com a legislação portuguesa (Lei n.º 58/2019) e da União Europeia em matéria de proteção do Regulamento europeu de proteção de

dados (EU). Dados pessoais como caligrafia são armazenados separadamente em locais seguros. Adicionalmente e como parte de estratégia de mitigação de riscos serão implementados procedimentos de backup de dados para garantir a segurança dos mesmos.

Riscos potenciais: Este estudo não apresenta qualquer risco para os participantes (alunos). Na eventualidade de qualquer incidente, furto ou extravio dos dados a entidade supervisora será prontamente notificada sobre a violação dos dados.

Recusa em participar: A participação no estudo é completamente voluntária sendo livre de aceitar ou recusar a participação ou desistir em qualquer momento da sua participação.

Contexto do estudo: Este trabalho é apoiado financeiramente por fundos nacionais através da fct - fundação para a ciência e a tecnologia, i.p., no âmbito da bolsa de investigação com a referência bi/ui57/10394/2022. O projeto educity é financiado por Fundos Nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto PTDC/CED-EDG/0197/2021.

O investigador responsável,

Diogo Figueiredo

Assinado por: **DIOGO ALMEIDA DE FIGUEIREDO**
Num. de Identificação: 14788228
Data: 2024.05.24 11:15:45+01'00'



30-05-2024

É deferido o requerimento, pelo que o estudante Diogo Almeida de Figueiredo, do Mestrado Integrado de Engenharia do Ambiente, da Universidade de Aveiro, podem efetuar a recolha de informação solicitada.

O Diretor:

Assinado por: **JOSÉ MANUEL DA SILVA NUNES**
Num. de Identificação: 08074861
Data: 2024.05.30 23:35:21+01'00'

Anexos

Anexo 1 – Effective communication of scientific data in a citizen science project, the EduCITY

O seguinte artigo foi submetido e apresentado no Encontro Internacional de Educação Ambiental em Guimarães. (Figueiredo, D., Rodrigues, R., Pombo, L., Lopes, M., Rodrigues, S., Santos, M. (no prelo) The EduCITY app with environmental sensors towards education for sustainability. XX Encontro Nacional de Educação em Ciências 2024)



Effective communication of scientific data in a citizen science project, the EduCITY

Diogo Almeida Figueiredo;
Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro
diogo.figueiredo@ua.pt

Lúcia Maria Teixeira Pombo;
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores, Universidade de Aveiro
lpombo@ua.pt

Margarida M. Marques;
Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores, Universidade de Aveiro
marg.marq@ua.pt

Myriam Nunes Lopes;
Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro
myr@ua.pt

Abstract Air pollution, although decreasing, remains a significant risk in European cities and continues to have serious health effects on the population. This issue is well covered in the media but is still misunderstood and raising public awareness remains a challenge. EduCITY is an educational project that uses mobile game-based learning, augmented reality, and low-cost air quality sensors to promote education for sustainability. The project develops interdisciplinary educational games on different sustainability topics. Games related to air pollution can be played using environmental sensors. However, the public often cannot interpret raw scientific data because they do not have the necessary knowledge. Therefore, an air quality index needs to be developed to enable a correct interpretation of the data. This work aims to develop an air quality index that translates quantitative data into qualitative information that can be understood by school-aged population. To this end, a literature review of work on communicating air pollution data and related health effects to the public is presented. The review is conducted using Google search engine (for websites and grey literature) on the following topics: "citizen science", "communication of scientific data", and "air quality index". The result is a framework of current good practices for pollution indices and their communication to the public. Currently, most indices are based on legal values and traffic light-like color scales and are not applicable in the context of citizen science. The newly proposed indices must consider the shorter signal acquisition time of the EduCITY sensors, which differs from the design of most common indices. Based on these results, an air quality index is proposed to inform a school-aged audience in an understandable way about the level of pollution detected by the sensors and their potential health effects.

Keywords: Air Quality Index, Citizen Science, Communication of Scientific Data, Environmental Awareness

Introduction

The world's population is growing rapidly, and it is estimated to have reached 8 billion in 2022 and will reach 10 billion by 2059 (Gaigbe-Togbe et al., 2022). Although cities cover only 2% of the Earth's surface, they are home to 56% of the world's population, and this is expected to rise to 68% by 2050 (Neil et al., 2022). The combination of these two factors leads to a greater concentration of anthropogenic activities in

the urban areas. As these activities generate negative externalities that result in the deterioration of the urban environment, with an increase in problems such as air pollution.

Estimates show that air pollution is the fourth largest risk to human health, surpassed only by high blood pressure, poor dietary habits, and smoking (Juginović et al., 2021). Although air pollution has decreased in most developed countries, it remains a significant problem. According to the World Health Organization (WHO) air quality guidelines, it is estimated that 95% of Europe's urban population is exposed to concentrations of ozone (O₃) above the limit values, 96% for particulate matter 2.5 microns or less in diameter (PM_{2.5}), and 89% for nitrogen dioxide (NO₂) (European Environment Agency (EEA), 2020).

Smart cities address these and other sustainability issues (Addas, 2023). Broadly speaking, the concept refers to cities that use information and communication technologies to improve their services and infrastructure, thereby increasing the overall efficiency of the city. The aim is to create a more livable city, characterized by a clean environment, a sustainable economy, and an improved quality of life (Alawadhi et al., 2012; Sharif & Pokharel, 2022). Environmental sensors are one of the tools used to implement urban pollution reduction strategies.

To develop an action plan to combat environmental pollution, it is necessary to have comprehensive knowledge of the problem to solve (sources, causes, effects, etc.). This is done through environmental monitoring. Only then is it possible to develop a strategy on how to reduce pollution in the most efficient way. Traditional environmental monitoring is carried out using reference methods, which are expensive due to the cost of the equipment and the need for specialized staff to operate it. This high cost limits the ability to carry out environmental monitoring activities and results in monitoring being sparsely distributed in time or space. Air pollution has high temporal and spatial variability, which means that traditional monitoring methods are not sufficient to fully understand them (Gelb & Apparicio, 2020; Hassani et al., 2023).

Over the last decade, advances in low-cost sensing capabilities have enabled a paradigm shift in environmental monitoring, with good sensor performance results (Borrego et al., 2016; Picaud et al., 2020). The ability to carry out sensing activities at low-cost opens new opportunities: an increase in sensing capabilities allowing for higher temporal and spatial resolution, the ability of citizens or communities to take measurements in collaboration with scientific institutions or for personal use, and the ability to use sensors for educational purposes in a wider range of contexts (Picaud et al., 2020).

Now more than ever we are exposed to news about environmental problems, especially air quality. In addition, the effects of air pollution are clear and well documented by scientific research. Yet, public awareness of these issues is far from where it should be, with the public often ignoring their personal exposure, either by denying the negative effects or by neglecting their exposure. In most cases, air pollution is not perceptible to the human eye. Perception of risk is highly dependent on sensory awareness and experience of the effects of such exposure. If pollution cannot be perceived visually, olfactorily, or aurally, its risks are usually not perceived by the public (Marquart et al., 2022). Public awareness is crucial for several reasons, for example, road traffic is the main source of air pollution in cities, so public engagement in the adoption of softer means of mobility is essential to improve environmental quality. A false perception of pollution is an obstacle to the implementation of good practices because of a lack of understanding of the urgency of doing so. The risk of air pollution cannot be fully perceived by the layman, hence the importance of good environmental education on these issues.

The EduCITY project

This work is part of the EduCITY project, an environmental education project funded by FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia (PTDC/CED-EDG/0197/2021). EduCITY uses game-based learning to promote education for sustainability. This project aims to empower participants, including school-age children, to make informed, sustainable decisions by playing games on sustainable development. The games are structured as a quiz with multiple-choice questions. After each question, the user receives immediate feedback, as to whether the question is correct or incorrect. The games are played in urban pathways with questions posed at different points of interest where the user needs to be to answer them. Throughout the game, the user is invited to interact with different resources such as augmented reality, images, and videos. These are used as learning tools, as the resources may contain the answers to the questions. In games related to air quality, there is an option to pair the app with environmental sensors. The sensors will then accompany the users during the game, allowing them to measure two parameters of the environmental quality of their surroundings.



The EduCITY sensors are the Plantower PMS5003, which measures the concentration of particulate matter $PM_{2.5}$ and PM_{10} in $\mu g/m^3$. The sensors are connected to an ESP32 microcontroller, which provides Bluetooth connectivity, displays the sensor's readings, and is coupled to a battery that provides approximately 5 hours of remote use. This equipment is mounted in sensor boxes as shown in Figure .

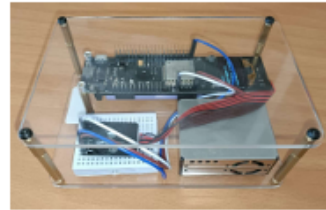


Figure 1- Example of the EduCITY PM Sensor Box

Using the sensors together with the EduCITY app and the educational games allows users to explore their curiosity by observing in the real world what they are learning.

However, the public often lacks the knowledge to interpret raw scientific data (Gupta & Eden, 2022). A concentration of pollutants only means something if you understand it as high, low, or harmful to human health, otherwise, it is just a number. It is therefore necessary to translate the quantitative data into qualitative information, which describes the severity of the pollution and can convey potential health effects. Air quality indices (AQI) are used to estimate the level of risk associated with a given concentration of pollutants. This is usually done using words such as "good" or "moderate" along with traffic light-like color codes (Gupta & Eden, 2022; Sowlat et al., 2011).

Currently, most AQIs are designed based on regulatory values, considering hourly averages. This is not compatible with the EduCITY app and sensors. Games are designed to last approximately one hour, and players are constantly moving between points of interest and sensors that have signal acquisition periods shorter than one hour.

In this sense, this work aims to develop an AQI that enables the interpretation of low-cost sensors data in the EduCITY app.

Methodology

The literature review is developed to summarize current practices in public communication on air quality data via AQI. To this end, a grey literature review is conducted to understand how different projects, governmental agencies or civil society use environmental data to promote public awareness. This search is made in English and Portuguese.

The research question that this study aims to answer is: "What are the current practices in the communication of scientific data to the public from air pollution sensors via indices?"

The search was conducted in December 2023, entering separately the following search equations on Google Search Engine:

- a) "air quality index" OR "air pollution index",
- b) "índice de qualidade do ar" OR "índice de poluição atmosférica".

The review method used is the integrative review adapting the methodology proposed by Tavares De Souza et al. (2010). This methodology was chosen because it enables a creative approach to data collection that enables the generation of new knowledge. This type of review critically looks at existing literature en-

abling the formation of new frameworks or perspectives (Renner et al., 2022) while enabling the combination of different types of studies (Tavares De Souza et al., 2010). For the literature search, the used methodology is adapted from Katelyn Godin et al. (2015).

Searching in platforms like Google Search Engine can be overwhelming due to the number of search results, so it is essential to limit the admitted results by relying on Google to rank results, presenting the most relevant at the top of the list. Due to Google's lack of ability to combine all search terms in one search, there is the need for conducting various searches, making it essential to reduce the number of accepted results in each search. (Godin et al., 2015). This research will be limited to the first 25 results of each entered prompt. The results will be selected according to the criteria presented in Table 1.

Table 1 – Inclusion and exclusion criteria for search results in Google Search Engine.

Inclusion criteria	Exclusion criteria
It concerns the use of at least an index	It does not cover the use of at least an index
It concerns outdoor pollution	Concerning indoor pollution
It concerns the urban environment	It does not cover the urban environment
It concerns the use of environmental data to improve public awareness	It does not concern the use of environmental data to improve public awareness
It presents the most updated version of the information	It presents an outdated version of the information

Results

The search equations a) and b) resulted, after selection according to the exclusion criteria and exclusion of duplicates, in 16 websites related to air quality. The results of this search are summarized in Tables 2 and 3. These tables summarize the AQI used in each website with a focus on PM_{2.5} and PM₁₀ because these are the pollutants of interest for the EduCITY project.

Table 2. Summary of the results of the search in English related to air quality.

Website	Index					Method
	Description	Concentration interval [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Recommended Actions/ Health Advice/ *PM specific recommendations.		
		PM _{2.5}	PM ₁₀	At-risk individuals	General population	
<i>(World's Air Pollution: Real-Time Air Quality Index, n.d.) The used index is the US EPA (United States Environmental Protection Agency) Air Quality Index</i>						
<i>(IQAir, n.d.) The used index is the USA EPA Air Quality Index</i>						
US EPA - Air Quality Index (AQI) Basics (U.S. EPA, n.d.)	Good	0-12	0-54	*None		The average period considered for the index depends on the variability of the air quality. More variability means shorter average. Index is calculated considering the worst pollutant.
	Moderate	12.1-35.4	55-154	**Should consider reducing prolonged or heavy exertion"	-	
	Unhealthy for sensitive groups	35.5-55.4	155-254	**Should reduce prolonged or heavy exertion."	-	
	Unhealthy	55.5-150.4	255-354	**Should avoid prolonged or heavy exertion."	**Should reduce prolonged or heavy exertion."	
	Very Unhealthy	150.5-250.4	355-424	**Should avoid all physical activity outdoors"	**Should avoid prolonged or heavy exertion."	
	Hazardous	250.5-500.4	425-604	**Should remain indoors and keep activity levels low."	**Avoid all physical activity outdoors."	
	Good	0-10	0-20	"The air quality is good."		



"European Air Quality Index: current air quality information at your fingertips" (European Environmental Agency, n.d.)	Fair	10-20	20-40	"Enjoy your usual outdoor activities."		PM _{2.5} bands of concentration are based on WHO short-term risks. PM ₁₀ bands of concentration are defined by a 1:2 ratio [PM _{2.5} :PM ₁₀]. Overall index corresponds to the worst score. A 24h-mean is used to calculate the index for for PM.	
	Moderate	20-25	40-50	"Consider reducing intense outdoor activities if you experience symptoms."	"Enjoy your usual outdoor activities."		
	Poor	25-50	50-100	"Consider reducing physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms."	"Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms such as sore eyes, a cough, or sore throat"		
	Very Poor	50-75	100-150	"Reduce physical activities, particularly outdoors, especially if you experience symptoms."	"Consider reducing intense activities outdoors, if you experience symptoms"		
	Extremely Poor	75-800	150-1200	"Avoid physical activities outdoors."	"Reduce physical activities outdoors."		
AQI (AIQ, n.d.)	Good	See the USA EPA Air Quality Index		"The air is fresh and free from toxins. People are not exposed to any health risk"		-	
	Moderate			"Mild threat to sensitive individuals"	"Acceptable air quality for healthy adults"		
	Poor			"Inhaling such air can cause slight discomfort and difficulty in breathing."			
	Unhealthy			Problematic for at-risk individuals			
	Severe			"Exposure to air can cause chronic morbidities or even organ impairment."			
	Hazardous			"Beware! Your life is in danger. Prolonged exposure can lead to premature death."			
What is the Daily Air Quality Index? (UK Department for Environment Food & Rural Affairs, n.d.)	Low	1	0-11	0-16	"Enjoy your usual outdoor activities."	"Enjoy your usual outdoor activities."	The concentration of each pollutant is compared to the respective interval (based on recommendation by the Committee on Medical Effects of Air Pollutants). The overall index corresponds to the worst score. AQI is calculated using a 24-hour running mean for PM _{2.4} and PM ₁₀ .
		2	13-23	17-33			
		3	24-35	34-50			
	Moderate	4	36-41	51-58	"People who experience symptoms should reduce strenuous physical activity, particularly outdoors."	"Enjoy your usual outdoor activities."	
		5	42-47	59-66			
		6	48-53	67-75			
	High	7	54-58	76-83	"Reduce strenuous physical exertion, particularly outdoors (...). People with asthma may (...) use their inhaler more often."	"Anyone experiencing discomfort such as sore eyes, cough or sore throat should reduce activity, particularly outdoors."	
		8	59-64	84-91			
		9	65-70	92-100			
	Very High	10	71+	101+	"Should avoid strenuous physical activity."	"Reduce physical exertion, particularly outdoors, especially if you experience symptoms"	
Spare the air - San Francisco Bay Area Air Quality Status (Bay Area Air Quality Management District, n.d.) The used index is the USA EPA Air Quality Index							
Air quality index - Air Quality Index for Western Australia	Good	0-25	0-50	**No change needed to your normal outdoor activities"		AQI for PM ₁₀ and PM _{2.5} is based on clock hour aver-	
	Fair	25-50	50-100	**Reduce outdoor physical activity if you develop symptoms (...). Follow the treatment plan recommended by your doctor."	**No change needed to your normal outdoor activities"		

(Government of Western Australia Department of Water and Environmental Regulation, 2023)	Poor	50-100	100-200	**Avoid outdoor physical activity if you develop symptoms (...). When indoors, close windows and doors (...). Follow your treatment plan (...).	**Reduce outdoor physical activity if you develop symptoms like cough or shortness of breath.	ages. AQIs represent the concentration of the gaseous pollutants based on National Environment Protection (Ambient Air Quality) Standard reached for each gas pollutant and Health advice on one-hour averaged particle concentrations.	
	Very Poor	100-300	200-600	**Stay indoors as much as possible with windows and doors closed (...). If you feel (...) uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (air-conditioned building) (...). Actively monitor symptoms and follow the treatment plan (...).	**Avoid outdoor physical activity if you develop symptoms (...). "When indoors, close windows and doors until outdoor air quality is better."		
	Extremely Poor	300+	600+	**Stay indoors as much as possible (...). If you feel (...) uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (air-conditioned building) (...). Actively monitor symptoms and follow any treatment plan (...).	**Stay indoors as much as possible (...). If you feel that the air in your home is uncomfortable, consider going to a place with cleaner air (air-conditioned building) (...).		
Air Quality Index (Finnish Meteorological Institute, n.d.)	Good	0-10	0-20	"No known impacts."		"Is an hourly index which describes the air quality today (...). (...) the highest sub-index determines the overall index (...)."	
	Satisfactory	10-25	20-50	"Very unlikely"			
	Fair	25-50	50-	"Unlikely"			
	Poor	50-75	100-200	"Sensitive individuals may experience adverse effects"			
	Very poor	75+	200+	"Sensitive population may experience adverse effects"			
British Columbia - Air Quality Health Index	Low Risk	1	0-5	0-10	Enjoy your usual outdoor activities.		"Reports on the health risks posed by a mixture of pollutants, including PM2.5 Ground-level"
		2	15-5	10-20			
		3					
	Moderate Risk	4	15-25	20-30	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you are experiencing symptoms.	No need to modify your usual outdoor activities unless you experience symptoms.	
		5	25-40	30-40			
		6	40-60	40-50			
	High Risk	7	60-80	50-150	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also take it easy.	Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.	
		8	60-80				
		9	80-100				
		10	250-500				
Very High	+	500+	150+	Avoid strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also avoid outdoor physical exertion.	Reduce or reschedule strenuous activities outdoors, especially if you experience symptoms.		

Table 2. Summary of the results of the search in Portuguese related to air quality.

Website	Index					Method
	Description	Concentration interval [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Recommended Actions/ Health Advice/ *PM specific recommendations.		
		PM _{2.5}	PM ₁₀	At-risk individuals	General population	
Very Good	0-10	0-20	None		The concentration of each pollutant	



Relatório do Estado do Ambiente- Índice de Qualidade do Ar (APA, 2023)	Good	11-20	21-35	None		is compared to the respective intervals. The overall index corresponds to the worst classification. Based on European legislation (2001 to 2010) and revised according to new WHO recommendations on pollutants concentration.	
	Average	21-25	36-50	Very sensitive people, with respiratory diseases, should limit outdoor activities.	None		
	Weak	26-50	51-100	Should avoid intense outdoor physical activity. Respiratory and cardiovascular patients should follow the treatment and seek extra care in the case of symptoms.	Should avoid other risk factors.		
	Bad	51-8000	101-1200	Should stay at home with the windows closed.	Avoid outdoor physical exertion.		
QualAr - Informação sobre qualidade do ar (APA, n.d.) The used index is the Relatório do Estado do Ambiente- Índice de Qualidade do Ar							
Relatório do estado do ambiente dos Açores (Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas, n.d.) The used index is the Relatório do Estado do Ambiente- Índice de Qualidade do Ar							
Índice de Qualidade do Ar – IQAr (Instituto Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos (Iema), 2023)	Good	0-25	0-50	May present symptoms (dry cough, tiredness).	No effects.	The concentration of each pollutant is compared to the index intervals. The overall index corresponds to the worst classification obtained. Health effects of air quality as established in the law decree Decreto Estadual Nº 3463-R/2013.	
	Moderate	25-50	50-100	Extremely sensitive groups may experience symptoms and should avoid prolonged or strenuous outdoor activities.			
	Bad	50-75	100-150	May present more serious health effects and should avoid prolonged or strenuous outdoor activities.			May present symptoms such as dry cough and tiredness.
	Very Bad	75-125	150-250	May present more serious health effects and should avoid prolonged or strenuous outdoor activities.			May present worsening of symptoms (burning in the eyes nose and throat and shortness of breath). Should reduce outdoor activities.
	Terrible	125+	250+	Increase in premature death. Should avoid outdoor activities.			Increase in the risk of cardiovascular and respiratory diseases. Should avoid outdoor activities.
Qualidade do Ar Atual (Accuweather, n.d.)	Excellent	0-5	0-15	"No risk"		The overall index corresponds to the worst classification obtained considering all measured pollutants. Health thresholds and limit values from WHO guidelines, legislation, and EPA guidelines from multiple	
	Fair	5-15	15-45	"Risk in case of chronic exposure. (...) Minor to moderate symptoms from long-term exposure."	"The air quality is generally acceptable"		
	Poor	15-30	45-80	"(...) unhealthy for sensitive groups."	"Reduce time spent outside if you are feeling symptoms(...)"		
	Unhealthy	30-60	80-160	"Health effects can be immediately felt by sensitive groups."	"May experience difficulty breathing and throat irritation with prolonged exposure. Limit outdoor activity"		

	Very im- probable	60-150	160-400	"Health effects will be immediately felt by sensitive groups and should avoid outdoor activity."	"May experience difficulty breathing and throat irritation. consider staying indoor (...)."	countries and scientific studies.
	Dangerous	150+	400+	"Any exposure to the air, even for a few minutes, can lead to serious health effects on everybody. Avoid outdoor activities."		
IQAr - Índice de Qualidade do Ar (Secretaria do Meio Ambiente e Infra-estrutura Governo de Rio Grande do Sul, n.d.)	Good	0-25	0-50	Negligible effects.		Index intervals are based on Brazilian National Patterns of Air Quality. The overall index corresponds to the worst classification obtained. The index is based on 24-hour averages.
	Regular	26-60	51-120	May present symptoms like chest pain, dry cough, and tiredness.	-	
	Inappropriate	61-124	121-249	Symptoms are worsened. Should reduce outdoor strenuous activities.	May present symptoms. Should reduce outdoor strenuous activities.	
	Bad	125-209	250-419	Avoid areas with high intensity of traffic if symptoms are worsened. Should avoid outdoor strenuous activities without due precautions in proximity of industrial areas.		
	Terrible	210-249	420-499	Risk of premature death. Should avoid outdoor strenuous activities without due precautions and avoid areas with high intensity of traffic or in proximity of industrial areas.	Significative increase of symptoms. Should avoid outdoor strenuous activities without due precautions and avoid areas with high intensity of traffic or in proximity of industrial areas.	
	Critical	250+	500+	Increased risk of premature death. Should be especially careful.	Serious risk of manifestation of respiratory disease. Should avoid outdoor strenuous activities without due precautions and avoid areas with high intensity of traffic or in proximity of industrial areas.	

The search allowed the identification of 16 results that use AQI to communicate air quality data to the general population. These indices differed by the colors used, the concentration intervals considered, the health advice, and the number of intervals. Some of the indices opt to divide the index only by categories while others also attribute number scales to convey the severity (from 0 to 10; or from 0 to 500).

The number of intervals per index varies from four to six. The two indices that have four intervals (low, moderate, high, and very high) further subdivide them into subindices that are identified by a different color and a number scale (from 1 to 10). The four indexes that have five intervals divide one of the previously mentioned intervals. Five indexes have six categories, they divide two of the categories. The division of intervals enables health advice that is better suited to the potential health effects of the pollutant. In low concentration intervals, the minimal threshold that may cause harm is better defined, and in higher concentration intervals the severity of different concentrations of pollutants may be better communicated. Some indexes have specific health advice for specific pollutants, like particulate matter. In general, the colors chosen to illustrate the risk vary from lighter colors (like green, yellow, and orange) to darker colors (like red, purple, brown, and black). There is great variability in the colors used. In some cases, blue substitutes green at low concentration intervals, and bright colors, like pink, might be used to illustrate high concentrations of pollutants.

The indices are based on WHO guidelines regarding health consequences of air pollution, US EPA, EEA, or other environmental protection agencies guidelines, and legislation. These guidelines and the indexes that are based upon them consider the health effects of at least 1 hour exposure to air pollutants, meaning the described health effects of at least one hour exposure to air pollution. Each index considers different time averages, and some indices alternate between shorter-term averages when the air quality is more variable and longer-term averages when air quality is more constant. The indices are developed for periods equal



to or greater than 1 hour. When using low-cost sensors under the conditions of the EDUCITY project, measurements are made for periods of minutes. Therefore, it is necessary to consider the risk level information they communicate as indicative of short-term exposure.

Most indices divide health advice for the general population and for sensitive groups. Despite several differences between the different health recommendations, it can be summed up in some groups. The health advice for the first concentration interval (very good/ good) is usually regarded as having no or very little health impacts and good for outdoor activities. In the next interval (regular/ moderate) sensitive population might experience light symptoms and are advised to limit strenuous outdoor activities with no advice for the general population. In the next level, (bad/ weak) sensitive group symptoms are worsened and should be observed, reduction of strenuous outdoor activities is recommended, and heavily polluted areas and other risk factors should be avoided, general population may have symptoms and, in that case, are advised to limit extraneous outdoor activities. In the next level (bad/ very bad) sensitive group symptoms are worsened and there is an increase in premature death, sensitive groups should limit all strenuous activities, observe symptoms, follow prescribed medical treatments, and stay indoors as much as possible. In the general population symptoms are worsened should avoid strenuous activities, limit outdoor time, avoid other risk factors, and when indoor close the doors and windows until air quality is better for sensitive groups. In some cases, there is an additional category (dangerous/ very critical) for cases in which even a few minutes of exposure can have health effects and increase the risk of premature death. This is more common in indexes designed for heavily polluted regions. Some indices have health advice specific for certain pollutants like PM describing the health effects of exposure to such pollutants.

All the indices consider several pollutants for its calculation, but the considered overall index corresponds to the worst classification of all pollutants. The US EPA AQI is the most used index (6 of the 16 results), being used with some adaptations or integrally.

Discussion

An AQI is designed to communicate air quality forecasts and measurements to the population. When designing it there is the need to understand the target audience. In a heavily polluted environment, an index that uses concentration intervals designed for a low pollution environment may be ineffective. In this case, the reported index would be critical/ very bad most of the time, and the audience would have been advised to take extreme precautions. This may result in a disregard of the index because of its impracticability. At the same time, the index must reflect the health impacts of pollution exposure. An AQI is designed based on scientific knowledge, but the execution needs to consider its effectiveness in communicating with the audience. For these reasons, there is great variability between several AQI worldwide.

When designing an AQI several factors are usually taken into consideration: current knowledge of the health impacts of the exposure to air pollution, legislation regarding air quality guidelines, air pollution patterns of the area of interest, and the target audience of the index.

EduCITY AQI will be used in Aveiro, a medium size city in the center of Portugal, by school-aged children. The index must consider the WHO air quality related health guidelines, European air quality guidelines, Portuguese references regarding AQI, the age of the audience (school-aged children), the measured pollutants, and the characteristics of the EduCITY sensors.

The concentration intervals will be developed by harmonizing the EEA AQI, which observes WHO latest recommendations and European guidelines, with the Portuguese EPA AQI in order to reduce the differences between the user experience with EduCITY AQI and the Portuguese official index. The health advice will be developed considering these two indices, US EPA and Department of Water and Environmental Regulation of the Government of Western Australia PM specific health advice. Health advice/ recommended actions will be developed for the target audience. Finally, the health advice needs to reflect the exposure time that they are referring to and the difference to the data that is being used to calculate the index.

The AQI proposed for the EduCITY app is illustrated in Table 4.

Table 4. Air quality index proposal for the EduCITY app

De- scrip- tion	Concentration interval [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		Recommended Actions/ Health Advice
	$\text{PM}_{2.5}$	PM_{10}	
Very Good	0-10	0-20	Air quality is very good. No health risks.
Good	11-21	21-40	Enjoy your day as usual.
Moder- ate	21-25	41-50	Sensitive people (ex. respiratory diseases) may experience symptoms in prolonged exposure (>1h). Reduce intense outdoor activities if experiencing symptoms.
Poor	26-50	51-100	Prolonged exposure (>1h) may worsen symptoms. Risk groups (ex. respiratory diseases) should avoid outdoor physical activities. General population should avoid other risks and reduce outdoor physical activities.
Bad	50-75	101-150	Risk groups and others, experiencing symptoms, should stay indoors as much as possible. Outdoor physical activities should be avoided.
Very Bad	75-800	151- 1200	Dangerous for risk groups (avoid physical activity). Stay indoor as much as possible with windows closed especially if experiencing symptoms.

Conclusion

Air pollution continues to be one of the greatest health risks to the urban population, but it remains misunderstood despite its impacts. Smart cities with environmental monitoring capabilities may play a crucial role in identifying such problems and developing efficient solutions. Current air quality monitoring systems are expensive, limiting monitoring capabilities. The results of these monitoring activities are slow and inefficient in raising public awareness in the population. Citizen science and low-cost sensors have demonstrated great potential for improving monitoring capabilities and raising population awareness.

The EduCITY project uses GBL to promote education for sustainability. The EduCITY app can be connected to low-cost environmental sensors, combining GBL with citizen science. When presented with scientific data, citizens may not have the necessary knowledge to interpret it. Therefore, it is essential to convey the results of the low-cost sensors in an understandable way. AQI represents a way of translating the sensors' quantitative information into a qualitative description that relates it in an understandable way to health risks and recommendations.

A grey literature search was conducted to understand the current practices in the communication of results from air quality sensors using indices. The search resulted in 16 indices that varied in the number of intervals, the subdivision of intervals, the colors used to illustrate the risk scale, the health effects/advice, and the description of air quality. Most of the indices are based on WHO air pollution guidelines and local air quality guidelines, legislation, and patterns. These parameters are based on evidence of the effects of at least one hour of exposure to pollutants which is not compatible with results from low-cost sensors, that typically have shorter acquisition periods. This search resulted in a set of guidelines that were followed to develop an AQI adjusted to the needs of the EduCITY project.

In future work a scientific literature search should be made to complement this work, the index should be evaluated for its efficacy in the communication of scientific data and for its potential in environmental education.

Acknowledgements

This work is financially supported by National Funds through FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., within the scope of a Research Scholarship with the reference BI/UI57/10394/2022. The EduCITY project is funded by National Funds through the FCT - Foundation for Science and Technology under the PTDC/CED-EDG/0197/2021 project.



Bibliographic references

- Accuweather. (n.d.). *AccuWeather - Qualidade do Ar Atual*. Retrieved December 20, 2023, from <https://www.accuweather.com/pt/pt/lisbon/274087/air-quality-index/274087>
- AIQ. (n.d.). Retrieved December 20, 2023, from <https://www.aqi.in/>
- Alawadhi, S., Aldama-Nalda, A., Chourabi, H., Gil-Garcia, J. R., Leung, S., Mellouli, S., Nam, T., Pardo, T. A., Scholl, H. J., & Walker, S. (2012). LNCS 7443 - Building Understanding of Smart City Initiatives. In *LNCS* (Vol. 7443).
- APA. (n.d.). *QualAR - Informação sobre qualidade do ar*. Retrieved December 20, 2023, from <https://qualar.apambiente.pt/>
- APA. (2023). *Relatório do Estado do Ambiente- Índice de Qualidade do Ar*. <https://rea.apambiente.pt/content/%C3%AIndice-de-qualidade-do-ar>
- Bay Area Air Quality Management District. (n.d.). *Spare the air - San Francisco Bay Area Air Quality Status*. Retrieved December 20, 2023, from <https://www.sparetheair.org/>
- Borrego, C., Costa, A. M., Ginja, J., Amorim, M., Coutinho, M., Karatzas, K., Sioumis, T., Katsifarakis, N., Konstantinidis, K., De Vito, S., Esposito, E., Smith, P., André, N., Gérard, P., Francis, L. A., Castell, N., Schneider, P., Viana, M., Minguillón, M. C., ... Penza, M. (2016). Assessment of air quality micro-sensors versus reference methods: The EuNetAir joint exercise. *Atmospheric Environment*, *147*, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.09.050>
- Direção Regional do Ambiente e Alterações Climáticas. (n.d.). *Relatório do Estado do Ambiente dos Açores - Qualidade do Ar e Controlo da Poluição Atmosférica*. Retrieved December 20, 2023, from <https://rea.azores.gov.pt/reaa/10/qualidade-do-ar-e-controlo-da-poluicao-atmos/280/indice-de-qualidade-do-ar>
- European Environment Agency (EEA). (2020). Air quality in Europe - 2020 report. In *EEA Report* (Issue No 09/2020). <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>
- European Environmental Agency. (n.d.). *European Air Quality Index*. Retrieved December 20, 2023, from <https://airindex.eea.europa.eu/Map/AQI/Viewer/>
- Finnish Meteorological Institute. (n.d.). *Finnish Meteorological Institute - Air Quality Index*. Retrieved December 20, 2023, from <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/air-quality-index>
- Gaighe-Togbe, V., Bassarsky, L., Gu, D., Spoorenberg, T., & Zeifman, L. (2022). *World Population Prospects 2022*. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf
- Gelb, J., & Apparicio, P. (2020). Modelling cyclists' multi-exposure to air and noise pollution with low-cost sensors-The case of Paris. *Atmosphere*, *11*(4). <https://doi.org/10.3390/ATMOS11040422>
- Godin, K., Stapleton, J., Kirkpatrick, S. I., Hanning, R. M., & Leatherdale, S. T. (2015). Applying systematic review search methods to the grey literature: A case study examining guidelines for school-based breakfast programs in Canada. *Systematic Reviews*, *4*(1). <https://doi.org/10.1186/s13643-015-0125-0>
- Government of Western Australia Department of Water and Environmental Regulation. (2023). *Air quality index - Air Quality Index for Western Australia*. Air Quality Index- Air Quality Index for Western Australia. <https://www.der.wa.gov.au/your-environment/air/air-quality-index>
- Gupta, M., & Eden, G. (2022). The Human-Air Interface: Responding To Poor Air Quality Through Lived Experience and Digital Information. *DIS 2022 - Proceedings of the 2022 ACM Designing Interactive Systems Conference: Digital Wellbeing*, 1085–1098. <https://doi.org/10.1145/3532106.3533563>

- Hassani, A., Castell, N., Watne, Å. K., & Schneider, P. (2023). Citizen-operated mobile low-cost sensors for urban PM_{2.5} monitoring: field calibration, uncertainty estimation, and application. *Sustainable Cities and Society*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104607>
- Instituto Estadual De Meio Ambiente E Recursos Hídricos (Iema). (2023). *Qualidade do Ar - Índice de Qualidade do Ar - IQAr*. <https://iema.es.gov.br/qualidadedoar/indicedequalidadedoar>
- IQAir. (n.d.). *IQAir- Air quality in Porto*. Retrieved December 20, 2023, from <https://www.iqair.com/portugal/porto>
- Juginović, A., Vuković, M., Aranza, I., & Biloš, V. (2021). Health impacts of air pollution exposure from 1990 to 2019 in 43 European countries. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01802-5>
- Marquart, H., Stark, K., & Jarass, J. (2022). How are air pollution and noise perceived en route? Investigating cyclists' and pedestrians' personal exposure, wellbeing and practices during commute. In *Journal of Transport and Health* (Vol. 24). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2021.101325>
- Neil, K., Ben, A., Raymond, O. O., Matthijs, van O., Mary, M., Judith, O. M., Godwin, A., Vanesa, C. B., Merlin, C., Lewis, D., Simon, J., Ayyoob, S., Alice, S., David, S., Pietro, F., Sergio, F., Thomas, K., Michele, M., Marcello, S., ... Hita, U. (2022). *Envisaging the Future of Cities*. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf
- Picaut, J., Can, A., Fortin, N., Ardouin, J., & Lagrange, M. (2020). Low-cost sensors for urban noise monitoring networks—A literature review. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20082256>
- Renner, A., Muller, J., & Theissler, A. (2022). State-of-the-art on writing a literature review: An overview of types and components. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, 2022-March, 1895-1902*. <https://doi.org/10.1109/EDUCON52537.2022.9766503>
- Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura Governo de Rio Grande do Sul. (n.d.). *IQAr - Índice de Qualidade do Ar*. Retrieved December 20, 2023, from <https://fepam.rs.gov.br/iqar-idade-de-qualidade-do-ar>
- Sharif, R. Al, & Pokharel, S. (2022). Smart City Dimensions and Associated Risks: Review of literature. In *Sustainable Cities and Society* (Vol. 77). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103542>
- Sowlat, M. H., Gharibi, H., Yunesian, M., Tayefeh Mahmoudi, M., & Lotfi, S. (2011). A novel, fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment. *Atmospheric Environment*, 45(12), 2050–2059. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.01.060>
- Tavares De Souza, M., Dias Da Silva, M., & De Carvalho, R. (2010). *Revisão integrativa: o que é e como fazer Integrative review: what is it? How to do it?* (Vol. 8, Issue 1).
- UK Department for Environment Food & Rural Affairs. (n.d.). *What is the Daily Air Quality Index?* Retrieved December 20, 2023, from <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info>
- U.S. EPA. (n.d.). *Air Quality Index (AQI) Basics*. Retrieved December 20, 2023, from <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>
- World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index*. (n.d.). Retrieved December 20, 2023, from <https://waqi.info/#/c/7.458/8.909/2.8z>

Anexo 2 – Conhecimentos, aptidões e atitudes referentes às competências da sustentabilidade adaptadas a partir do GreenComp

Competência	Conhecimentos:	Aptidões:	Atitudes:
1	Conhece as principais visões sobre a sustentabilidade: antropocentrismo, tecnocentrismo e ecocentrismo e como influenciam pressupostos e argumentos.	É capaz de articular e negociar valores, princípios e objetivos de sustentabilidade, enquanto reconhece diferentes pontos de vista.	É propenso a agir em conformidade com os valores e princípios da sustentabilidade.
2	Sabe que os conceitos éticos e de justiça para as gerações atuais e futuras estão relacionados com a proteção da natureza.	É capaz de aplicar a equidade e a justiça às gerações atuais e futuras como critérios para a preservação do ambiente e a utilização de fontes naturais.	Está empenhado em respeitar os interesses das gerações futuras.
3	Sabe que o nosso bem-estar, a nossa saúde e a nossa integridade dependem do bem-estar da natureza.	É capaz de avaliar o seu próprio impacto na natureza e considerar a proteção da natureza uma tarefa essencial para cada indivíduo.	Preocupa-se com a existência de uma relação harmoniosa entre a natureza e os seres humanos.
4	Sabe que todas as ações humanas têm impactos ambientais, sociais, culturais e económicos.	É capaz de descrever a sustentabilidade como um conceito holístico que inclui questões ambientais, económicas, sociais e culturais.	Manifesta preocupação com os impactos a curto e longo prazo das ações pessoais dos outros e no planeta.
5	Sabe que as alegações de sustentabilidade sem provas sólidas são frequentemente meras estratégias de comunicação, também conhecidas como branqueamento ecológico.	É capaz de analisar e avaliar argumentos, ideias, ações e cenários para determinar se estão em conformidade com os dados e os valores em termos de sustentabilidade.	Confia na ciência mesmo quando faltam alguns dos conhecimentos necessários para compreender plenamente as alegações científicas.
6	Sabe que, para identificar medidas justas e inclusivas, é necessário analisar os problemas de sustentabilidade a partir dos diferentes pontos de vista das partes interessadas.	É capaz de estabelecer uma abordagem transdisciplinar para enquadrar os desafios atuais e potenciais em matéria de sustentabilidade.	Ouve ativamente e mostra empatia quando colabora com outros para enquadrar os desafios atuais e potenciais em matéria de sustentabilidade.

7	Sabe a diferença entre os futuros esperados, preferidos e alternativos para os cenários de suscetibilidade.	É capaz de prever futuros alternativos para a sustentabilidade baseados na ciência, na criatividade e nos valores para a sustentabilidade.	Está ciente de que as consequências previstas para si próprio e para a comunidade podem influenciar as preferências por determinados cenários em detrimento de outros.
8	Sabe que as ações humanas podem ter consequências imprevisíveis, incertas e complexas para o ambiente.	É capaz de ter em conta as circunstâncias locais quando se trata de questões e oportunidades de sustentabilidade.	Está disposto a pôr termo a práticas não sustentáveis e a tentar soluções alternativas.
9	Sabe que os problemas de sustentabilidade devem ser resolvidos através da combinação de diferentes disciplinas, culturas do conhecimento e pontos de vista divergentes para iniciar uma mudança sistémica.	É capaz de sintetizar informações e dados relacionados com a sustentabilidade de diferentes disciplinas.	Está empenhado em ter em conta os desafios e as oportunidades em termos de sustentabilidade sob diferentes ângulos.
10	Conhece as políticas que atribuem responsabilidade por danos ambientais (princípio do «poluidor-pagador»).	Capaz de identificar as partes interessadas sociais, políticas e económicas relevantes da própria comunidade e região para abordar um problema de sustentabilidade.	Exige a responsabilização política por comportamentos não sustentáveis.
11	Sabe como trabalhar com diversos participantes para criar visões inclusivas para um futuro mais sustentável.	É capaz de criar processos transparentes, inclusivos e orientados para a comunidade.	Está disposto a envolver-se com outros para desafiar o status quo.
12	Sabe que devem ser tomadas medidas preventivas sempre que determinadas ações ou inações possam prejudicar a saúde humana e todas as formas de vida (princípio da precaução).	É capaz de agir rapidamente, mesmo face a incertezas e a acontecimentos imprevistos, tendo em conta o princípio da precaução	Sente-se confiante em prever e influenciar mudanças sustentáveis.

Anexo 3 - The EduCITY app with environmental sensors towards education for sustainability

O seguinte artigo foi submissão e apresentado no XX Encontro Nacional de Educação em Ciências, no dia 19 de janeiro na Universidade da Beira Interior na Covilhã (Figueiredo, D., Pombo, L., M. Marques, M., & Lopes, M. (no prelo). Effective communication of scientific data in a citizen science project, the EduCITY. Encontro Internacional de Educação Ambiental 2024.)

The EduCITY app with environmental sensors towards education for sustainability

Diogo Figueiredo¹, Rita Rodrigues², Lúcia Pombo³, Myriam Lopes⁴, Sónia Rodrigues⁵ e Manuel Santos⁶

¹Departamento de Ambiente e Ordenamento (Universidade de Aveiro, Portugal), diogo.figueiredo@ua.pt

²CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia (Universidade de Aveiro, Portugal), anarita.mrodrigues@ua.pt

³CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia (Universidade de Aveiro, Portugal), lpombo@ua.pt

⁴CESAM, Departamento de Ambiente e Ordenamento, (Universidade de Aveiro, Portugal), myr@ua.pt

⁵CESAM, Departamento de Ambiente e Ordenamento, (Universidade de Aveiro, Portugal), smorais@ua.pt

⁶CIDTFF, Departamento de Educação e Psicologia (Universidade de Aveiro, Portugal), mjssantos@ua.pt

Resumo

Os problemas ambientais têm grandes impactos na vida e na saúde da população urbana. Aumentar a consciencialização para estes problemas continua a ser um desafio. Nesse sentido, tem crescido o uso de sensores de baixo custo. Esses sensores podem ser integrados em ferramentas educativas, como a aplicação EduCITY, um projeto de educação ambiental financiado pela FCT. Este utiliza gamificação e recursos multimédia e interativos para promover a sustentabilidade. Os sensores ambientais de baixo custo para a poluição do ar e ruído serão utilizados com a aplicação, apoiando questionários jogados em percursos urbanos. O objetivo deste trabalho é perceber de que forma esta aplicação e o uso de sensores de baixo custo podem contribuir para a educação ambiental. Os jogos serão testados por crianças em idade escolar e o impacto será avaliado através de questionários e grelhas de observação.

Palavras-chave: Sensores de baixo custo, educação ambiental, game-based learning, sustentabilidade, ciência cidadã.

Abstract

Environmental problems have significant impacts on the lives and health of urban populations. Raising public awareness of such issues remains a challenge. To tackle this issue, an increasing number of citizen science projects are using low-cost sensors. These sensors can be integrated into educational tools like the EduCITY app, which is an environmental education project funded by FCT. EduCITY uses gamification, and other multimedia and interactive resources to promote sustainability. The low-cost environmental sensors for air and noise pollution will be used with the app supporting quizzes played on urban trails. The objective of this work is to understand how this app and the use of mobile low-cost sensors can contribute to environmental education. The games will be tested by school-aged children and their impact will be assessed using questionnaires and observation grids.

Keywords: Low-cost sensors, environmental education, game-based learning, sustainability, citizen science.

1. Introduction

Cities and Environmental Problems

It is estimated that the world population reached 8 billion people in 2022, and it is expected to rise to 10 billion by 2059 (Gaigbe-Togbe et al., 2022). Today, even though cities represent only 2% of the Earth's surface, around 56% of the world's population lives in them, and in 2050 this number is estimated to rise to 68% (AIDousari et al., 2022). Cities are major economic centers contributing to about 80% of the world's Gross Domestic Product (GDP). The concentration of economic activities also leads to the consumption of 75% of energy-related greenhouse gas emissions and 60% of resource consumption (Arias et al., 2022). High population density leads to a concentration of anthropic activities. These activities have impacts, such as consumption of resources, waste production, and emission of pollutants, which lead to the degradation of the environmental quality of cities. Thus, cities are generally places with poor environmental quality (air and noise pollution) and high populational density. These environmental problems have several consequences, such as increased mortality, morbidity, increased risk of respiratory and cardiovascular diseases, loss of biodiversity, and decreased number of healthy life years.

Air pollution is one of the main environmental threats to human health. According to the European Environmental Agency (EEA), the urban population exposed to concentrations of O₃ exceeding World Health Organization (WHO) limit values is 95%, with 96% in the case of PM_{2.5}, 71% for PM₁₀ and 89% for NO₂ (González Ortiz et al., 2020). Exposure to air pollution can have health consequences such as premature mortality and morbidity, as well as respiratory and cardiovascular diseases (Santiago et al., 2022). Short-term exposure to air pollution has been shown to have several impacts on respiratory health, arterial hypertension or heart attacks, and increased mortality from cardiovascular disease [6]. The health risks

to mitigate the risks of noise pollution. The next topic in this world describes the current problems in public awareness, particularly air pollution.

Current Problems In Public Awareness

Even though there is the understanding that community awareness is essential for the resolution of urban environmental problems and despite numerous reports published on this topic it continues to be a misunderstood problem in our society with little attention being paid at the political level. Nowadays public perception of air quality is more influenced by empirical knowledge like perceptual cues, such as the presence of precursors, and less by actual knowledge about air quality (Bickerstaff & Walker, 2001). This leads to the perception of bad air quality being severely affected by the level of exposure or risk associated with the individual. These wrong perceptions result in a reluctance to recognize bad air quality, for example (Bickerstaff & Walker, 2001). Furthermore, the impacts of air pollution are perceived as societal or only affecting others leaving personal impacts disregarded. People often show more concern about air pollution consequences on the health of their relatives than with the effects on their health (Bickerstaff & Walker, 2001). This information highlights the importance of enhancing the public perception of their surrounding environment to better understand its characteristics and influences at a personal level. Therefore, it is essential to engage with people at the local level considering context, culture, and people's motivations, goals, and values rethinking the way environmental problems are communicated to the public (Bickerstaff & Walker, 2001).

Citizen Science (CS)

The impacts of modern society, like pollution and climate change, have never been more present in our daily lives, in the news, on social media, or even in advertising. However, this knowledge often doesn't translate to awareness or actions: "people tend to say that they are concerned, especially when they are not able to immediately experience the effects of their behaviour" (Koroleva & Novak, 2020). From this concern emerges the importance of environmental monitoring. For policymakers, it is important to know how to act to tackle environmental problems.

For the public, knowledge about their exposure to environmental pollution and the consequences of their actions may motivate them to minimize their exposure and reduce their impact (Bosello et al., 2020).

In recent years there has been increasing interest in abandoning the top-down approach regarding environmental monitoring and engaging in a model in which citizens are integral parts of the sensing process [citizen science (CS)], in the identification of problems and the design of the solutions. CS also enables citizens to better understand the link between their actions (for example, congested roads) and the consequences (for example air pollution) (Martí et al., 2012).

The Oxford English Dictionary, in 2014, defined CS as "scientific work undertaken by members of the general public, often in collaboration with or under the direction of professional scientists and scientific institutions". This is frequently described as democratizing science and an opportunity to increase the data collection scale (Criscuolo et al., 2023).

Noise pollution, like air pollution, occurs unevenly throughout the city with high variability in time and space. Therefore, it is difficult to characterize a city in terms of environmental quality using a traditional sensor network due to cost and manpower constraints. One way to avoid these limitations is through CS (Martí et al., 2012). CS also enables the individual to contact first-hand with scientific data in a way that potentiates learning and awareness of environmental problems.

Some limitations of CS are the unreliability of the data gathered by the public that may not be familiar with the requirements of measuring environmental parameters or the dependency on the motivation and engagement of volunteers (Criscuolo et al., 2023). CS enables the construction of knowledge about environmental problems to be made through scientific data in a way that motivates participants' interest in the subject and that involves them in the construction of this knowledge engaging with people at local level considering context, culture, motivations, goals, and values. One of the barriers to an effective citizen CS is the measuring tasks itself which may be boring and repetitive. Game-based learning (GBL) may play an important role in the motivation of volunteers as well as in the teaching of important

concepts for quality measurements and promoting sustainability (Martí et al., 2012). In this regard, the use of environmental sensors in GBL might enhance the environmental education process.

To enhance the efficacy of the use of environmental sensors, it is important to understand the best ways to communicate scientific data towards environmental education.

Communication Of Scientific Data

One of the most used ways of displaying air quality data is through an air quality index. An air quality index translates an air quality parameter or a combination of parameters to a qualitative description of air quality (for example: good, bad, dangerous). In this way, the scientific data is being communicated in a non-technical and easy way to understand (Karatzas, 2009). However, the relation between causes and effects is not well defined by this method. A good air quality index should consider the relationship between the citizens, and the environment and its impacts. If possible, the index should be adaptable, with scientific data of variable complexity, and incorporate graphical-verbal-multimedia representations (Karatzas, 2009). This information should also be located in time and space. If possible, information should be displayed in a personalized way considering personal risk. This is especially important for sensitive groups (Karatzas, 2009).

The use of raw scientific data on noise pollution is also not useful to communicate risk with the public because of the unfamiliarity with the consequences and meaning of such values. In that sense, it is better to display a risk level that can relate the environmental noise to the health effects (Selamat et al., 2021).

The following topic presents the concept of GBL that was used in this work as a strategy to promote environmental sustainability with the use of environmental sensors.

Game-Based Learning (GBL)

Gamification and game-based learning are different concepts but are easily confused. "Gamification refers to transforming activities, practices, systems, service, and organizational structures towards affording similar experiences and

motivations as good as games do (Mandujano et al., 2021)". Gamification concerns non-game activities while GBL uses games as educational tools so that learners reach their learning objectives by playing the game without the direct involvement of the teacher. Nowadays, learning is often seen as boring and unmotivating across all levels of school (Lee et al., 2022). In contrast, games can engage people for hours, maintaining their attention while moving up a level or trying to win the competition (Lee et al., 2022). Games trigger a set of characteristics in players that are essential to the learning outcomes: interest, competitiveness, cooperation, results-oriented thinking, and actively seeking information and solutions (Lee et al., 2022). In GBL motivational tools like reward systems promote certain attitudes in the user and motivate them to continue to use the game and to learn (Lee et al., 2022). For example, when an app that is based on GBL is used, the user is rewarded for a certain action like the visualization of an informative video or a behaviour. This reward may be a point-based system or a symbolic achievement like moving up a level or a badge in a competition. It is expected that when rewarded the user is motivated to maintain the engagement with the app (Koroleva & Novak, 2020). (Daniel et al., 2022). One of the most important aspects of GBL is the competition. This competition may be between peers, against time, or even against self in trying to achieve a personal best. Despite having positive effects there are some drawbacks. Competition can create negative emotional responses that may be detrimental to the learning outcome. It is essential to ensure healthy competition that is inclusive and does not promote negative attitudes among players. It has been shown that GBL has good results in the promotion of awareness of environmental issues (Koroleva & Novak, 2020). (Pombo & Marques, 2020). It is especially impactful in areas like energy saving or water management because it focuses on individual consumer perspectives (Koroleva & Novak, 2020). In recent years, gamification and GBL have been increasingly used to improve citizen science campaigns, either by motivating participants for the task of environmental monitoring or by improving their knowledge in the areas in question. The use of sensors in GBL may enable interdisciplinary learning in areas like computer science, math, and biology. Furthermore, the use of sensors enables a firsthand approach to environmental

problems. This firsthand approach and the critical analysis of the data might potentiate the connection between the causes and consequences of environmental problems and help develop problem solving skills. For this reason, the use of environmental sensors may further enhance the benefits of GBL in what environmental education concerns.

The objective of this work is to develop the framework for the development, implementation, and evaluation of a game based on GBL that is played accompanied by low-cost environmental sensors.

The next topic in this work describes the study's methodological options, which include the literature review, description of game design, and evaluation of the app. Data collection and analysis procedures and tools are also presented in this section.

2. Methodology

In this section, it will be explained the methodology used to develop the game and to evaluate its efficacy.

Literature Review

The literature review was conducted to understand what work has been done involving low-cost environmental sensors and GBL to improve environmental education and awareness. The research was done via SCOPUS using the keywords "gamification" OR "game-based learning" combined with "sensor network", "Low-cost sensor", "citizen science", "air quality", "noise pollution", "environmental monitoring", "water quality" and "soil". The research was limited to open access and only relevant articles were selected.

Game Design

The main objective of the game is to raise awareness of environmental problems in Aveiro city. The game design will consider the characteristics of the city to maximize the advantages of the use of low-cost sensors. The focus of the use of sensors will be on the understanding of the sources of environmental pollution, understanding the consequences of certain actions on the environmental quality of the city, and

the questionnaires, enabling the participants to provide feedback on the game more engagingly. This is particularly important when dealing with children who may become bored while filling in questionnaires, leading to potential inaccuracies in their responses.

Data Collection And Analysis

Data collection includes anonymous and automatic logs of game performance, a questionnaire applied before and after the game, a focus group interview, and an observation grid.

The logs of game performance include scores, the number of correct and incorrect answers, and the time of gameplay (see Fig. 5.). These data are collected directly by the app in an anonymous way.

The app's efficacy as an environmental education tool will be evaluated using a questionnaire and a focus group.

The questionnaire includes Likert scale, multiple-choice, and open-ended questions and the results will be analyzed quantitatively with statistical analysis using the t-student test to compare the results of both pre and post-questionnaires.

The purpose of the focus group is to gather student's opinions regarding the evaluation of the EduCITY game, by collecting data to reinforce the level of confidence in the answers.

The evaluation of the app through the questionnaires and focus groups will involve qualitative analysis, whereas the observation grid and questionnaire results will be analyzed qualitatively through descriptive statistics.

Data will be collected anonymously to ensure that it does not include any personal information and that the participant is not identifiable.

3. Results

EduCITY Project

EduCITY is an environmental education project, financed by Portuguese funds through FCT - Foundation for Science and Technology (PTDC/CED-

EDG/0197/2021), which uses game-based learning to empower participants to take informed decisions and responsible actions for environmental integrity through engaging citizens who are not only users but also producers, consumers, and “owners” of their city. EduCITY shows the potential of adopting mobile technologies to generate and collect data for situated games in the city. Games act as motivators and enablers of sustainability-oriented citizen action. The main idea is to enhance sustainable cities through the creation of a disruptive smart learning environment, sustained by a mobile app with active location games based on challenges, with Augmented Reality educational resources, such as simulations based on data from environmental sensors, 3D animations, informative spots, among others. These games are co-created by the school, academic, and wider community, and comprise enjoyable and interdisciplinary challenges to be explored by any citizen while touring the city. Each question of the quiz is associated with a point of interest in which the player should be placed to be able to answer the questions. The game starts with an indication of the point of interest, and when the player arrives at it, he/she/they is presented with a brief introduction to the question. In this introduction, the player learns the concepts that will later be accessed by the questions. The introduction may have additional resources like images, videos, or even content displayed via augmented reality may present information necessary to answer the question. In Figure 2, there is an example of a question that starts with an introduction, followed by a resource (in this case, audio), and then the four possible answers. One of the advantages of the EduCITY app is the immediate feedback that is shown after the question has been answered correctly or incorrectly (Figure 4.). The feedback may also include multimedia resources. In addition, the app can be connected to environmental sensors to enable users to collect data during the game. The sensors used with the EduCITY app are the *Plantower PMS5003*, which measures the concentration of $PM_{2.5}$ and PM_{10} , and the Gravity: Analog Sound Level Meter which measures noise level in dB(A).



Figure 1. EduCITY environmental sensors interface.

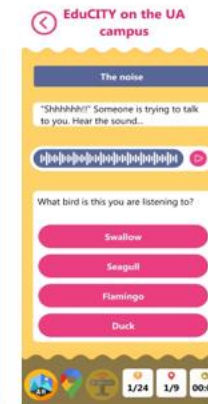


Figure 2. Example of question with audio resource.

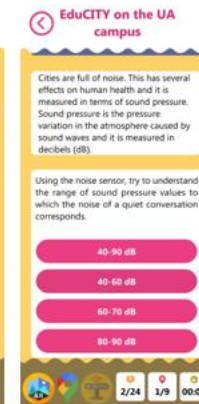


Figure 3. Example of question involving environmental sensors.



Figure 4. Example of negative feedback after wrong answer.



Figure 5. Final score board at the end of an EduCITY game.

The mission of EduCITY is much more than a traditional research and development project. It is a challenging and ambitious endeavour where citizens commit to transformation and engage in it for the benefit of cities' quality of life and sustainability.

Environmental Sensors and GBL – Previous and Related Work

The results of the literature review were 8 articles presented in the following tables. Tables 1, 2, 3, and 4 summarize some information about the articles namely the title, keywords, parameters that are measured by sensors, who collects the data, and how the gamification/ GBL is applied.

The previous work done on environmental sensors consists mainly of smartphone apps that serve either as a motivation for participant interest and engagement in the app or as environmental sensing or for the promotion of sustainable habits. Three articles are about energy efficiency and the promotion of energy savings. These articles consist mainly of projects designed to increase energy efficiency through a behavioural change of the participants and to ensure that air renovation is sufficient. For this, a network of sensors measuring energy consumption and indoor air quality is implemented. This network communicates the data to a mobile phone app that through gamification encourages energy savings. Results show that this tactic can be very effective in reducing energy consumption and balancing thermal comfort and good air circulation. Two of the articles were about air quality, one indoor and the other outdoor. In one of the projects, gamification serves to motivate the participation of the volunteers in the sensing process and to ensure the quality of the data collection using mobile low-cost sensors on bicycles. The other project uses gamification and GBL to promote healthy habits in children with asthma by incentivizing indoor air quality monitoring and by helping them act in response to these measurements. Both studies showed potential in the promotion of effective citizen science and the implementation of positive behavioural change. In other articles, gamification was used to promote volunteer participation and it proved to be effective at it. In noise pollution monitoring the sensors used were smartphones which makes it easier to implement. On soil monitoring, one work was found that

intended to map soil cover with citizens using smartphone cameras. The gamification also incentivized engagement in the sensing process.

Overall existing work focuses on the aspect of citizen science and data collection. GBL and the awareness-raising aspect were only present in the project designed for people with asthma. When used for promoting changes in behaviour this approach should be very effective which was the case in the energy-saving projects.

Table 1. Scopus search string: TITLE-ABS-KEY ("air quality" AND "gamification" OR "game-based learning")

Title	Measured parameters	Sensors	Data collected by citizens?	Application of gamification/ GBL principals
On exploiting Gamification for the Crowdsensing of Air Pollution: A Case Study on a Bicycle-based System (Bosello et al., 2020)	Particulate matter, temperature, humidity, and GPS.	Sharp GP2Y1010 Arduino Primo Core	Yes	Promote participation and engagement of volunteers. Improve learning experience.

Table 2. Scopus search string: TITLE-ABS-KEY ("citizen science" AND "gamification" OR "game-based learning")

Title	Measured parameters	Sensors	Data collected by citizens?	Application of gamification/ GBL principals
Crowdsourcing in-situ data on land cover and land use using gamification and mobile technology (Bayas et al., 2016)	Land use and land cover	Smartphone	Yes	Promote engagement with the sensors process

Table 3. Scopus search string: TITLE-ABS-KEY ("Low-cost sensor" AND "gamification" OR "game-based learning")

Title	Measured parameters	Sensors	Data collected by citizens?	Application of gamification/ GBL principals
On exploiting Gamification for the Crowdsensing of Air Pollution: A Case Study on a Bicycle-based System (Bosello et al., 2020)	Particulate matter, temperature, humidity, and GPS.	Sharp GP2Y1010 Arduino Primo Core	Yes	Promote participation and engagement of volunteers. Improve learning experience.

Table 4. Scopus research string: TITLE-ABS-KEY ("sensor network" AND "gamification" OR "game-based learning")

Title	Measured parameters	Sensors	Data collected by citizens?	Application of gamification/ GBL principals
Citizens' campaigns for environmental water monitoring: Lessons from field experiments (Assumpcao et al., 2019)	Water level, water velocities, land use, land cover	Smartphone with Scent Explore app.	Yes	Data collection app to incentivize volunteer participation
An energy management platform for public buildings (Ferreira et al., 2018)	Electricity consumption, temperature, and humidity.	YHDC SCT013-000 current sensor, Texas Instruments CC2650STK BLE SensorTag	No	Motivate changes in the users' behaviour
Mobile application for noise pollution monitoring through gamification techniques (Martí et al., 2012)	Ambient noise and location.	Smartphone	Yes	Encourage users to participate using their personal smartphones



4. Conclusion

Urban pollution continues to be a significant problem in the urban landscape and increasing urbanization only increases the magnitude of the problem. Despite the increasing notoriety of environmental problems in our society, effective communication that delivers results and significant societal change has fallen short. As a result, new ways of communication are starting to be implemented. Science is increasingly seen not only as a way to generate knowledge but as a vehicle to promote societal change. Science needs to be understandable by the public if it intends to produce results. In this regard, citizen science has emerged to involve the citizen from the start of the process, incorporating better its needs, context, and sensibility in the process. GBL for the promotion of sustainable behaviour has also been increasingly used showing great potential but the use of GBL combined with citizen science to raise environmental awareness has been little explored yet.

This paper intends to lay down the framework for the implementation of the EduCITY app, an environmental education app that uses the territory as a living experimental laboratory, moving education to a real-life context and allowing the community to participate giving opportunities for all to actively contribute to a more sustainable city, in a social constructivism approach, which can be connected to environmental sensors. The app users will be able to use the sensors and participate in the process of environmental sensing. Furthermore, the data collected by the sensors will be used to develop games, and this data will be displayed as an index that is specifically designed for the target audience and capable of effectively communicating the causes and consequences of environmental pollution.

5. Acknowledgements

This work is financially supported by National Funds through FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., within the scope of a Research Scholarship with the reference BI/UI57/10394/2022. The EduCITY project is funded by National Funds through the FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia under the PTDC/CED-EDG/0197/2021 project.



Bibliographic references

- AlDousari, A. E., Kafy, A. Al Saha, M., Fattah, M. A., Almulhim, A. I., Faisal, A. Al, Al Rakib, A., Jahir, D. M. A., Rahaman, Z. A., Bakshi, A., Shahrier, M., & Rahman, M. M. (2022). Modelling the impacts of land use/land cover changing pattern on urban thermal characteristics in Kuwait. *Sustainable Cities and Society*, 86, 104107. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104107>
- Arias, A., Otamendi-Irizar, I., Grijalba, O., Oregi, X., & Hernandez-Minguillon, R. J. (2022). Surveillance and Foresight Process of the Sustainable City Context: Innovation Potential Niches and Trends at the European Level. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148795>
- Assumpcao, T. H., Jonoski, A., Theona, I., Tsiakos, C., Krommyda, M., Tamascelli, S., Kallioras, A., Mierla, M., Georgiou, H. V., Miska, M., Pouliaris, C., Trifanov, C., Cimpan, K. T., Tsertou, A., Marin, E., Diakakis, M., Nichersu, I., Amditis, A. J., & Popescu, I. (2019). Citizens' campaigns for environmental water monitoring: Lessons from field experiments. *IEEE Access*, 7, 134601–134620. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939471>
- Bayas, J. C. L., See, L., Fritz, S., Sturn, T., Perger, C., Dürauer, M., Karner, M., Moorthy, I., Schepaschenko, D., Domian, D., & McCallum, I. (2016). Crowdsourcing in-situ data on land cover and land use using gamification and mobile technology. *Remote Sensing*, 8(11). <https://doi.org/10.3390/RS8110905>
- Bickerstaff, K., & Walker, G. (2001). Public understandings of air pollution: the 'localisation' of environmental risk. *Global Environmental Change*, 11(2), 133–145. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(00\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(00)00063-7)

Bosello, M., Delnevo, G., & Mirri, S. (2020). On exploiting Gamification for the Crowdsensing of Air Pollution: A Case Study on a Bicycle-based System. *ACM International Conference Proceeding Series*, 205–210.

<https://doi.org/10.1145/3411170.3411256>

Criscuolo, L., L'Astorina, A., van der Wal, R., & Gray, L. C. (2023). Recent contributions of citizen science on sustainability policies: A critical review. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 31). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100423>

Daniel, A. D., Junqueira, M., & Rodrigues, J. C. (2022). The influence of a gamified application on soft mobility promotion: An intention perspective. *Journal of Cleaner Production*, 351.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131551>

Ferreira, J. C., Afonso, J. A., Monteiro, V., & Afonso, J. L. (2018). An energy management platform for public buildings. *Electronics (Switzerland)*, 7(11).

<https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS7110294>

Gaigbe-Togbe, V., Bassarsky, L., Gu, D., Spoorenberg, T., & Zeifman, L. (2022). *World Population Prospects 2022*. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

González Ortiz, Alberto., Guerreiro, Cristina., Soares, Joana., & European Environment Agency. (2020). *Air quality in Europe : 2020 report*. Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>