Universidade do Minho
Escola de Arquitectura, Arte e Design

Bruno André Martins de Abreu

Senseable Campus

Tecnologias interativas na compreensão dos espaços universitários

Junho de 2022

Senseable Campus
Tecnologias interativas na compreensão dos espaços universitários
Bruno André Martins de Abreu
UMinho | 2022

Universidade do Minho
Escola de Arquitectura, Arte e Design

Bruno André Martins de Abreu

Senseable Campus

Tecnologias interativas na compreensão dos espaços universitários

Dissertação de Mestrado
Mestrado integrado em Arquitetura
Construção e Tecnologia

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Bruno Figueiredo
Professor Ivo Oliveira

Junho de 2022

ANEXO 3

Declaração de utilização

Nome. Bruno André Martins de Abreu

Endereço eletrónico. babreu17@gmail.com

Telefone. 962135197

Bilhete de indentidade / cartão de cidadão. 15673820

Título da tese. Senseable Campus – Tecnologias interativas na compreensão dos espaços universitários

Equipa de orientação.
Professor Doutor Bruno Figueiredo
Professor Doutor Ivo Oliveira

Ano de conclusão. 2022

Mestrado em Arquitetura
Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.
Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.
Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do Repositório UM da Universidade do Minho.

Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

Universidade do Minho, 15 de Junho de 2022

Assinatura.

Bruno André Martins de Abreu

ANEXO 4

Declaração de integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.
Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 15 de Junho de 2022

Assinatura.



Agradecimentos

Em primeiro lugar um especial agradecimento ao Dany pela amizade, pela sua disponibilidade, empenho e entusiasmo em ensinar a trabalhar neste novo mundo da programação e computação.

À minha família pelo apoio e compreensão, em especial à Sofia que no pouco que fazia, via com a admiração que me motivava.

A todos os amigos e colegas que me acompanharam neste percurso acadêmico. Inclusive os que se encontram na versegura que mesmo na reta final, ensinaram a ver arquitetura com outros olhos.

Por último aos docentes, por me terem indicado e orientado este tema interativo, pela paciência. empenho e exigência com que me orientaram neste trabalho.

Obrigado.

Resumo

A presente investigação apresenta e testa o potencial das tecnologias de recolha e tratamento de informação na gestão do espaço. Tendo como ponto de partida o espaço urbano do campus universitário de Azurém, procura-se, num processo de progressiva aproximação (do campus de Azurém ao bar da EAAD), apresentar e testar dispositivos sensoriais que contribuem para um maior conhecimento espaço. Dispositivos que recolhem um vasto conjunto de informação e que revelam dinâmicas e qualidades do espaço difíceis de registar a partir de processos de análise e representação mais convencionais.

A análise e estudo destes meios tecnológicos, inicia-se pela escala da cidade, onde se procura perceber quais os métodos de interação que nelas já são recorrentes, as suas funções e particularidades. Após esta pesquisa, tendo como caso de estudo e de intervenção o campus de Azurém, testa-se a integração destes meios num espaço específico da Escola de Arquitetura, Arte e Design (EAAD), permitindo captar e tratar dados fundamentais à sua caracterização espacial. Simultaneamente, a produção de desenhos na representação da informação recolhida que constitui uma experiência fundamental na partilha de conhecimento junto da comunidade.

A experiência desenvolvida na EAAD suporta-se na utilização de dispositivos que têm por base componentes eletrónicos acessíveis, a baixo custo. Tendo por base a utilização de microcontroladores de por vezes serem *open source* que permitem experimentar diferentes tipos de utilizações. Trata-se de um vasto conjunto de dispositivos acessíveis que permitem obter informações relevantes para a compreensão dos espaços arquitetónicos nas mais diversas escalas, podendo ser determinantes nas estratégias de manutenção e transformação que venham a ser desenvolvidas.

O trabalho reforça o entendimento sobre o contributo das tecnologias digitais no conhecimento dos espaços que habitamos. A sua integração nas práticas arquitetónicas traduz-se no alargamento das ferramentas acessíveis aos projetistas e permitirá reforçar a pertinência das respostas arquitetónicas e, consequentemente, a capacidade de a arquitetura melhorar a qualidade de vida de uma determinada comunidade.

Palavras-chave: Big Data; Smart Cities; Machine Learning; Digital Twins; Campus Universitário; microcontroladores;

Abstract

The present investigation presents and tests the potential of technologies for collecting and processing information in space management. Taking as a starting point the urban space of the university campus of Azurém, in a process of progressive approximation (from the Azurém campus to the EAAD bar), we seek to present and test sensory devices that contribute to a greater knowledge of space. Devices that collect a vast set of information that reveal dynamics and qualities of space that are difficult to register from more conventional analysis and representation processes.

The analysis and study of these technological means begins with the scale of the city, where we seek to understand the methods of interaction that are already recurrent in them, their functions and particularities. After this research, taking the Azurém campus as a case of study and intervention, the integration of these media is tested in a specific space of the School of Architecture, Art and Design (EAAD) building, allowing to capture and process fundamental data for its characterization. space. Simultaneously, the production of drawings representing the information collected constitutes a fundamental experience in sharing knowledge with the community.

The experience developed at EAAD is based on the use of devices that are based on accessible, low-cost electronic components. Based on the use of microcontrollers that are sometimes open source that allow experimenting with different types of uses. It is a vast set of accessible devices that allow obtaining relevant information for the understanding of architectural spaces at the most diverse scales, which may be decisive in the maintenance and transformation strategies that may be developed.

The work reinforces the understanding of the contribution of digital technologies to the knowledge of the spaces we inhabit. Its integration into architectural practices translates into an expansion of the tools accessible to designers, and will allow for reinforcing the relevance of architectural responses and, consequently, the ability of architecture to improve the quality of life of a given community.

Palavras-chave: Big Data; Smart Cities; Machine Learning; Digital Twins; University Campus; microcontroller;

Índice

Introdução. 001

1. Tema e Objetivos. 003
2. Estrutura. 005

I. Sistemas interativos e sistema urbano. 007

1. Os dados e o espaço urbano. 009
2. *Smart Cities & Senseable Cities*. 013
3. Campus Azurém enquanto *Senseable Campus*. 019

II. Dados e o ambiente construído. 027

1. Componente do conhecimento digital. 029
2. Recolha de dados. 033
3. Metodologias de análise vizualização. 037

III. Visão expandida do espaço. 045

1. Digitalização da EAAD. 047
2. Programação e motagem. 053
3. Metodologia de captação e análise. 057
4. Captação e organização da informação. 063
5. Produção de desenhos. 071
6. Utilização e comportamento acústico. 081

Conclusão. 089

Glossário. 093

Bibliografia. 095

Anexos. 099

Índice de figuras

Figura 1. Frame do filme Matrix-Ressurection (2021) realizado por Lana Wachowski; *(Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=Wg7V2_OBXwQ)*

Figura 2. *Motherboard or city? (Fonte: https://www.reddit.com/r/confusing_perspective/comments/9ubdcc/city_or_motherboard/)*

Figura 3. Screenchot do video jogo *Watch dogs* desenvolvido pela *Ubisoft; (Fonte: https://alternativeto.net/software/watch-dogs/about/)*

Figura 4. Esquema que designa o objetivo do projeto *Sensing light*, do laboratório *Senseable Cities;*

Figura 5. e 6. Frames do video de apresentação do projeto *Sensing light*, dsenvolvido pelo laboratório *Senseable Cities*; *(Fonte: https://senseable.mit.edu/sensing-light/)*

Figura 7. Localização do campus de Azurém (1:20000);

Figura 8. gráficos que apresentam de cima para baixo a área ocupacional do campus em guimarães, a ocupação dos edificios no campos e a percentagem dos cargos no campus;

Figura 9. Campus de Azurém e localização de rede *wi-fi*, bem como identificação das zonas e percursos com potencial de análise;

Figura 10. Foto da Praça;

Figura 11. Foto da entrada principal do campus;

Figura 12. Foto do caminho de Erasmus;

Figura 13. Camara de vigilâcia situada no departamento de computação gráfica;

Figura 14. Indentificação, através e um *Qr code*, de uma das árvores proximas do departamento da EAAD;

Figura 15. Sensores que permitem a entrada de veiculos na universidade pela zona nascente; através da leitura da matrícula;

Figura 16. Aplicação dos dispositivos no campus de Azurém, na zona da praça;

Figura 17. Avaliação da radiação solar no campus de Azurém através do *plug-in Ladybug e Honeybee*;

Figura 18. Fachada principal da EAAD; *(Fonte: https://maisguimaraes.pt/wp-content/uploads/2016/10/Escola-de-Arquitetura-da-UMinho.jpg)*

Figura 19. Digitalização da EAAD através do software Rhinoceros 3D e a sua VPL Grasshopper;

Figura 20. Servidor online do *Super bairro*, projeto desenvolvido pelo *IaaC; (Fonte: https://urbinat.previews.mariaadelaide.com/nbs/super-barrio-2/)*

Figura 21. Dispositivo de *Smart Citzens*, projeto desenvolvido pelo IaaC e Fab Lab de Barcelona; *(Fonte: https://docs.smartcitizen.me/Components/enclosures/Enclosures/)*

Figura 22. Plataforma virtual *Smart citzens*, projeto desenvolvido pelo IaaC e Fab Lab de Barcelona; *(Fonte: https://smartcitizen.me/kits/9867)*

Figura 23. Esquema explicativo das metodologias de análise de *Big Data*;

Figura 24. Esquema explicativo das metodologias *Machine Learning*;

Figura 25. Esquema explicativo das *Artificial Neural Networks*;

Figura 26. Interface do servidor de vizualização do projeto *AI Station*; *(Fonte: https://senseable.mit.edu/ai-station/app_cv/)*

Figura 27. Esquema explicativo da metodologia *DCNN*; *(Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Deep-convolutional-neural-network-DCNN-architecture-A-schematic-diagram-of-AlexNet_fig2_326152216)*

Figura 28. Dispositivo criado e utilizado no projeto *AI Station* e a suas captações em projeções panorâmicas e cúbicas; *(Fonte: Wang, Z. et al.(2019). Quantifying Legibility of Indoor Spaces Using Deep Convolutional Neural. Cambridge: MIT Seanseable City Lab.)*

Figura 29. Esquema do funcionamento das VPL's

Figura 30. *Server HTTP* do *Power BI* com o *plug-in Semantic*, desenvolvido pela empresa *Proving Ground*; (Fonte: https://provinggground.io/tools/semantic/)

Figura 31. À esquerda percentagem das áreas das zonas da EAAD, à direita Axonometria representativa da EAAD, com a identificação das zonas;

Figura 32. análise solar no modelo virtual e diagrama Grasshoper da análise solar;

Figura 33. Análise solar no solistício de verão;

Figura 34. Análise solar no solistício de inverno;

Figura 35. Axonometria explodida da EAAD;

Figura 36. No canto superior esquerdo microcontrolador arduino, à direita *ESP32*, no canto inferior esquerdo, *ESP32-CAM*, direito *KY-038*; *(Arduino Fonte: https://media.elektor.com/media/catalog/product/cache/9cc822bfc6a57f9729d464b8b5e0e0df/a/r/arduino-uno-r3.png; ESP-32 Fonte: https://www.botnroll.com/10966-large_default/esp32-devkitc-development-kit-espressif.jpg; ESP-32-CAM fonte: https://m.media-amazon.com/images/I/61BMY3HOFKL.jpg; KY-038 Fonte: https://blogmasterwalkershop.com.br/wp-content/uploads/2018/09/img00_como_usar_com_arduino_sensor_detector_de_som_ky_038_uno_mega_2560_nano_palma_lampada_luz.png)*

Figura 37. À esquerda dispositivo de frequência sonora, à direita dispositivo de análise do espaço;

Figura 38. Esquema de montagem *ESP32-CAM*; *(Fonte: https://capsistema.com.br/wp-content/uploads/2020/10/esp-cam-e1604101415570.png)*

Figura 39. Esquema de montagem *ESP32* ao *KY-038*; *(Fonte: https://diyi0t.com/wp-content/uploads/2020/12/Sound-Sensor-ESP8266-NodeMCU-_Steckplatine.png)*

Figura 40. Linha de código no software da *Arduino*, à direita linha de código *ppldetection.py*, em *python* no software *Visual Studio code*;

Figura 41. Interface do server online criado pelo software *Arduino*;

Figura 42. Informação recebida pela câmara através do código criado em *python, ppldetection.py*;

Figura 43. Esquema do funcionamento dos protocolos *MQTT*;

Figura 44. LInha de código para a criação do servidor *MQTT* no *Visual Studio Code*;

Figura 45. LInha de código para a análise sonora, no *Visual Studio Code*;

Figura 46. Axonometria da zona em estudo e a sua estratégia de análise;

Figura 47. à esquerda dados obtidos pelos sensores, à direita 1º teste de vizualização dos dados sonoros captados;

Figura 48. Vizualização do funcionamento dos sensores, neste caso o que se encontra com os led's ligados esta a captar som;

Figura 49. Axonometria do bar da EAAD;

Figura 50. Levantamento geométrico para obter a localização sob eixo X;

Figura 51. Axonometria do levantamento geométrico para obter a localização sob eixo X;

Figura 52. imagem captada pelo dispositivo, com a profundidade próxima;

Figura 53. esquema ilustrativo da deteção da localização da pessoa em profundidade, com a profundidade próxima;

Figura 54. localização da pessoa no modelo virtual em planta, profundidade próxima;

Figura 55. imagem captada pelo dispositivo, com a profundidade longe;

Figura 56. esquema ilustrativo da deteção da localização da pessoa em profundidade, com a profundidade longe;

Figura 57. localização da pessoa no modelo virtual em planta, profundidade longe;

Figura 58. No lado esquerdo diagrama do *Grasshopper* para a vizualização dos dados, no lado direito vizualização dos dados sonoros;

Figura 59. 1º fase introdução dos dados;

Figura 60. Definição da data e da hora;

Figura 61. Criação do gráfico que apresenta o valor médio sonoro do dia;

Figura 62. Criação do gráfico que apresenta a média dos valores sonoros captados de meia em meia hora;

Figura 63. Criação da viuzalização abstrata no modelo virtual;

Figura 64. No lado esquerdo diagrama do *Grasshopper* para a vizualização dos dados, no lado direito vizualização dos dados da localização da pessoa no espaço;

Figura 65. 1º fase introdução dos dados, definição das coordenadas que são os vértices de forma a definir a altura do retângulo que deteta a pessoa na imagem;

Figura 66. 1º fase introdução dos dados, definição dos pontos vértices de forma a definir a altura do retangulo que deteta a pessoa na imagem e localização da pessoa em profundidade no modelo virtual;

Figura 67. 1º fase definição da localização da pessoa ao nível do comprimento do espaço;

Figura 68. 1º fase definição do ponto de localização da pessoa no modelo modelo virtual;

Figura 69. 2º fase Definição da metodologia atractors a vizuaização da localização da pessoa no modelo virtual;

Figura 70. modelo virtual e funcionamento da metodologia atractors;

Figura 71. 3º fase definição dos gráfico que visam a data e a hora, o número de pessoas e percentagem de ocupação;

Figura 72. 3º fase localização dos gráficos;

Figura 73. 3º fase definição do gráfico data e hora;

Figura 74. 3º fase dado para o nº de pessoas e pecentagem de ocupação do espaço;

Figura 75. 3º fase definição do gráfico que demontra o nº de pessoas no espaço e percentagem de ocupação;

Figura 76. 3º fase definição do gráfico que indica a percentagem de ocupação no espaço;

Figura 77. 3º fase botão para ativar as vizualizações dos gráficos;

Figura 78. Avaliações sonoras de 2º feira;

Figura 79. Localização das pessoas no espaço na 2º feira;

Figura 80. Avaliações sonoras de 3º feira;

Figura 81. Localização das pessoas no espaço na 3º feira;

Figura 82. Avaliações sonoras de 4º feira;

Figura 83. Localização das pessoas no espaço na 4º feira;

Figura 84. Avaliações sonoras de 5º feira;

Figura 85. Localização das pessoas no espaço na 5º feira;

Figura 86. Avaliações sonoras de 6º feira;

Figura 87. Localização das pessoas no espaço na 6º feira;

Lista de siglas

IoT. *Internet of Things*
BIM. *Building Information Modelling*
CIM. *City Information Modelling*
VPL. *Visual Programming Language*
HTTP. *Hypertext Transfer Protocol*
MQTT. *Message Queuing Telemetry Transport*
M2M. *Machine to Machine*
ppl-D. *People Detection*
n-D. *Noise Detection*

Introdução

1. Tema e objetivos

Tendo por base a emergência de novos meios tecnológicos na arquitetura, esta investigação tem como objetivo aferir o potencial da sua utilização no planeamento infraestrutural sustentável de uma cidade ou edifício. A quantidade e diversidade da informação recolhida e a sua elevada capacidade de atualização torna mais robustas as leituras que se podem fazer num espaço arquitetónico, gerada através de metodologias algorítmicas de desenho de *Big Data*, que progressivamente substitui métodos, ferramentas e modelos mais convencionais, alteram o projeto e a construção e gestão de cidades e edifícios. Um vasto conjunto de soluções tecnológicas suportam os conceitos de *Internet of Things (IoT) , Smart Objects e Cloud Computing* que hoje têm um papel fundamental na revolução interativa, na captura de dados provenientes de dispositivos do nosso quotidiano, que são armazenados, geridos e partilhados, com o intuito de contribuir para o planeamento de uma vida sustentável, baseada em decisões informadas e precisas.

O atual sucesso da ideia de *Smart Cities* é exemplo disso, revela o impacto que estes meios têm nas cidades, introduzindo sistemas de monitorização dos mais variados acontecimentos urbanos. Respondendo às oportunidades e desafios resultantes da criação de diferentes tipos de interação entre o cidadão e as novas ferramentas e dispositivos de recolha de informação. A presente investigação procura aferir a possibilidade de dispositivos interativos de baixo custo e fácil utilização integrarem o quotidiano das práticas de analise e projeto, captando dados suficientes para perceber uma cidade ou edifício, informando uma decisão de projeto rápida e precisa.

A proposta inicia-se com o entendimento da relação entre o mundo digital e a arquitetura, analisam-se casos de estudo internacionais que visam essa relação, desenvolve-se um olhar específico sobre o campus universitário de Azurém, podendo ser visto como um potencial laboratório urbano. Uma análise que se vai afunilando finalizando numa escala próxima, através do estudo de um espaço específico, possibilitando uma caracterização informada, precisa e virtual.

A investigação procura perceber o impacto que os sistemas sensoriais, interação e gestão de dados podem ter na arquitetura, na conceção e desenvolvimento de um projeto, na promoção da qualidade espacial e da vida quotidiana. Reconhecendo que este tipo de tecnologias, têm um papel importante na expansão disciplinar da arquitetura. A informação gerada quotidianamente no espaço urbano cresce exponencialmente e o seu impacto influencia as mais diversas áreas disciplinares, destacando-se a economia, saúde, o ambiente e o ensino. Na arquitetura a informação nos edifícios tem aumentado significativamente, mas a sua incorporação nas metodologias de projeto permanece limitada.

Num determinado espaço pode gerar-se grande quantidade de informação, estando a sua relevância dependente do que se pretende analisar, e da forma precisa e objetiva com que é considerada nas práticas de projeto. De que modo é que a informação disponível pode potencializar o espaço? Qual a sua importância para o desenvolvimento de um projeto?

Muitos dos meios interativos, sensores, microcontroladores e até mesmos os *smart objects* que são utilizados para a recolha e análise de informação, apresentam-se no mercado a baixo custo e de fácil acesso. Têm uma grande capacidade de disseminação e possibilitam o desenvolvimento de experiências de compreensão dos espaços nas mais diversas escalas. A Investigação procura identificar que tipos de objetos interativos existem, qual a sua constituição, bem como o seu propósito. Procura perceber a sua integração nas mais diversas escalas, desde a escala urbana até à escala de um simples espaço, procurando recolher a informação mais pertinente tendo em consideração o que se pretende analisar, implementar e comunicar.

É nosso objetivo testar metodologias de representação e visualização de informação, com o intuito de partilhar e comunicar o que está em análise e o seu contexto, e assim entender de forma mais eficiente o que se está a analisar. Através do ensaio de determinadas possibilidades de representação do espaço, cruzando a informação recolhida com a informação arquitetónica já disponível, procurando uma integração acessível e percetível.

2. Estrutura

A investigação inicia com um olhar alargado no qual se procura caracterizar a presença dos novos sistemas tecnológicos à escala da cidade, do edifício e dos seus espaços.

O primeiro capítulo *Sistemas interativos e sistema urbano*, começa por caracterizar de uma forma abrangente a interatividade nas zonas urbanas, salientando a relação entre a arquitetura e as temáticas centradas na implementação de meios interativos à escala urbana, expondo considerações genéricas sobre o tema, de seguida procura-se salientar a importância dos dados para o planeamento urbano, destacando o potencial e contributo das redes IoT's na construção de um mundo cada vez mais conectado. Destaca-se a quantidade de informação que um espaço consegue gerar, mas também a quantidade de informação que não é processada ou organizada e que consequentemente não contribui para a gestão da cidade. De seguida enquadra-se o contributo dos sistemas interativos para afirmação do conceito de *Smart Cities & Senseable Cities*, aprofundando a ideia de um espaço urbano inteligente, que, com ajuda da participação do cidadão e dos meios interativos que a cidade integra, se apresenta mais autónomo. No capítulo apresenta-se o trabalho desenvolvido no contexto do laboratório do *MIT, Senseable Cities*, fundado por Carlos Ratti, que tem como principal missão a implementação de meios interativos, de modo "a aprender sobre a cidade e a cidade aprender sobre o cidadão" (Ratti)[1]. O último momento do capítulo, *Campus de Azurém enquanto Senseable Campus* é dedicado ao estudo do campus universitário de Azurém, em Guimarães, permite perceber que soluções tecnológicas e infraestruturas urbanas são hoje existentes e de que forma contribuem para o seu desenvolvimento e gestão.

O Segundo capítulo *Dados e ambiente construído*, *Componente do conhecimento digital* inicia-se com uma reflexão sobre o atual significado da palavra "informação" sobretudo na perceção do espaço, onde consequentemente aborda outros conceitos como *big data*[2] ou *Digital Twin*[3], conceitos importantes para este trabalho acadêmico. Os próximos subcapítulos centram-se em métodos de trabalho, baseando-se em caso de estudos de forma a auxiliar o projeto acadêmico, começando pela *Recolha de dados*, onde se aborda as forma de captar

1. MIT Senseable Cities Lab. (s.d.). MIT Senseable Cities Lab. Obtido de MIT Senseable Cities Lab: https://senseable.mit.edu/;

2. O conceito Big data dedica-se a um grande volume de dados, estruturados e não estruturados, que são gerados a cada segundo, permitindo o estudo e análise dos mesmos;

3. Numa forma muito sucinta, as DIgital Twins baseiam-se num clone virtual de algo real;

dados essências para o estudo de um espaço. Segue-se *Metodologias de análise e visualização* onde se pretende entender as metodologias de análise de dados presentes, sobretudo metodologias de análise de inteligência artificial e métodos de vizualização que tem como intuito a comunicação dos dados captados, nomeadamente as *Visual Programming Language*[4].

(3) O Terceiro capítulo *Visão expandida do espaço*, é todo ele focado na prática de tudo o que se abordou ao longo da investigação, começando pela *Digitalização da EAAD* que se foca numa análise do edificio através de um modelo virtual, passando para análise de um espaço do edifício, onde se aborda as ferramentas utilizadas, *Programação e montagem*, as metodologias adotadas para a captura de dados no espaço, *Metodologia de captação e análise*, na *Captação e organização da informação* e na sua *Produção de desenhos*. O capítulo termina com uma análise aos dados captados no espaço, em *Utilização do comportamento acústico*.

4. As VPL's consistem em lingugem programacional de desenho, baseada numa ideia diagrmática, isto é na conexão entre contetores de informação visual.

I. Sistemas interativos e sistema urbano

1. Os dados e o espaço urbano

> *"O nosso quotidiano encontra-se em constante mudança, sendo ela acompanhada por meios interativos, desde Smartphones, ligações e comunicações Wi-fi, inclusive métodos AI (inteligência artificial), que tem vindo a emergir desde o surgimento das redes IoT (Internet of Things), onde juntamente com os sistemas cibernéticos visam a integração de sistemas físicos à "rede", através de recursos de computação e comunicação" (Kantarci & Oktug, 2018, p. 1).*

As informações que diariamente são captadas e partilhadas pelos mais diversos sistemas tecnológicos têm tornado o mundo cada vez mais dinâmico, preciso, interativo e conectado. Como referência a essa transformação digital, encontra-se o conceito *smart cities*[1], associado à integração de sensores e das suas redes no espaço urbano, desenvolvendo os serviços das cidades nas áreas da mobilidade, monitorização, energia, habitação, entre muitos outros. Na crescente interatividade dos espaços urbanos a participação dos cidadãos é fundamental, auxiliando a criação, recolha e partilha de dados estruturados e não estruturados, que conectados às redes, são processados através de metodologias de análise, que extraem valores precisos, oferecendo às cidades serviços cada vez mais ajustados às suas necessidades.

Apesar do crescente sucesso dos sistemas interativos a sua integração no espaço urbano permanece desigual e incompleta. Quando comparados com os sistemas que hoje existem em áreas, como saúde, *marketing* e economia, onde sistemas tecnológicos tem elevado impacto, percebemos que a implementação destes sistemas no espaço urbano pode influenciar de forma muito mais expressiva as fases de projeto e gestão do ambiente construído. Possibilitando novos desafios e oportunidades, que incentivam à projeção de cidades e edifícios cada vez mais adaptados às necessidades dos seus habitantes e sustentáveis. Tomando como exemplo o comportamento térmico de um edifício, a informação captada é fundamental para uma resposta mais eficiente, tanto do ponto de vista da sua reabilitação, construção como na implementação dos sistemas de climatização.

1. Segundo Antoine Picon, o termo *Smart City* caracteriza a cidade que usa meios tecnológicos, nomeadamente tecnologias de informação e comunicação, que visam a recolha e transmissão dos dados de uma determinada zona urbana, com o objetivo de organizar, controlar e desenvolver a zona assim como a comunidade que a habita.



Figura 1. Frame do filme *Matrix-Ressurection* (2021) realizado por Lana Wachowski;

Numa forma abstrata e ficticia, este frame apresenta uma nova visão, onde demonstra que cada vez mais a infraestrturas urbanas tendem a ser constituidas por algoritmos de informação;

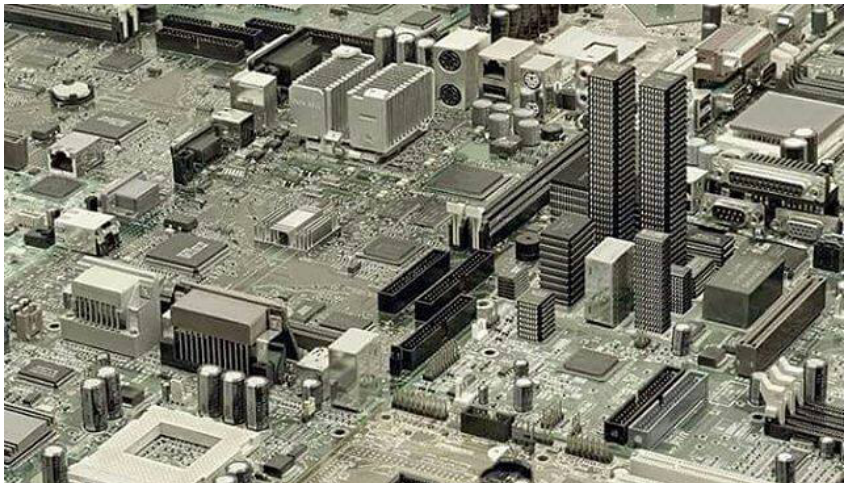


Figura 2. *Motherboard or city?*

Através desta imagem, consegue-se perceber que facilmente se confunde uma *motherboard* com uma cidade. O que alude para o facto de as cidades tenderem a ser cada vez mais tecnológicas;

A adequada recolha e organização dos dados permite que o desenvolvimento dos projetos, a construção e a gestão do espaço possa ser mais decisiva e precisa, simultaneamente a informação disponível faz emergir novas oportunidades e desafios, que impulsionam novas possibilidades para a projeção futura de infraestruturas e zonas urbanas. Porém, a programação de grande diversidade de dados que hoje podem ser recolhidos e o seu potencial na gestão de processos urbanos, dependem de um alargado conjunto de áreas disciplinares que exigem uma maior cooperação e estimulam a multidisciplinariedade. O surgimento das redes IoT's[1] baseadas no "simples conceito de que qualquer coisa pode ser conectada à rede, apresenta novas formas de pesquisa interdisciplinar" (Hanif et al., 2018, p. 142). Dispositivos sensoriais e computação, que se encontram espalhados e conectados à rede, visam esse potencial da recolha de informação[2], para a sua análise e partilha, em prol do desenvolvimento.

Hoje, um *smartphone* pode gerar grandes quantidades de informação, como a localização onde o proprietário do telemóvel se encontra, as chamadas que são efetuadas, ou até mesmo o acesso à internet, conforme menciona Antoine Picon (2015). Progressivamente o espaço urbano apresenta uma vasta quantidade de informação, que permite gerar novos conhecimentos, sobre uma determinada envolvente ou infraestrutura urbana. Trata-se de informação baseada em métodos algorítmicos que potenciam a cooperação entre o homem e a máquina. As cidades estão cada vez mais conectadas, todas as atividades que se desenrolem numa determinada zona urbana podem ser sintetizadas em dados.

O número de dipositivos conectados à rede continua a crescer sendo hoje superior ao número de habitantes mundiais . Em 2003 cerca 6,3 mil milhões de habitantes da Terra detinham 500 milhões de dispositivos conectados à rede. Em 2020 aproximadamente 7.6 mil milhões de habitantes na Terra a par de 5,0 mil milhões de dispositivos conectados à rede[3]. Com base nestas informações, percebe-se a importância das redes IoT's no mundo atual, assim como a importância da colaboração entre a arquitetura e as ciências que trabalham com dados. A banalização de dispositivos conectados faz com que tudo se traduza em dados, encontramo-nos perante um tsunami de dados.

No entanto para determinados usos, os dados que são captados, deverão ser analisados, de modo a que se possa assegurar a sua validade, solidez, viabilidade e interpretação. Como refere Thomas Kvan (KVAN,2020, p. 31), a utilização dos dados visa construir conhecimento que fundamenta as nossas decisões, sendo elas também sustentadas pela teoria. Tomando como exemplo as *smarts cities*, não se baseiam exclusivamente em desafios tecnológicos, mas também em desafios de planeamento urbano, fundamentados pela arquitetura, desenho urbano e sociedade.

1. As IoT's baseiam-se em redes de objetos físicos, meios tecnológico, sensores ou até mesmo etiquetas de QR code e RFID que permite a conexão de objetos fisicos à rede, capaz de reunir e transmitir dados;

2. Informação - conjunto de dados, recebidos do exterior, por uma pessoa ou por uma máquina eletrónica; Dados - nos termos informáticos, informação captada, armazenada, tratada através de um computador;

3. Evans, D. (2011). The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).

“O planeamento urbano, assim como a projeção de obras arquitetónicas por heurísticas regras básicas, algumas delas codificadas como diretrizes de prática, políticas ou leis. Apontam que o contexto do desenho ainda se encontra pouco desenvolvido, perante a atualidade tecnológica que tem vindo a emergir.” (Kvan, 2020, p. 31).

Hoje a cooperação entre o conhecimento urbano e a análise de dados é fundamental. Incentiva-se a multidisciplinariedade entre a arquitetura e os outros ramos ligados à tecnologia ou análise de dados, fazendo com que haja uma nova gestão de desenvolvimento nas zonas e infraestruturas urbanas. À medida que os sistemas tecnológicos e as cidades se vão desenvolvendo, surgem novos sensores ou meios interativos que geram grandes quantidades de informação. Contudo, não devemos esquecer que o são muitos os processos urbanos que continuam a não ser traduzíveis em dados e que são fundamentais à sua identidade. Processos que muitas vezes tornam cada cidade única e que não devem ser desconsiderados. Sem esta consideração as cidades tornar-se-iam lugar exclusivo de uma prática técnica e de análise de dados, da mesma maneira que, só com teoria, correr-se-ia o risco de não acompanhar provenientes do conhecimento empírico. Kvan, (2020, p.31).

2. *Smart Cities & Senseable Cities*

Na atualidade assistimos à banalização do conceito smart city. Embora o seu significado não se encontra claramente estabilizado, sendo usado em referência a espaços urbanos e a processos com características muito distintas. Pode afirmar-se que ele tente referir-se a um ambiente urbano que utiliza meios interativos de informação e comunicação, que desenvolvem de forma eficiente as operações urbanas, bem como os serviços que disponibilizam aos cidadãos, através da conexão de ambientes físicos, sociais, empresariais e infraestruturais às redes.

> *"O objetivo consiste em elevar a "inteligência" da cidade, em prol da promoção da qualidade de vida, competitividade e precisão na operação dos serviços urbanos. De modo a também garantir a disponibilidade de recursos para as gerações presentes e futuras em termos de aspetos sociais, econômicos e ambientais, focando-se nas soluções sustentáveis e eficientes, para a perceber as extremas necessidades da urbanização." (Gascó, 2016, p. 2983)*

Assim sendo, as tecnologias são vistas como a chave para a inovação de uma zona urbana, onde juntamente com as redes IoT's, resultado da evolução convencional das redes, possibilitam a conexão de vários dispositivos a uma determinada rede, permitindo a partilha e o acesso a determinadas informações de uma zona urbana.

Segundo Antoine Picon (2015), a cada dia que passa, sensores e outros meios interativos incorporados nas cidades registam milhões de ocorrências, juntas revelam uma enorme diversidade de acontecimentos urbanos, fazendo com que as cidades se 'confundam' com os acontecimentos que nelas ocorrem. Para Antoine Picon as cidades desenvolvem-se cada vez mais enquanto sistemas de ocorrências e de eventos, possibilitando às mesmas de estabelecerem as suas próprias prioridades, muitas delas centradas no desenvolvimento de respostas com elevado nível de automatização.



Figura 3. Screenchot do video jogo *Watch dogs* desenvolvido pela *Ubisoft*;

A história do jogo baseia-se num protagonista *hacker* que através de um *smartphone* consegue controlar a cidade, de forma a cumprir o seus objetivos. Através des te jogo percebe-se que por um lado as cidades tendem a ser cada vez mais conectadas, da mesma forma que as cidades vão registando grandes quantidades de informação, que junta revela acontecimentos urbanos, fazendo com que estas sejam sistemas de ocorrência e de eventos e de que as cidades tem vindo a tornar-se cada vez mais em sistemas de informação;

A importância dos processos de automatização faz com que seja crescente o número de centros de investigação que trabalham na área. O grupo *Senseables Cities Labs*, integrado no MIT e fundado por Carlos Ratti, tem desenvolvido projetos baseados no conceito das smart cities, e na exploração da relação entre a arquitetura, dados e meios interativos em prol da inovação, evolução e desenvolvimento das zonas urbanas. Procura-se prever mudanças e acontecimentos em tempo real, com o intuito de otimizar o futuro, o grupo promove investigação interativa com recurso a meios tecnológicos que interligam as pessoas, a cidade e o mundo digital. De acordo com Carlos Ratti, a possibilidade de integração de tecnologias de interação permite que o projeto e os arquitetos passem a ter ferramentas que os auxiliem a aprender com a cidade, em tempo real, simultaneamente, a cidade pode conhecer melhor os seus habitantes.

O projeto *Sensing Light* desenvolvido pelo *Senseables Citie Lab* em 2021, demonstra a forma como pudemos aprender sobre as cidades, ao perceber que tipo infraestruturas esta disponibiliza, assim como a sua tendência ou evolução. Da mesma maneira que, alude para o potencial que uma cidade poderá ter com a implementação de dispositivos conectados à rede, ou por outras palavras, o potencial das redes IoT, bem como dos meios e sistemas tecnológicos que se conectam e interagem com a rede.

A iluminação pública é uma das infraestruturas mais omnipresentes e mais interconectadas nas cidades atuais. Simultaneamente a importância do seu desempenho energético faz com que sejam as infraestruturas que mais tenham evoluído. Tal como

refere Álvarez et al. (2017, p.1-5), estes equipamentos urbanos têm vindo a transformar-se em unidades programáveis conectadas à rede. Através de recursos de computação, alavanca-se a omnipresença dos postes de iluminação, transformando-os em plataformas de deteção urbana.

A integração de novas tecnologias e infraestruturas urbanas existentes, permite aumentar a procura de problemas e desenvolvimento de soluções, que possibilitam redefinir a cidade. A implementação de sensores e outros meios tecnológicos nos postes de iluminação associada ao facto de se encontrarem espalhados uniformemente pela cidade e a energia que oferecem, sobretudo aos meios sensoriais tecnológicos que são instalados, permite o desenvolvimento de diversas interações entre espaços construídos, mas também com os espaços naturais que as envolvem e com os restantes dispositivos tecnológicos que os mais diversos atores, incluindo os cidadãos, movimentam nas cidades.

O projeto *Sensing Light*, dá corpo ao conceito de *smart city* e da sua transformação, através da implementação de sensores em infraestruturas essenciais para a cidade. Trata-se de um projeto que tem permitido o desenvolvimento de sub projetos que o complementam ou que com ele se articulam. O projeto *Smart Parking*, recolha de dados sobre temperatura e a qualidade do ar, e interação com dispositivos de iluminação, luzes guia, que permitem atuar sobre as ruas que se apresentam mais congestionadas ao mesmo tempo que orienta quem visita a cidade.

De facto, as cidades têm vindo a transformar-se num sistema de informação, que é avaliada em tempo real, onde através de determinados sistemas cibernéticos a relação entre os edifícios, as suas funcionalidades, o ambiente urbano e os cidadãos tem vindo constantemente a reconfigurar-se, de modo a haver uma maior eficiência e flexibilidade do espaço. Os sensores são emparelhados como atuadores responsáveis pela execução, que embora dependem de determinadas instruções, mostram que as cidades têm vindo a tornar-se cada vez mais inteligentes. Porém, o conhecimento apresenta-se pouco estabilizado, está hoje disponível uma grande variedade de soluções.

Neste contexto importa refletir sobre o sentido e utilidade que se pode atribuir ao uso de meios interativos, nas zonas urbanas. Quais são os dados já disponíveis na cidade e quais é que devem ser os processos de recolha e processamento incrementados. Quais são os dados prioritários ao desenvolvimento, da cidade? Que dispositivos estão disponíveis nas zonas urbanas e de que forma integram meios interativos?

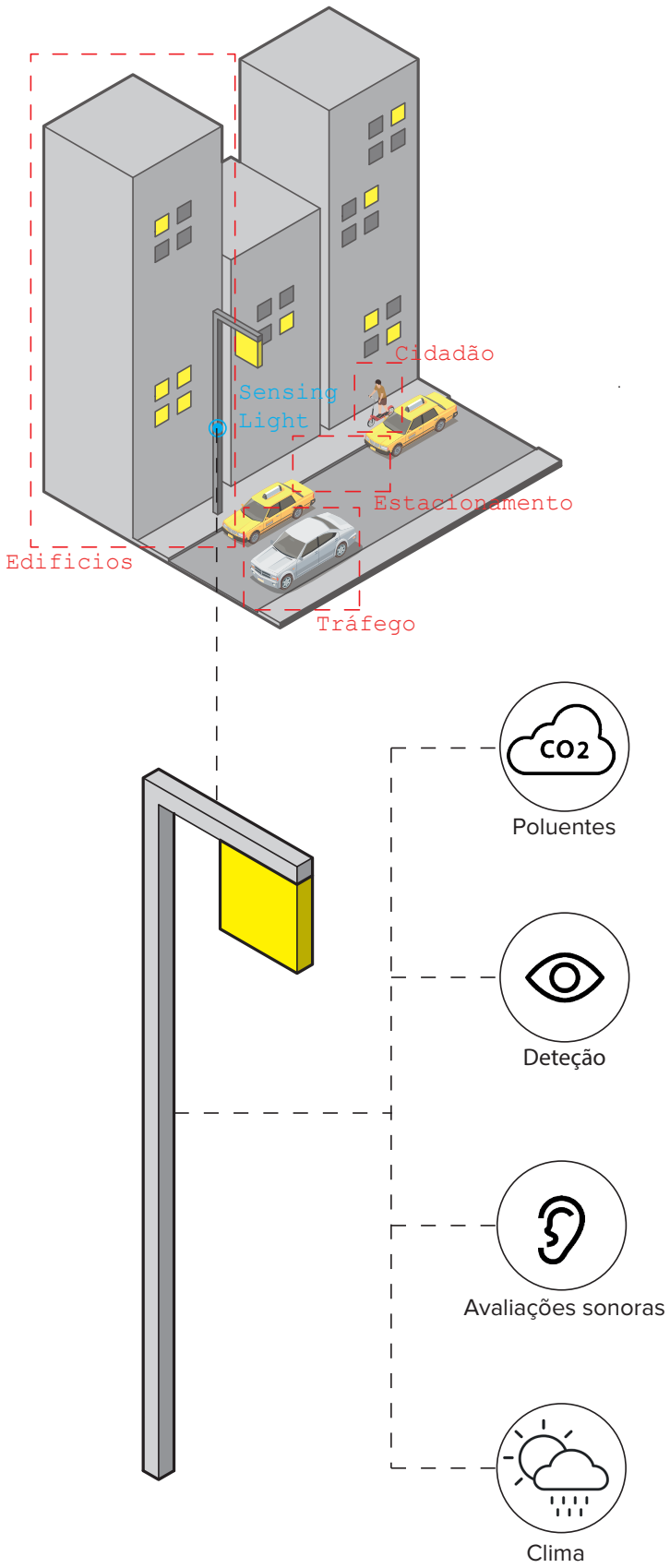
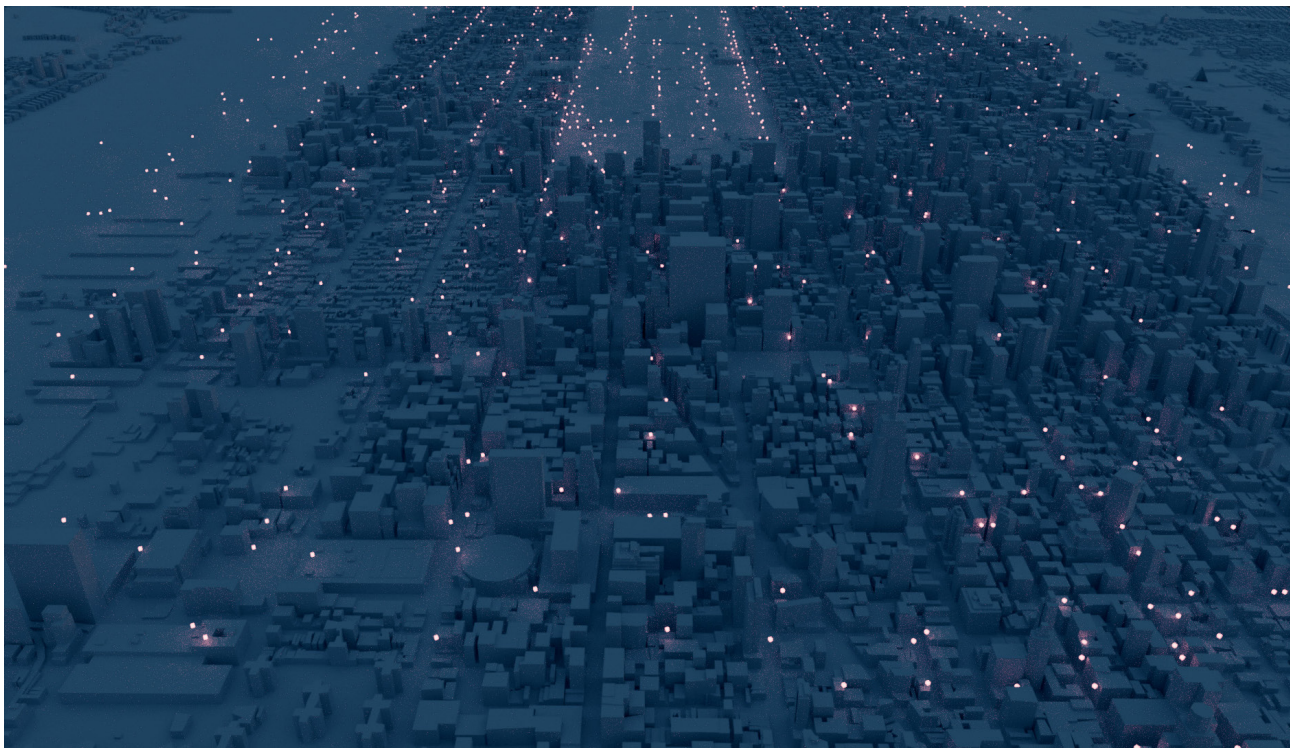


Figura 4. Esquema que designa o objetivo do projeto *Sensing light*, do laboratório *Senseable Cities*

a iluminação pública é uma das infraestruturas mais omnipresentes, assim como são as infraestruturas mais interconectadas e presentes nas cidade;



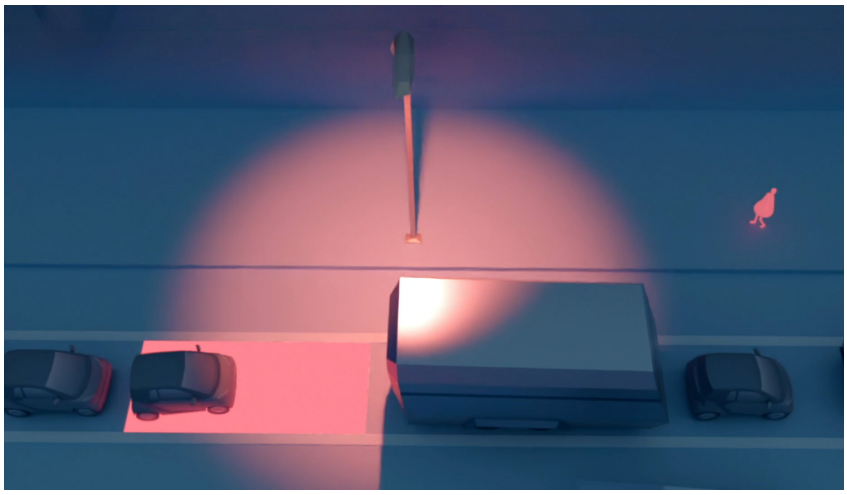


Figura 5. e 6. Frames do video de apresentação do projeto *Sensing light*, dsenvolvido pelo laboratório *Senseable Cities*;

Os postes de iluminação consideram-se como infraestruturas imprescindíveis para a caracterização das cidades, visando um grande potencial na implementação de sensores e outro tipo de tecnologias, devido à sua omnipresença, de se encontrarem espalhados uniformemente pela cidade;

3. Campus Azurém enquanto *Senseable Campus*

Com o objetivo de aferir as potencialidades das redes IoT's, bem como aprofundar o conceito das *smart city*, no âmbito de um espaço urbano, procurou-se desenvolver um olhar mais aprofundado sobre o Campus de Azurém da Universidade do Minho. Procura-se identificar e refletir sobre os sistemas tecnológicos já instalados, procurando refletir sobre o seu potencial enquanto *Senseable Campus*, e sobre a forma como podem ser colocados em interação de forma a responder a desafios emergentes em prol de um futuro melhor. Na investigação o campus universitário é visto como protótipo de uma cidade constituindo-se como laboratórios de experiências e ideias inovadoras na resposta aos desafios urbanos e à complexidade de ordenamento e gestão. O facto de se situar numa área urbana de transição, contigua ao centro histórico da cidade de Guimarães, mas entre uma zona mais consolidada e uma zona em profunda transformação, faz do campus um espaço privilegiado para a experimentação. A sua relevância a nível nacional faz com que os modelos urbanos elaborados ou testados no campus possam informar e orientar a ação em outros contextos.

No Campus de Azurém estão sediados cursos de Arquitetura, design e engenharia, potenciando-se como laboratório experimental para uma colaboração multidisciplinar entre o planeamento e o desenho urbano do Campus baseado numa colaboração multidisciplinar entre desenho, a construção, os meios interativos e as pessoas.

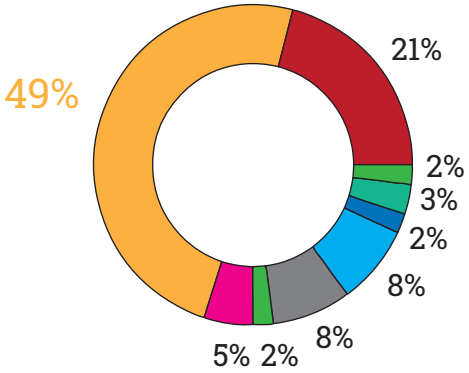
No que respeita aos dispositivos interativos, o campus apresenta câmaras de vigilância, sensores, nomeadamente os de presença, que normalmente tem como função acender ou desligar a luz perante a presença humana, ou de deteção de fumo. Também apresenta sensores de identificação, programados para uma determinada ação, como os leitores de cartão que se encontram à entrada dos departamentos, que permitem o aluno usufruir o estabelecimento do seu curso fora de horas. O mesmo se aplica aos detetores de matrículas de carros, que permitem a entrada do veículo no campus. Existem outros dispositivos interativos, como *Qr code* ou *RFID* que permitem identificar objeto e caracterizá-lo na rede virtual, embora o campus ainda não disponibiliza *QR code* que identificam os edifícios do campus.



Figura 7. Localização do campus de Azurém (1:20000);



aproximadamente
2.5km
ocupação cerca de
10%
de guimarães



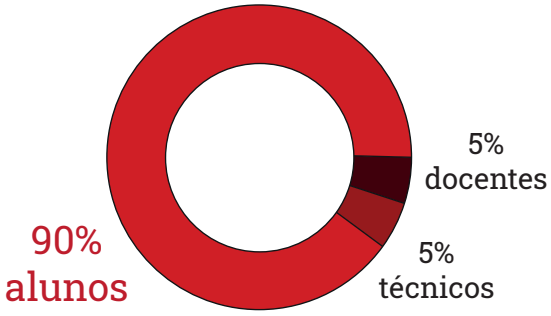
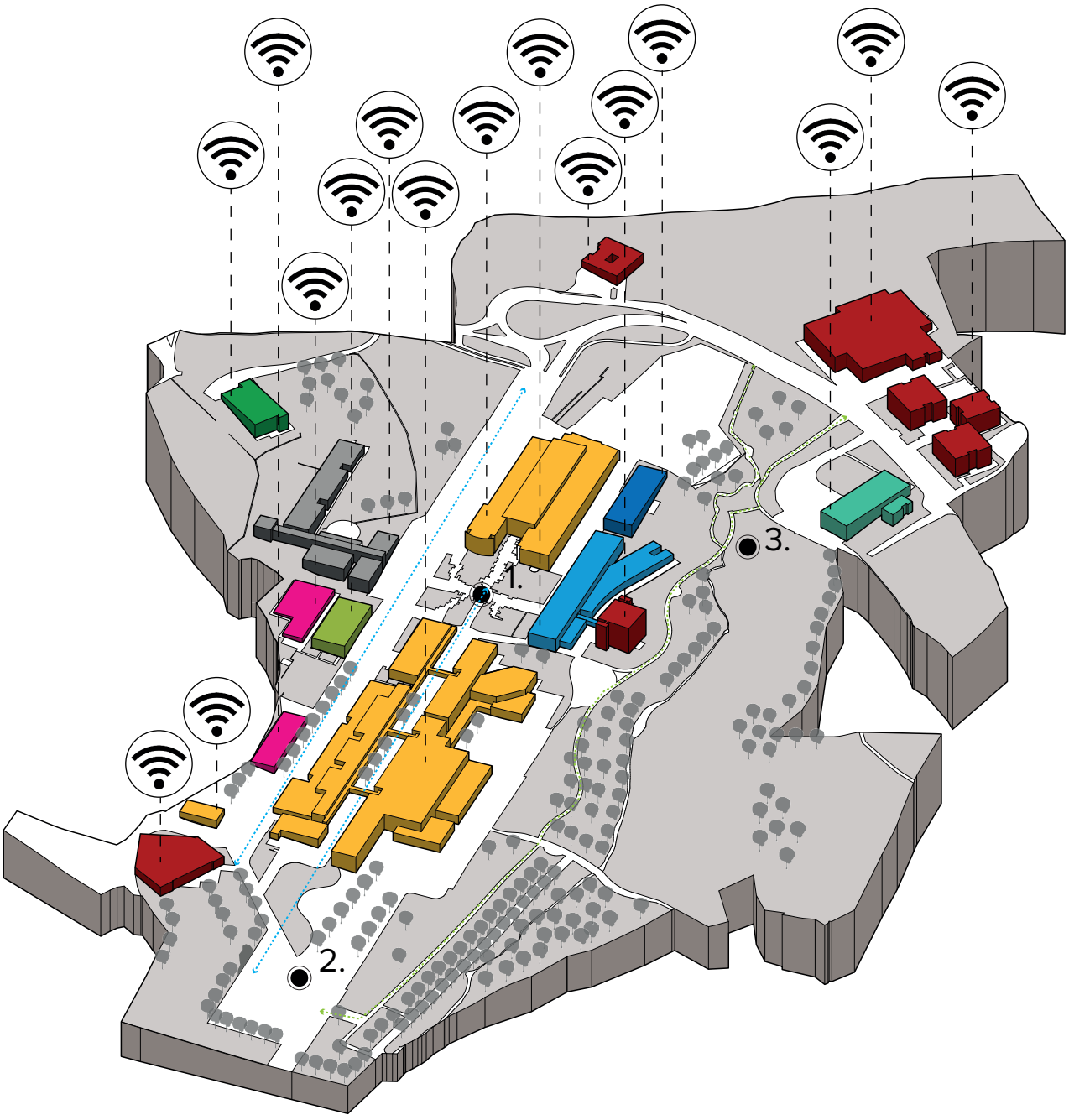


Figura 8. gráficos que apresentam de cima para baixo a área ocupacional do campus em guimarães, a ocupação dos edificios no campos e a percentagem dos cargos no campus;

Figura 9. Campus de Azurém e localização de rede wi-fi, bem como identificação das zonas e percursos com potencial de análise;



Legenda:

- Edificio UM
- Escola de Engenharia
- Escola de Ciências Sociais
- Instituto de Bio-sustentabilidade
- Escola de Arquitetura
- Centro de valorização de residuos
- Escola de Ciências
- Centro de compuatação gráfica
- Polo de engenharia de polimeros

- Zonas de WI-FI
- Vegetação
- Limite do campus de Azurém
- Ligações de poente a nascente
- Caminho de Erasmus



Figura 10. Foto da Praça;

A praça que liga os edificios de engenharia e arquitetura é um dos locais do campus com potencial de análise, devido a ser um dos centros do campus, reunindo a maioria dos alunos;



Figura 11. Foto da entrada principal do campus;

A zona da entrada principal, para além da circulação pedonal apresenta também a circulação de veículos, o que faz com que também seja um bom local de análise;



Figura 12. Foto do “caminho de Erasmus”;

O caminho de Erasmus devido à sua conexão com as zonas verdes, assim como a utilização ocasional para exercicio fisico, é também um bom percurso de análise, assim como o corredor da engenharia e a via que conecta a entrada nascente à entrada poente também são também zonas relevantes para análise, visto que são as vias mais frequentadas do campus, no exterior;

Figura 13. Camara de vigilâcia situada no departamento de computação gráfica;

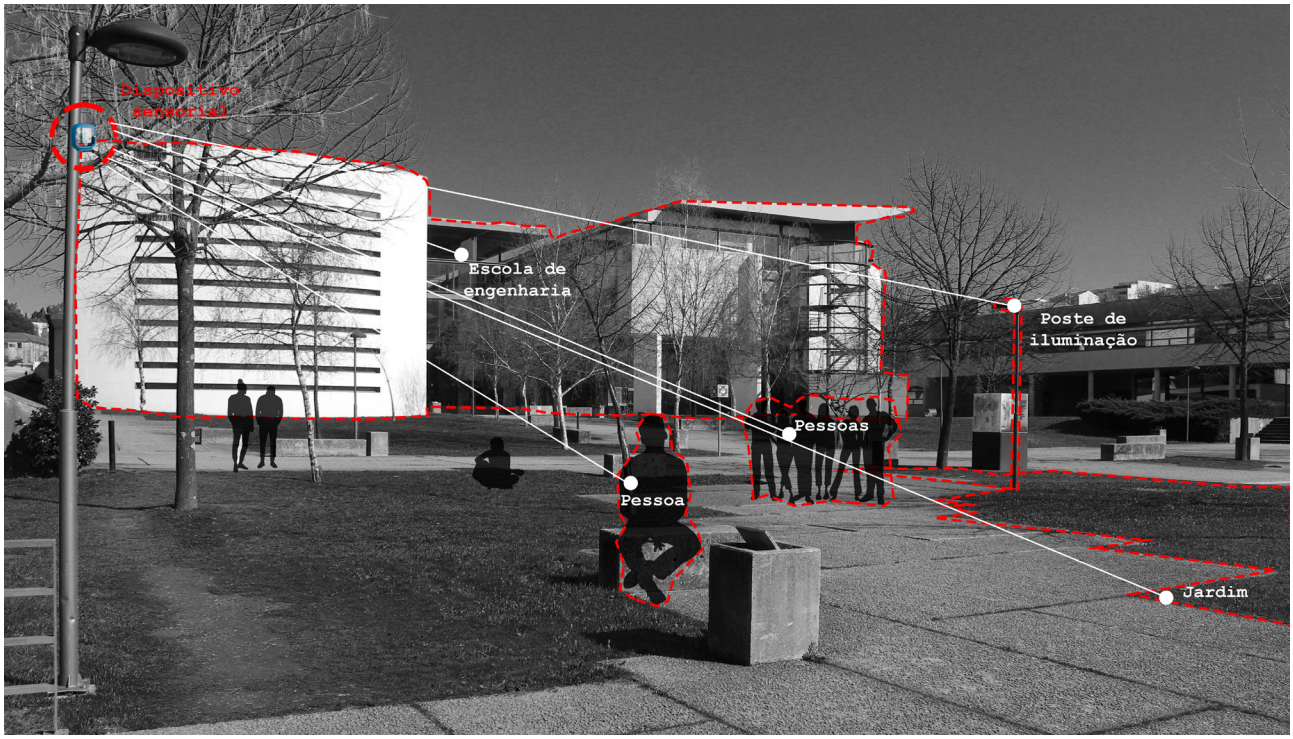


Figura 14. Indentificação, através e um Qr code, de uma das árvores proximas do departamento da EAAD;



Figura 15. Sensores que permitem a entrada de veiculos na universidade pela zona nascente; através da leitura da matrícula;





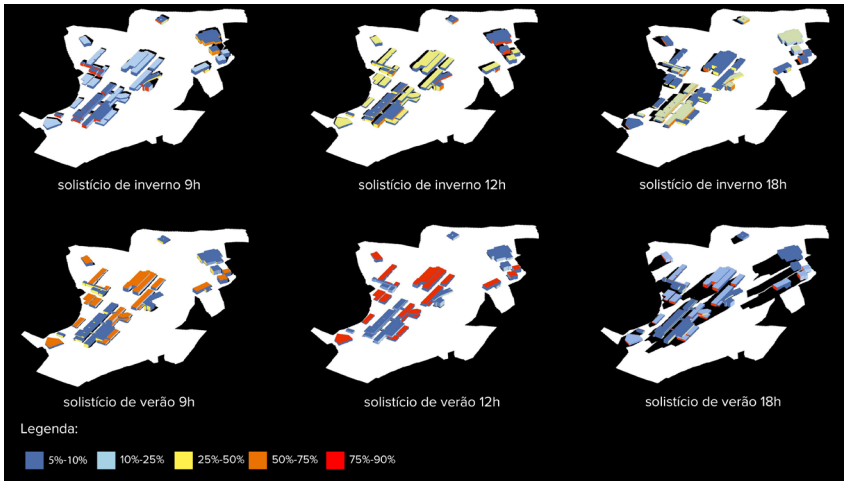


Figura 16. Aplicação dos dispositivos no campus de Azurém, na zona da praça;

Figura 17. Avaliação da radiação solar no campus de Azurém através do plug-in *Ladybug* e *honeybee*;

No entanto, uma das vantagens que o campus apresenta, para além das que foram referidas, é de dispor uma rede de dados local. Ainda que o acesso seja limitado apenas às pessoas que frequentam a universidade. A disponibilização de uma rede *wi-fi*, potencia o desenvolvimento de projetos relacionados com as redes IoT, agilizando a conexão entre o espaço, as infraestruturas e as pessoas que o frequentam.

Atualmente aproximadamente 20 mil pessoas integram a comunidade do Minho, desde aproximadamente 90% são estudantes correspondendo os restantes 10% a docentes, investigadores e técnicos. No que respeita ao campus de Azurém, estima-se em que corresponda a ¼ da comunidade universitária, aproximadamente 5 mil estudantes[1].

Com base nestes dados, uma boa quantidade de dados é gerada no campus de Azurém. Tendo em consideração que cada individuo que frequente o campus tem pelo menos um telemóvel, um determinado espaço do campus é capaz de gerar grandes quantidades de dados, como o estado da pessoa, a sua localização ou até mesmo a sua opinião em relação ao campus, que podem vir a ser uteis para o desenvolvimento do campus. Assim sendo, a ideia *senseable campus* pretende captar e analisar esses e muitos outros dados, baseando-se em metodologias, que visam o desenvolvimento do campus.

Tal como no projeto *Sensing Light*, pretende-se criar dispositivos interativos que tem como objetivo capturar e analisar os dados que são gerados nos espaços do campus de Azurém. Com funções já pré-definidas, especificas de análise ao espaço, como ambiente sonoro, temperatura, qualidade do ar, humidade, entre muitas outras análises, como por exemplo os dispositivos *Smart Citzens*[2] desenvolvidos pela *Fab Lab de Barcelona* e o *Instituto de arquitetura avançada da Catalunha*, *(IaaC)*. O objetivo passa por facilitar a perceção de um ambiente físico, através da sua envolvente e das ações que vão decorrendo, através da população que o frequenta, através de um projeto, de livre acesso, desenvolvido pela comunidade, para o seu desenvolvimento. Assim sendo, propõe-se criar dispositivos com funcionalidades semelhantes, para depois serem instalados em pontos específicos do campus para a análise espacial.

Com os dispositivos criados e programados, necessita-se de uma "plataforma" capaz de armazenar a informação que foi capturada e comunicá-la. A digitalização do campus universitário através da criação de um *Digital Twin* do campus de Azurém, uma ferramenta de trabalho com crescente impacto na arquitetura. O modelo permite armazenar, analisar e comunicar virtualmente os dados captados num espaço físico por parte de um dispositivo sensorial criado e obter novas informações através das ferramentas do próprio software. Toma-se como exemplo o *Ladybug e Honeybee*[3], extensão do software *Rhinoceros 3D* e *Grasshopper*[4], que permite avaliações ligadas ao clima, sombreamento, radiação solar e o vento de um determinado espaço urbano. Simultaneamente, a existência de estes modelos digitais e a forma como reúnem a mais diversa informação podem incrementar os processos de interação com a comunidade e a consequente participação pública.

Em suma, é com base nestas premissas que se desenvolve o conceito de *senseable campus*, um campus no qual se procede à captura e análise de grandes quantidades de dados com recurso a dispositivos já existentes no mercado, mas também a dispositivos que possam estar em fase de desenvolvimento. Sendo que esses dados devem ser armazenados, analisados e comunicados visualmente, com recurso a modelos virtuais e a sínteses gráficas capazes de fortalecer a caracterização do espaço e informar os processos de transformação, dos mais institucionais e planeados aos mais informais e expeditos.

1. Uminho. (2021). Obtido de Factos e números: https://www.uminho.pt/PT/uminho/Paginas/factos-e-numeros.aspx

2. O projeto *Smart Citzens* baseia-se num dispositivo e numa plataforma aberta que permite a análise a um determinado espaço, este projeto foi desenvolvido pelo IaaC juntamente com a Fablab de Barcelona;

3. Extensões do software *Rhinoceros 3D* que permite análises climatéricas de um determinado espaço;

4. O rhinoceros é um software de modelação 3D, já *Grasshopper* é a VPL do software;

II. Dados e o ambiente construído

1. Componente do conhecimento digital

Instintivamente julgamos a conhecer bem o termo “informação”, relacionando para fatos transmitidos sobre algo ou alguém. Porém, atualmente este termo tem se conotado cada vez mais com “dados” devido à sua relação com o mundo tecnológico, baseado no seu processamento, armazenamento e comunicação por parte de dispositivos interativos. Fazendo com que a palavra “informação” seja uma, citando Ludger Hovestadt (2020, p. 695), “resposta a algo que resolve incertezas, através de dados que representam valores atribuídos a parâmetros de conhecimento e entendimento entre a realidade e os conceitos abstratos”

Importa decifrar a palavra “informação”, uma vez que neste capítulo se pretende mostrar as metodologias existentes para a captação, processamento, gestão e visualização de informação ou dados, visto que apesar de todo o potencial que estes apresentam, é necessário estabelecer um modo de utilização, pois não interessa a quantidade de dados que são gerados, se estes não forem coerentes com os requisitos que são propostos.

Tal como foi referido no capítulo anterior, a partir de um espaço é possível extrair grandes volumes de dados estruturados e não estruturados. Segundo André Malheiro (2020, p. 17), os dados estruturados são modelos geométricos gerados através de algoritmos e esquemas pré-definidos, enquanto que os dados não estruturados, são normalmente caracterizados por textos, ficheiros de multimédia, onde a sua estrutura não segue um esquema pré-definido, a ausência de estrutura faz com que a pesquisa de uma informação especifica seja mais difícil, contribui para que se perca muita da informação. A maioria dos dados que são gerados a cada segundo, são não estruturados, o que possibilita o estudo e análise dos mesmos, de modo a definir estratégias de utilidade. Contudo, no que respeita à arquitetura, o seu planeamento e construção, ainda não atingiram a capacidade de coletar, armazenar e analisar os dados, considerando-se um trabalho em vias de desenvolvimento.



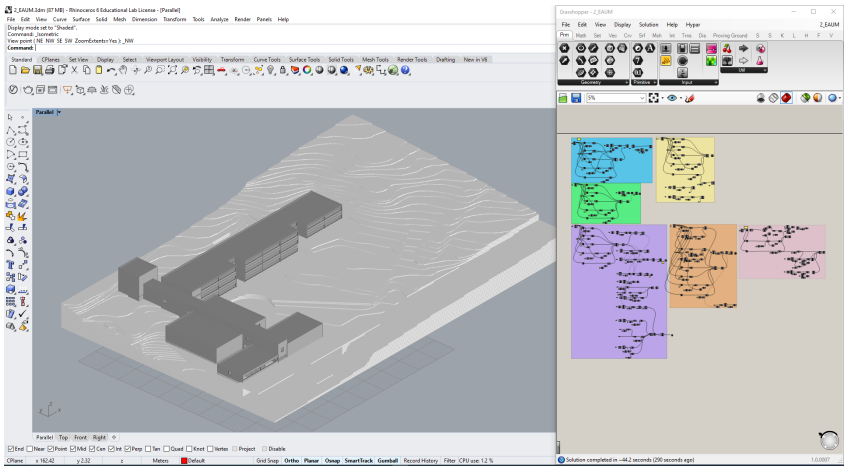


Figura 18. Fachada principal da EAAD;

Figura 19. Digitalização da EAAD através do software *Rhinoceros 3D* e a sua VPL *Grasshopper*;

Recorrendo à metodologia de Big Data DT. Através desta digitalização, consegue-se extrais novas informações do modelo virtual, bem como vzualizar novas informações, captadas por dispositivos interativos, no modelo virtual.

1. Componente do conhecimento digital

Surgem modelos, ou até mesmo software de design que permitem trabalhar com *big data*, tentando conciliar a procura de dados emergentes com a arquitetura. Um dos modelos conhecidos, são os modelos BIM *(Building Information Modelling*), que permitem associar informações a objetos, para além da sua configuração geométrica. No entanto estes focam-se essencialmente em dados estruturados, com esquemas já pré-definidos, de forma a prever a construção física através de um modelo virtual do projeto, restringindo assim, o tipo de dados que são captados. Assim como os modelos CIM *(City Information Modelling)*, similares aos modelos BIM, mas enquanto que os modelos BIM trabalham à escala de um edifício, o modelo CIM, tal como o nome refere, são modelos que trabalham à escala urbana.

Outra forma de trabalhar arquitetura com big data, importante para este trabalho, são as *Digital Twin*. Com base no André Malheiro (2020, p. 49), o conceito de *Digital Twin* teve os seus princípios na NASA, onde se designava como *"Mirrored Systems"*, fundamentando-se em 3 partes distintas: o objeto físico real, o objeto virtual e a conexão entre eles, constituída pelo fluxo de dados que o objeto real disponibiliza para a criação do objeto virtual, e as informações que o objeto virtual apresenta para complementar a informações adquiridas pelo objeto real. Trata-se de uma estratégia de trabalhar com *big data*, que consiste numa troca de dados ou algoritmos entre modelos virtuais e físicos, que visam em descrever as componentes e comportamentos de ambos os mundos, fundamentados pela análise e previsão de problemas do mundo físico através da digitalização.

Assim sendo, uma das vantagens apresentada pelos *Digital Twin* consiste na possibilidade do arquiteto monitorizar os seus projetos, de grande ou pequena escala, em tempo real, tal como refere Rebecca Ildikó Leete (2022). Tendo em mente que um espaço gera constantemente novas informações ou dados sobre o espaço, que são captados, analisados e armazenados por meios sensoriais interativos, redes Iot's e softwares. Permite que o arquiteto possa utilizar essa informação no processo de conceção, incorporando determinadas exceções de utilização de espaço, partindo do princípio que cada pessoa tem a sua própria perceção do espaço, originada pelas suas experiências socioculturais, tal como refere Kevin Lynch (1960, p.2), sendo que através dessas exceções se poderá vir a desenvolver o espaço.

O projeto *"Virtual Singapure"*[1] é um exemplo da utilização de *Digital Twins* para a análise e desenvolvimento da cidade. Com base na criação de um modelo virtual da cidade, conectado ao mundo físico através de sensores e meios interativos que a cidade disponibiliza. A ideia do *Senseable Campus* apresentada no capítulo anterior pretende seguir a mesma metodologia, neste trabalho, criou-se um clone virtual da EAAD, em específico do espaço do bar onde se irá implementar os sensores, de forma a testar o que se tem vindo a aborda ao longo desta investigação.

1. Segundo site *"Gove Tech Singapore"*, o projeto baseia-se numa colaboração entre a NRF (*National Research Foundation)* e SLA (*Singapore Land Authority)*, na crição de um modelo 3D topográfico da cidade de Singapura, que contém as informações da cidade que vão sendo geradas com o decorrer do tempo, com a ajuda GovTech (*Government Technology Agency of Singapore)* que fornece as informações das cidades através de meios tecnológicos. Este projeto também conta com a colaboração da empresa de design francesa, *Dassault Systèmes*, especializada em soft wares de modelação 3D.

2. Recolha de dados

O processo de análise de um espaço com recurso à recolha de informação, pode ser feito através sensores ligados e á rede IoT's, ou através do conhecimento próprio da forma como é frequentado um determinado espaço, bem como a sua configuração. Tal como refere Reinhard Konig e Sven Schneider (2020), a captação de dados pode ser feita das seguintes formas. De forma passiva, através de sensores que permitem obter dados do espaço e das ações das pessoas, sem que estas influenciem diretamente no processo e através de uma forma mais ativa, baseado na submissão de dados por parte dos utilizadores que tem conhecimento do espaço, podendo ser opiniões dos utilizadores que visam o desenvolvimento do espaço.

Ambos os processos apresentam as suas limitações, sendo que o processo ativo exige um esforço de participação e de envolvimento que nem sempre é fácil de assegurar, da mesma maneira que o processo passivo sendo ele altamente tecnológico e dependente de softwares muito complexos, que trabalham com informação muito vasta e diversa, necessitando de um certo conhecimento de programação, como o *Python* por exemplo, para que o computador possa aprender os conhecimentos.

Toma-se como exemplo dois projetos, relacionados com a captura de dados para o desenvolvimento da arquitetura, ambos desenvolvidos pelo *Instituto da Arquitetura Avançada de Catalunha (IaaC)*, sendo eles o projeto *"Super Bairro"* e o projeto *"Smart Citzens"*.

Super Bairro

"Os vídeos jogos apresentam um grande potencial, nomeadamente na interação dos jovens no planeamento urbano. Jogos como por exemplo o Minecraft e Block'hood, permitem criar um mundo virtual à maneira do utilizador. No entanto pretende-se que o jogo Super Bairro seja um jogo comunitário, onde os cidadãos de Barcelona possam apresentar as suas opiniões virtuais da cidade através de um jogo virtual. Tratando-se de um jogo que desenvolve a participação do desenho." (Markopoulou, Ingrassia, Chronis, & Richard, 2018)

1. *Minecraft* baseia-se num jogo eletrónico de sobrevivência, desenvolvido pelo *Mojang Studios*, onde os jogadores exploram um mundo aberto pixelizado. Já o *block'hood*, desenvolvido pela *Plethora project* e publicado pela *Devolver digital*, baseia-se na construção de cidades, em torre, através de blocos;

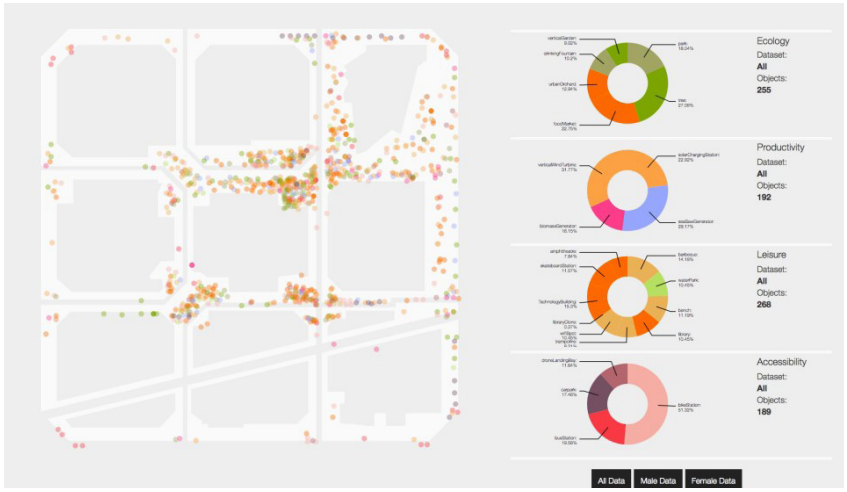


Figura 20. Servidor online do *Super bairro,* projeto desenvolvido pelo IaaC;

Todos os dados que são inseridos no modelo virtual, são armazenados e exibidos num mapa diagramático;



Figura 21. Dispositivo de *Smart Citzens,* projeto desenvolvido pelo IaaC e Fab Lab de Barcelona;

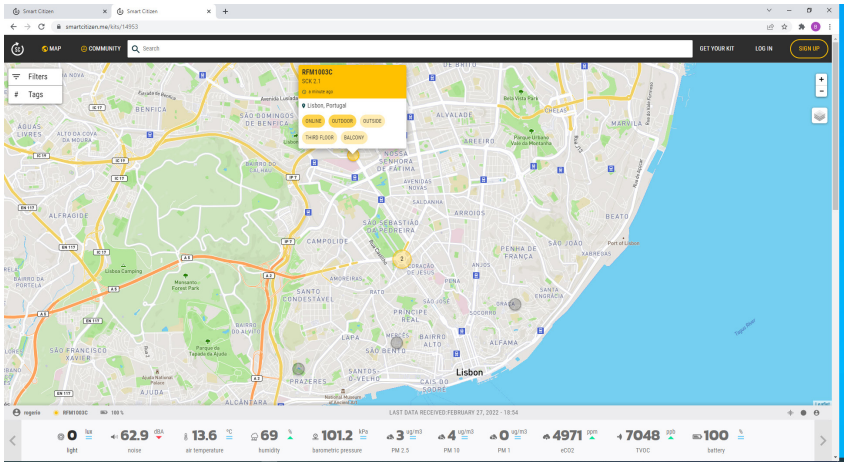


Figura 22. Plataforma virtual *Smart citzens*, projeto desenvolvido pelo IaaC e Fab Lab de Barcelona;

No projeto *Super Bairro* a primeira captura, partiu na conceção do desenho virtual da cidade, onde segundo Areti Markopolus (MARKOPOULOS et al., 2018), "a precisão do modelo 3D foi importante, uma vez que permitiu aos usuários identificarem as suas vizinhanças e as zonas chaves do local (...)". Elaborou-se também, um questionário a nível pessoal, das necessidades da comunidade e da zona em estudo, de modo a desenvolver as estratégias do jogo. O modelo é partilhado num servidor online, para que os usuários tenham acesso e partilhem as suas visões e opiniões sobre o bairro. Todos os dados que são inseridos no "jogo" são armazenados e toda a informação vai sendo atualizada e exibida numa espécie de mapa diagramático, de forma a comparar os valores obtidos, com o objetivo de apresentar as várias soluções que a comunidade oferece e compará-las, de forma a prever a melhor solução para o desenvolvimento do bairro.

Smart Citzens

Quanto ao projeto *Smart Citzens*, baseia-se também na criação de uma plataforma online, que consiste na criação de um dispositivo interativo capaz de captar dados de forma autónoma e partilha-los à comunidade. O projeto começa inicialmente por definir o que se pretende analisar no espaço, um problema comum a toda a comunidade. Segue-se a programação dos sensores das *Smart Citzens*, para coletar, analisar e armazenar os dados que se pretende do espaço, para depois serem instalados no local. Após a captação feita, dados recolhidos são partilhados numa plataforma online com acesso livre.

> *"A utilização dos Smart Citzens como uma ferramenta para a captura e análise de dados, consiste em perceber a relação entre as pessoas, o ambiente e as tecnologias através do desenvolvimento do mundo real. Um contributo do projeto que junta a comunidade e o desenvolvimento em código aberto." (Institute for Advanced Architecture of Catalonia e Fab Lab de Barcelona, 2020).*

Ambas as formas de captação apresentam o arquiteto como um intermediário entre o usuário, o espaço e a comunidade, que tem como intenção transformar o espaço urbano. No contexto desta investigação, optou-se por utilizar um processo ativo, através dos conhecimentos que estão acessíveis, para a criação de um modelo virtual de modo a produzir visualizações interativas dos dados que são captados pelos sensores, de forma a ter uma ideia mais percetível do que está a ser analisado, assim como na escolha do espaço a ser analisado. Também se optou por uma captação passiva, uma vez que se pretendia obter os dados gerados no espaço pelas ações das pessoas, sem que influenciem diretamente no processo. Para isso criou-se sensores interativos, processo esse que é abordado no capítulo ao longo do capítulo *III. Visão expandida do espaço.*

3. Metodologias de análise e vizualização

As metodologias de análise de dados adotadas, em decompor criteriosamente uma elevada quantidade de dados, de forma a obter uma informação estruturada. Deste modo é possível o estabelecimento de padrões que não são convenientemente interpretados. Para isso, os modelos de análise deverão ser compreensíveis e simples, para que se entenda a necessidade e a importância dos dados adquiridos.

Com a informação que se gera, através da tecnologia que se tem vindo a desenvolver, existe um incentivo para uma modelação de autonomia própria por parte dos dispositivos, devido às suas previsões nos dados acessíveis, tornando-os em decisões mais sólidas e coerentes, desenvolvendo o mundo, ao torna-lo mais dinâmico, pragmático e preciso. Tendo como referência André Malheiro (2020, p. 37), “estas metodologias, visam responder a requisitos mais amplos, de forma a promover todo o potencial da informação obtida, baseando-se em diferentes tipos de processamento de dados, desde métodos básicos a progressivamente expor mediações de métodos mais complexos”.

Começando pela captura dos dados, referida anteriormente, a que designamos de *Data mining*. Numa forma sucinta trata-se de uma filtragem de dados que permite encontrar padrões sólidos de modo a que se tornem operativos, através de regras que, se designam de *data-driven design*. Os *data-driven design* são requisitos que ajudam a perceber os dados de forma mais efetiva, com intuito de otimizar os riscos do projeto, podendo ser questionáveis, visto que se fundamentam em questões que se vão desenvolvendo ao longo do tempo.

A par do processo data-mining existe um outro processo, ligado a inteligência artificial (IA), a que se designa de *Machine Learning*. As metodologias *Machine Learning* centram-se na ideia de que os sistemas poderão aprender de forma a tomar decisões tal como o ser humano. Dentro da *Machine Learning* existem outros campos de “aprendizagem” como a *Deep Learning*, tal como o nome indica, a *Deep Learning* aprofundam mais a análise proveniente da *Machine Learning*, numa análise mais automatizada, onde não necessita de intervenção humana, enquanto que a *Machine Learning* necessita de uma certa intervenção humana para aprender. Para além da *Deep Learning*, também se

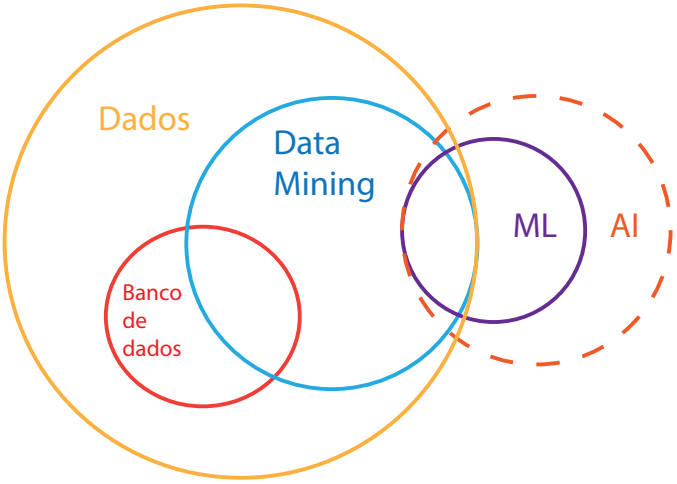


Figura 23. Esquema explicativo das metodologias de análise de *Big Data*;

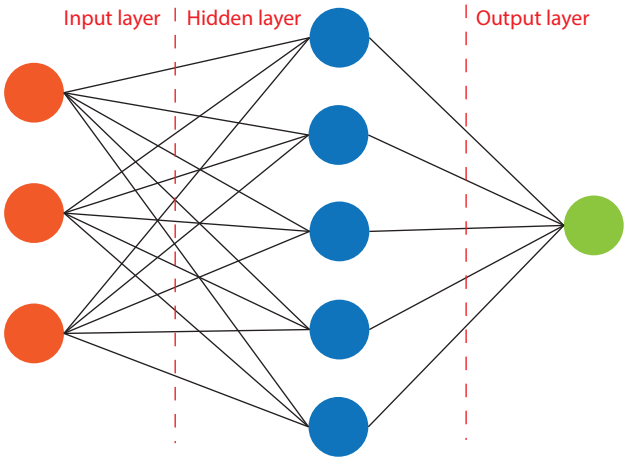


Figura 24. Esquema explicativo das metodologias *Machine Learning*;

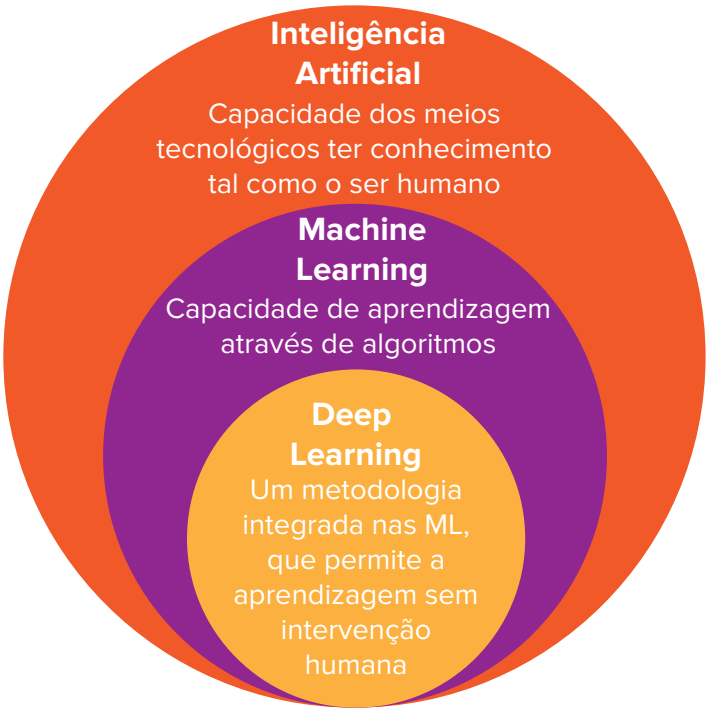


Figura 25. Esquema explicativo das *Artificial Neural Networks*;

encontra a *Neural Network* ou *Artificial Neural Network*. AS *ANN's*[1] são redes neurais das *Machine Learning*, inspiradas pelo sistema neural de um ser vivo que permite realizar os processos das *Machine Learning* e das *Deep Learning*, em suma trata-se de uma decomposição da informação adquirida, para chegar a uma conclusão.

Após a captação e análise feita, os dados são armazenados no computador, *cloud* ou banco de dados ou *Data bases*, como por exemplo o *mySQL*[2]. No caso deste trabalho académico o armazenamento dos dados é feito no próprio computador que recebe a informação captada pelos dispositivos. Após todo este processo, os dados enquanto armazenados poderão ser novamente analisados, através das metodologias referidas, de forma a comunicar e partilhar o que se está a analisar.

Existe de facto uma certa complexidade na manipulação dos dados que fazem com que a envolvência das *Machine Learning* e de outras metodologias de inteligência artificial, possibilitem a evolução da arquitetura com o conhecimento de novos paradigmas informáticos, a diferença entre o desenho humano e o desenho computacional tem vindo a ser quase nula, possibilitando a novas formas de desenho e de conceção de projeto. O objetivo passa por evoluir esses dados para uma organização mais estável e clara, através da exploração de todo o seu potencial, tratando-se de uma tarefa complexa, mas que se for bem-sucedida poderá definir novas formas de projeto.

AI Station

Para explicar este procedimento de análise, tem-se como exemplo o projeto *AI Station*, do laboratório *Senseable Cities*, com a colaboração da *SNCF Gares & Connexions* e a *Austrian Institute of Technology*.

> *"A compreensão de um determinado espaço pode ser vista como uma chave para um mapa cognitivo de um edifício, mas também uma representação interna de um ambiente. Cada um utiliza essa representação como referência para a utilização do espaço, no entanto cada pessoa tem a sua própria compreensão do espaço originada pelos seus padrões socioculturais ou experiências." (Wang, et al., 2019, p. 1 e 2).*

A intenção do projeto passa por analisar os espaços e o comportamento das pessoas que os frequentam, através de métodos de análise das *Machine Learning*. Para isso, utilizam como método a *Deep Convolutional Neural Network (DCNN)*, para analisar as imagens que são captadas do espaço através de um dispositivo criado pelo laboratório, que percorre os espaços das estações, tirando fotografias panorâmicas, de forma a criar projeções esféricas e cúbicas, para que o sistema tenha uma melhor perceção do espaço em análise.

1. Sigla para Artificial Neural Networks;

2. sistema de armazenamento e gestão de dados, ou seja um banco de dados, que utiliza como linguagem programacional o SQL, Structured Query Language, isto é linguagem de pesquisa estruturada;

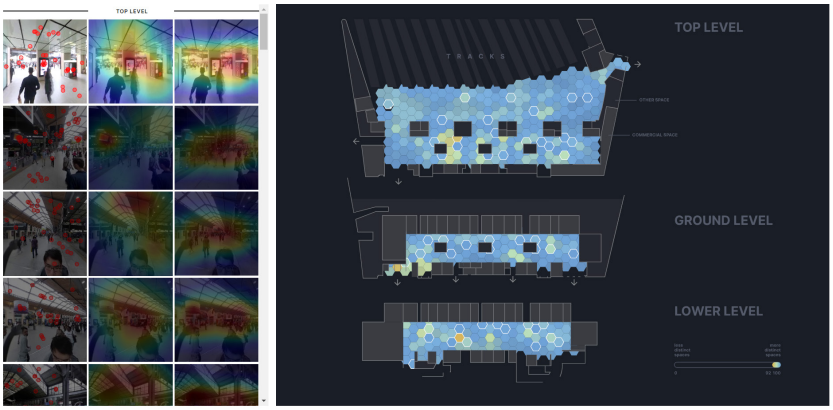
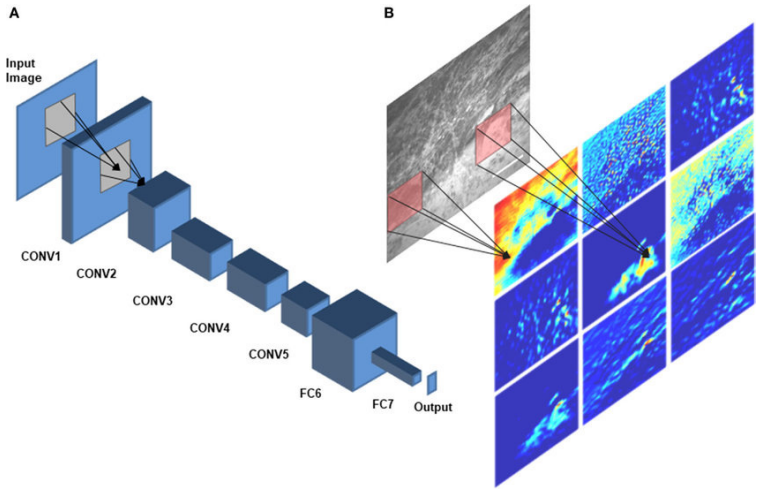
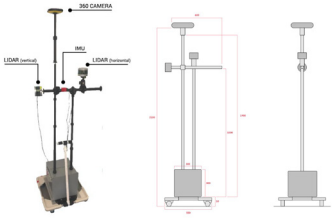


Figura 26. Interface do servidor de vizualização do projeto *AI Station*;

Figura 27. Esquema explicativo da metodologia *DCNN*;

Metodologia utilizada no projeto *AI Station*, dos laboratórios *Senseable Cities*;





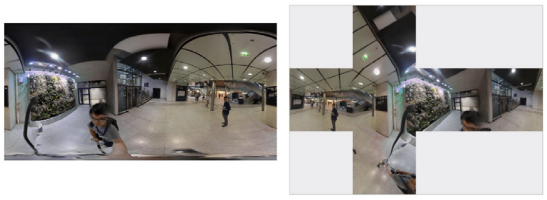


Figura 28. Dispositivo criado e utilizado no projeto *AI Station* e a suas captações em projeções panorâmicas e cúbicas;

O método *DCNN*[3] é um método associado à *Machine Learning*, onde analisa detalhadamente as imagens que são captadas através do dispositivo criado. As imagens são divididas por pixéis que são analisados, de forma a que no final da análise de cada pixel se chegue a uma conclusão do que se está a tratar na imagem captada, neste caso a identificação do espaço, através dos elementos que o caracterizam e das ações das pessoas que o frequentam.

Este processo é também utilizado neste trabalho de investigação, sobretudo na identificação das pessoas no espaço, através da análise de imagens que são captados por um dispositivo criado e configurado, a par de um outro dispositivo criado que faz avaliações sonoras que são geradas no espaço em estudo. Trata-se de uma parte importante do projeto elaborado, que se destina à autonomia de recolha e análise da informação por parte de dispositivos criados e configurados, para que se possa demonstrar, através destas metodologias de análise, que a máquina tem conhecimento. No entanto nem tudo tem significado e cabe ao arquiteto de configurar determinados elementos em algo mais concreto.

> *"Sempre que uma nova realidade se encontra em desenvolvimento, os arquitetos são chamados a constituir locais de significados, de modo a compreender e refletir o mundo de hoje ao seu redor, a arquitetura materializa a cultura proveniente do conhecimento em emergência. Sendo que o seu desafio consiste em estimular aquilo a que se designa cultura ou conhecimento atual, numa posição mais ativa na arquitetura. Isto é, que a arquitetura seja o reflexo da cultura, e vice-versa, sendo que uma configura e a outra informa. Tendo também em mente que a cultura atual tem vindo a ser cada vez mais tecnológica." (Hovestadt, 2020).*

A comunicação visual dos dados tem como objetivo dar valor aos dados analisados, ao torna-los mais percetíveis, ainda que de forma abstrata. Enquanto arquitetos, o desenho é a linguagem comum a todos que estão envolvidos no projeto e dessa forma existe a necessidade de encontrar softwares simples, mas com uma grande flexibilidade para a criatividade, capaz de desenvolver o desenho.

As *Visual Programming Language (VPL)* são o exemplo de softwares simples com uma grande flexibilidade para a criatividade, que tem vindo criar impacto na arquitetura, uma vez que não necessitam de grande conhecimento de computação. A maioria apresenta-se com uma metodologia diagramática, entre contentores de informação e ligações, onde dois contentores de diferentes dados conectam-se a um outro contentor no qual vai gerar novas informações *output*, baseadas nas informações *input* dos outros dois contentores conectados.

3. Sigla para *Deep Convulutional Neural Network*;

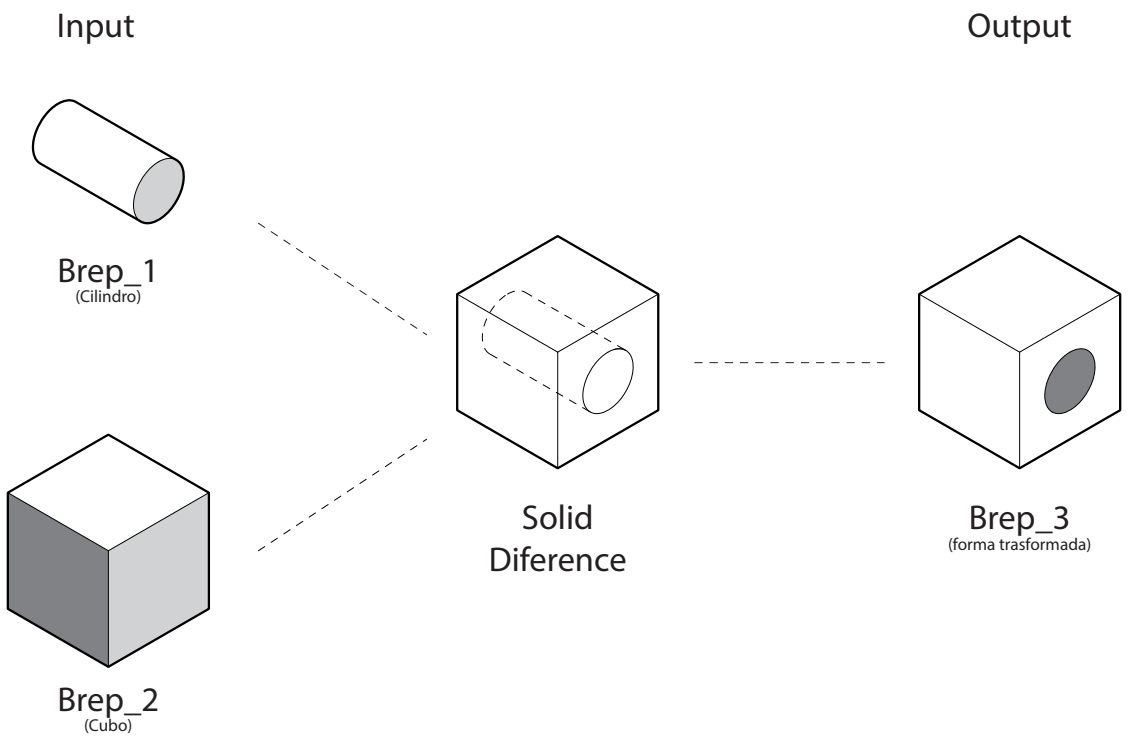


Figura 29. Esquema do funcionamento das VPL's

Desta forma, a linguagem programacional das VPL's é mais acessível comparada a outras linhas de comando sintaxe como *Python* ou *C++*[1], que são mais complexas no que toca a aprendizagem, devido aos seus termos de sintaxe. No entanto, algumas VPL's, como o caso do *Grasshopper*, possibilita a introdução de códigos *Python e C++*[4] no desenho virtual, podendo ser uma vantagem das *VPL's* visto que através da programação diagramática e de sintaxe, possibilita a que haja novas possibilidades de representação, baseada por um lado, na simplificação de procedimentos de modelação e por outro permite procedimentos de análise, automatização do modelo.

No caso da presente investigação optou-se por utilizar o *Grasshopper*, para a ilustração e comunicação da análise feita aos dados captados no espaço. O *Grasshopper* foi desenvolvido pelo arquiteto e programador alemão David Rutten em 2007, uma VPL integrada no software *Rhinoceros 3D* que faz com que esta ferramenta esteja vocacionada para o design, ilustração, modelação e análise. Tal como foi referido anteriormente, o *Grasshopper* apresenta contentores de programação sintaxe, como *python e C++*, mas também permite importar *plug-ins* que apresentam contentores com outro tipo de informação de análise, modelação ou até mesmo de automatização.

Proving Ground

Visto que esta investigação se centra na recolha, análise e visualização de dados num determinado espaço físico através de um modelo virtual, importa abordar os *plug-ins* de análise desenvolvidos pela empresa *Proving ground*. Trata-se de uma empresa fundada por

4. Linguagem programacionais de sintaxe. Sendo que *Python* comparado com *C++*, apresenta uma linguagem mais simples e acessível. No entanto, a sintaxe do *C++* permite que este seja mais fléxivel;

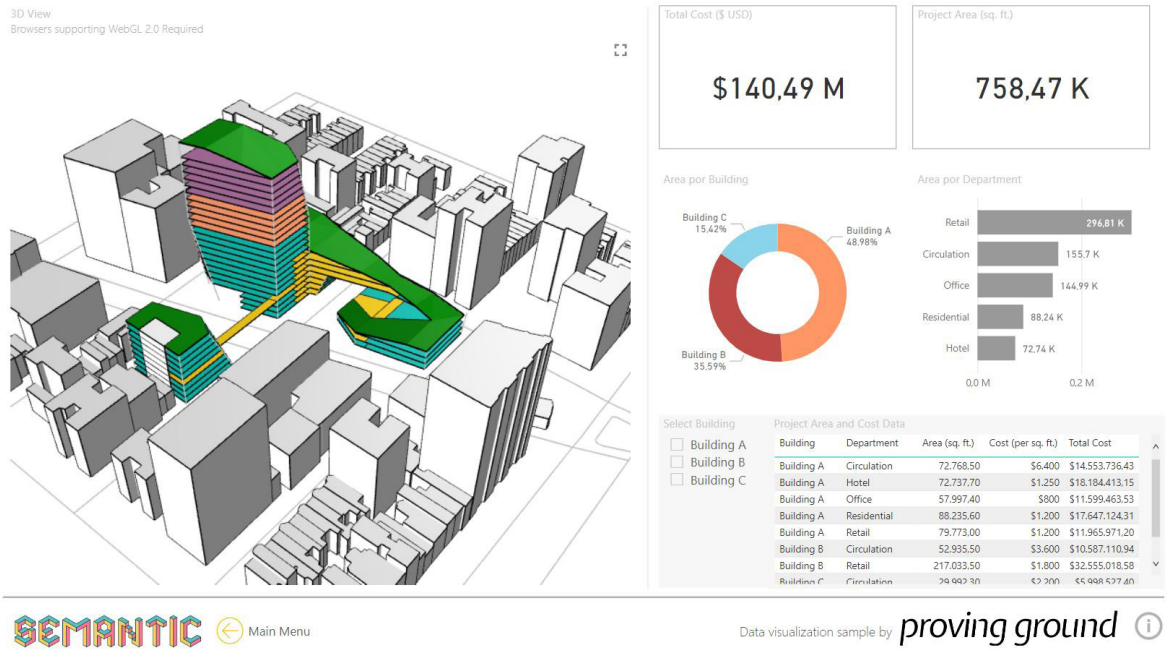


Figura 30. *Server HTTP* do *Power BI* com o *plug-in* Semantic, desenvolvido pelos *Proving Ground*

Nate Miller, empenhada no desenho digital na arquitetura, sobretudo na análise do objeto arquitetónico de forma a descobrir novas soluções.

> *"A transformação digital oferece ao arquiteto a habilidade de encontrar novas soluções inovadoras acompanhadas com dinâmica, performance e certeza. Acreditamos que a transformação digital da construção é essencial para a criação de um mundo melhor". (Miller, s.d.)*

A empresa apresenta plug-in's como *Semantic* e *Conduit*, essenciais para análise e visualização dos dados que objetos apresentam. O *Semantic* vocaciona-se essencialmente na visualização e análise do objeto arquitetónico, enquanto que o Conduit apresenta uma maior liberdade na visualização de análise, vocacionando-se apenas em gráficos e diagramas. Outro aspeto de realçar do *Semantic* é que este *plug-in* apresenta uma extensão para o software *Power BI*, software esse desenvolvido pela *Microsoft*, destinado a visualização de dados de forma interativa, permitindo também partilhar a informação que o *plug-in* via online, através de um site, sobretudo o modelo virtual em análise.

Nesta investigação recorreu-se ao plug-in *Conduit*, uma vez que os dados que foram captados pelos sensores não se encontravam estruturados, necessitando-se de uma ferramenta com maior liberdade de trabalho de análise e visualização. Outra versatilidade do *Grasshopper*, que consiste na importação de informação não estruturada e trabalhar com ela no software, através dos contentores que o próprio disponibiliza, como o caso do *Ladybug e Honeybee*, destinadas a análise climática, permite introduzir informações, neste caso estruturadas, no projeto.

III. Visão expandida do espaço

1. Digitalização da EAAD

Após o conhecimento das metodologias e do processo de trabalhar com *Big Data* na arquitetura, assim como o conhecimento de algumas referências que incentivam a este trabalho proposto, pretende-se colocar em prática todo o conhecimento adquirido ao longo dos capítulos anteriores, permitindo aprofundar a possibilidade de aplicação de metodologias de *Big Data* em arquitetura e no conceito de *Senseable Campus*.

Neste capítulo propõe-se aplicar alguns dos sistemas anteriormente detalhados. A investigação centra-se agora na análise de um espaço físico no qual se instalaram sensores que captam informações caracterizadoras do espaço, e que podem ser uteis à arquitetura. A informação recolhida será importada para o *Digital Twin* da escola EAAD, dando origem a novas representações do edifício.

No processo de conceção do *Digital Twin* da EAAD, recorreu-se a conhecimento, aos desenhos *CAD* e ao conhecimento próprio relativo à utilização de softwares de desenho digital, onde se recorreu aos softwares *Rhinoceros 3d* e *Grasshopper*. O edifício da EAAD é constituído por sete volumes: corredor, secretaria, bar e biblioteca, auditórios, sala de desenho e laboratórios. Aos espaços laboratoriais, corresponde 71% da área útil do edifício.

Na produção de um *Digital Twin* é possível incluir e extrair a cada instante informação relativa a áreas e pé direitos das divisões que constituem o edifício. Simultaneamente, com recurso a aplicativos *plug-in's* do próprio software é possível expandir o leque de processos analisados, destacando-se a análise da exposição solar do edifício e o comportamento térmico. Com base nos plug-ins *Ladybug e Honeybee*, que se encontram disponíveis no software *Grasshopper*, conclui-se que, embora as fachadas principais da escola se encontrem voltadas a sul, a radiação solar incidente nos envidraçados é baixa, por força do volume do corredor e grande parte dos envidraçados dos espaços laboratoriais encontram-se adequadamente protegidos pelas palas continuas existentes ao longo do alçado sul. A única exceção observa-se pela manhã em horário de verão, em que os envidraçados apresentam uma incidência solar média. No entanto, no que respeita à climatização,

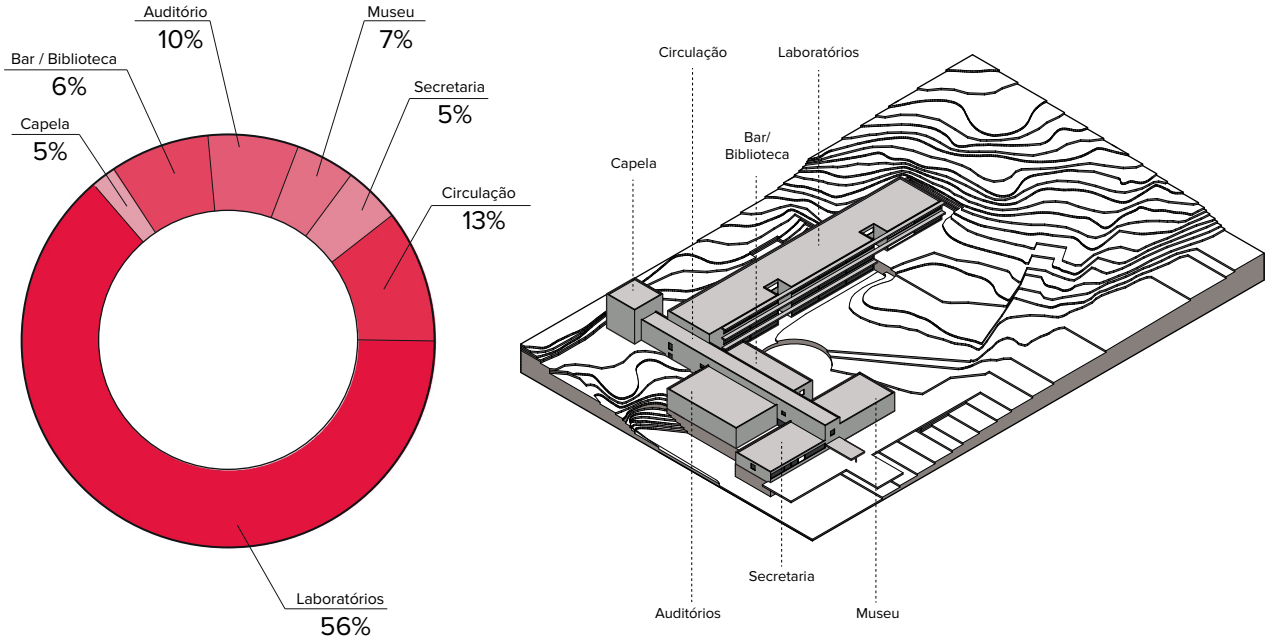


Figura 31. À esquerda percentagem das áreas das zonas da EAAD, à direita Axonometria representativa da EAAD, com a identificação das zonas;

As salas laborais constituem a maior parte de edificio, segue-se a zona de circulação, que para além de ser a 2º maior que constitui o departamento da EAAD, apresenta espaços comuns a toda comunidade, assim como o bloco do bar e biblioteca, sendo o 3º maior volume;

sobretudo nas salas laborais, há uma certa necessidade de arrefecimento, devido à área de envidraçados que estas apresentam, aos materiais que as constituem e à necessidade de ventilação que o edifício apresenta, sobretudo nos pisos superiores.

O código *Grasshopper* de análise, pode ser visto no anexo 5, pág. 132.

A produção *Digital Twin* ganha particular relevância pela forma como pode suportar aplicativos que recolhem e processam informação rigorosa e muito diversa, cabendo aos projetistas, perante um problema concreto, decidir qual a informação a recolher. Informação que se pode revelar fundamental no processo de projeto e gestão de um espaço. Trata-se de informação que pode constar do próprio software, que pode decorrer de dados captados por dispositivos sensoriais criados e instalados no espaço.

O trabalho prático desenvolvido no edifício da EAAD teve por base desde a criação dos dispositivos à importação e visualização dos dados captados no modelo virtual.

Num primeiro momento procedeu-se à análise dos espaços da EAAD, de forma a encontrar um espaço comum a toda a comunidade escolar. Um espaço que todos podem frequentar sem limitações. O volume correspondente ao átrio principal da EAAD, pela forma como articula todos o outro volume revela-se o mais pertinente, é nele que ocorrem os principais fluxos e que em permanência se cruza grande parte da comunidade escolar. No seu interior destacam-se como pontos de concentração de alunos: as zonas de entrada dos auditórios, a zona

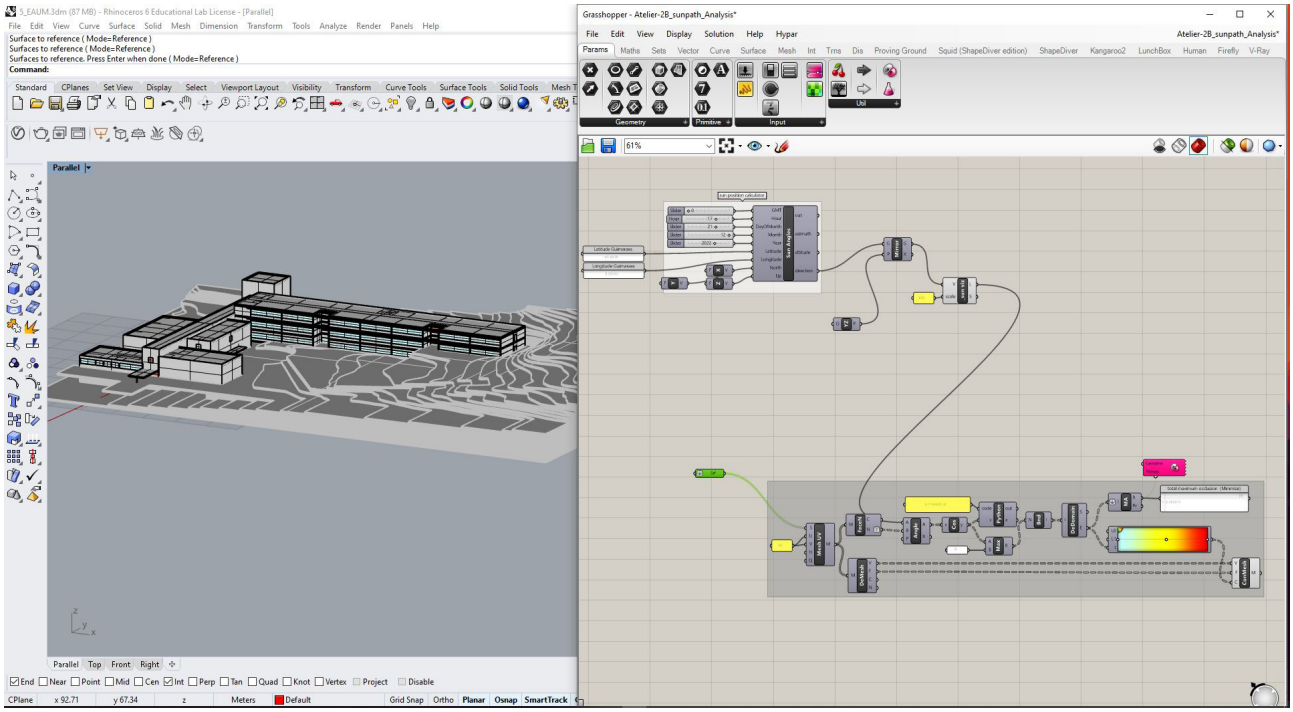


Figura 32. análise solar no modelo virtual e diagrama *Grasshopper* da análise solar;

Embora as fachadas principais da escola se encontrem voltadas a sul, a radiação solar incidente nos envidraçados é baixa, por força do volume do corredor e grande parte dos envidraçados dos espaços laboratoriais encontram-se adequadamente protegidos pelas palas continuas existentes ao longo do alçado sul.

de entrada para papelaria e para a sala de desenho e a zona do bar e o corredor. São os pontos chaves de concentração de pessoas, que um potencial de recolha e analise de informação gerada no espaço.

Com a análise feita, optou-se por desenvolver o estudo no espaço do bar da EAAD. O bar encontra-se integrado no piso inferior do volume da biblioteca e em direta articulação com o átrio, tendo também uma conexão direta à zona de entrada do auditório do piso 0.

Após a escolha do local para ser analisado, optou-se por trabalhar o tema da acústica. O espaço do Bar, à semelhança do que acontece na generalidade dos espaços comuns da EAAD, apresenta significativas deficiências do ponto de vista do comportamento acústico. Nos momentos de forte afluência os níveis de ruido produzidos por pessoas e equipamentos apresentam-se muito elevados. Simultaneamente, o fato do espaço se encontrar ligado ao corredor, faz com que o ruido com origem no bar se estenda aos restantes espaços, destacando-se, auditórios, papelaria, biblioteca e sala de desenho. Nos momentos de muita eleva afluência o ruido estende-se pelos espaços laboratoriais que se encontram no piso 0 e piso 1 e que se encontram conectados ao volume do átrio principal da EAAD.

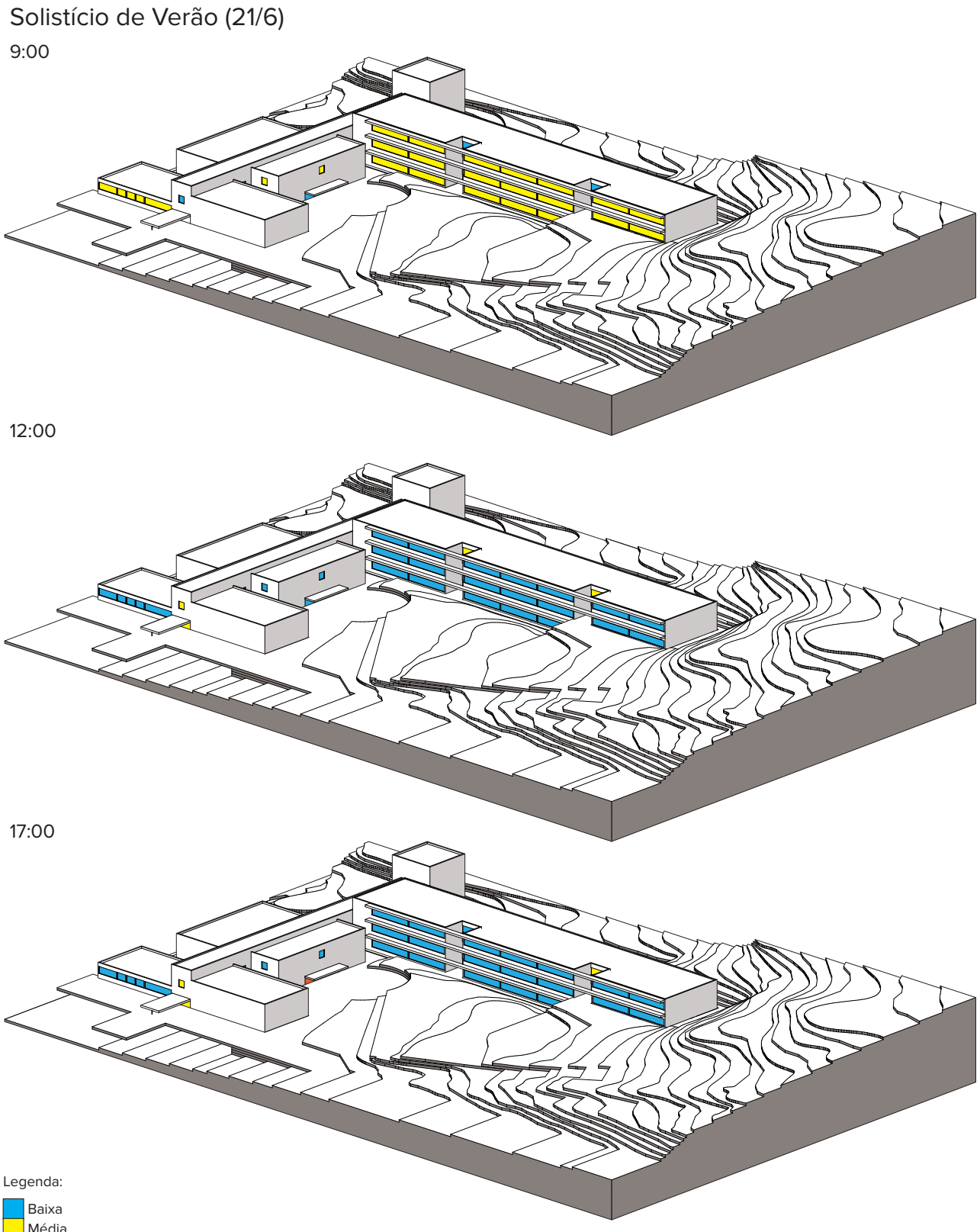
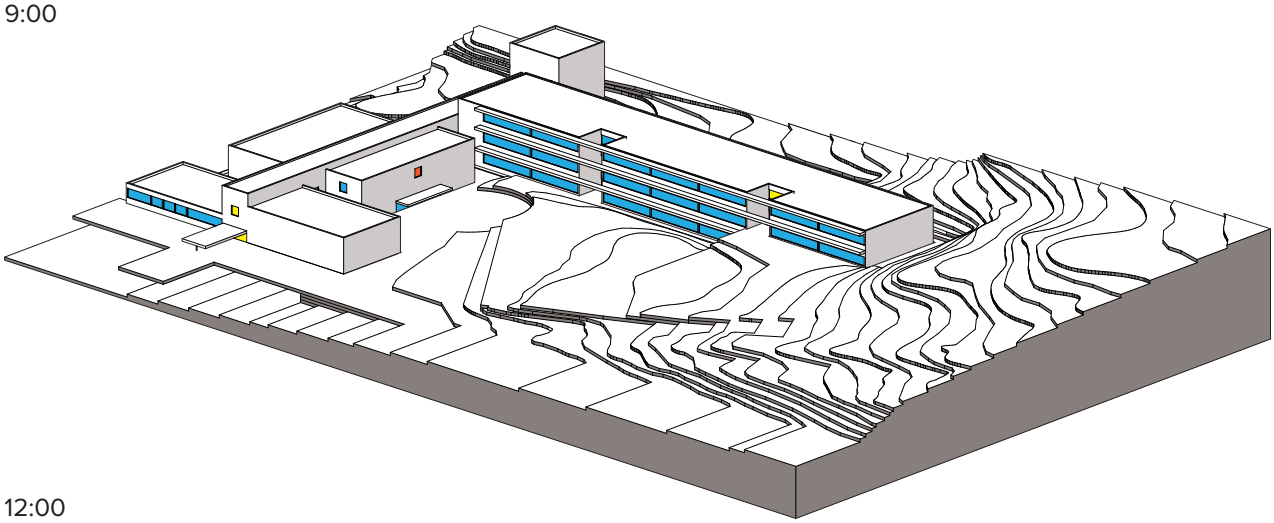


Figura 33. Análise solar no solistício de verão;

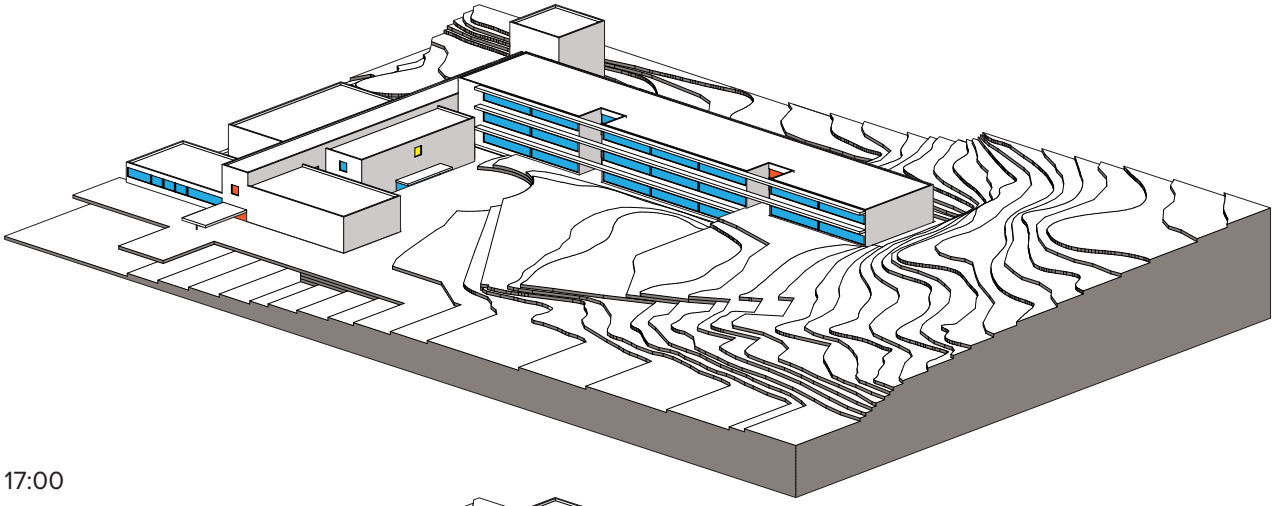
1. Digitalização do edificio da EAAD

Solistício de Inverno (21/12)

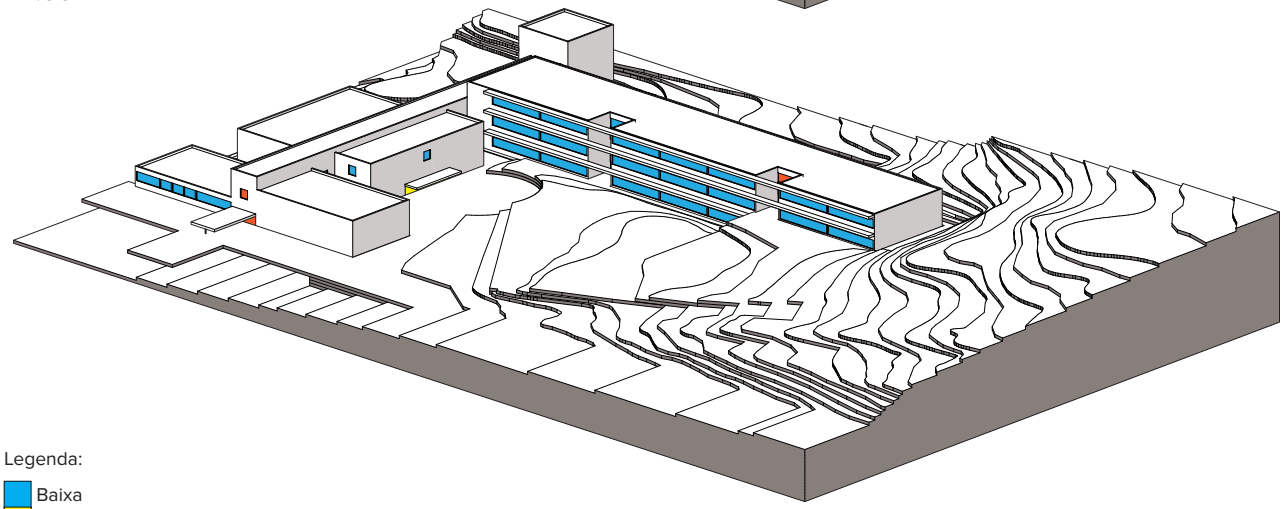
9:00



12:00



17:00



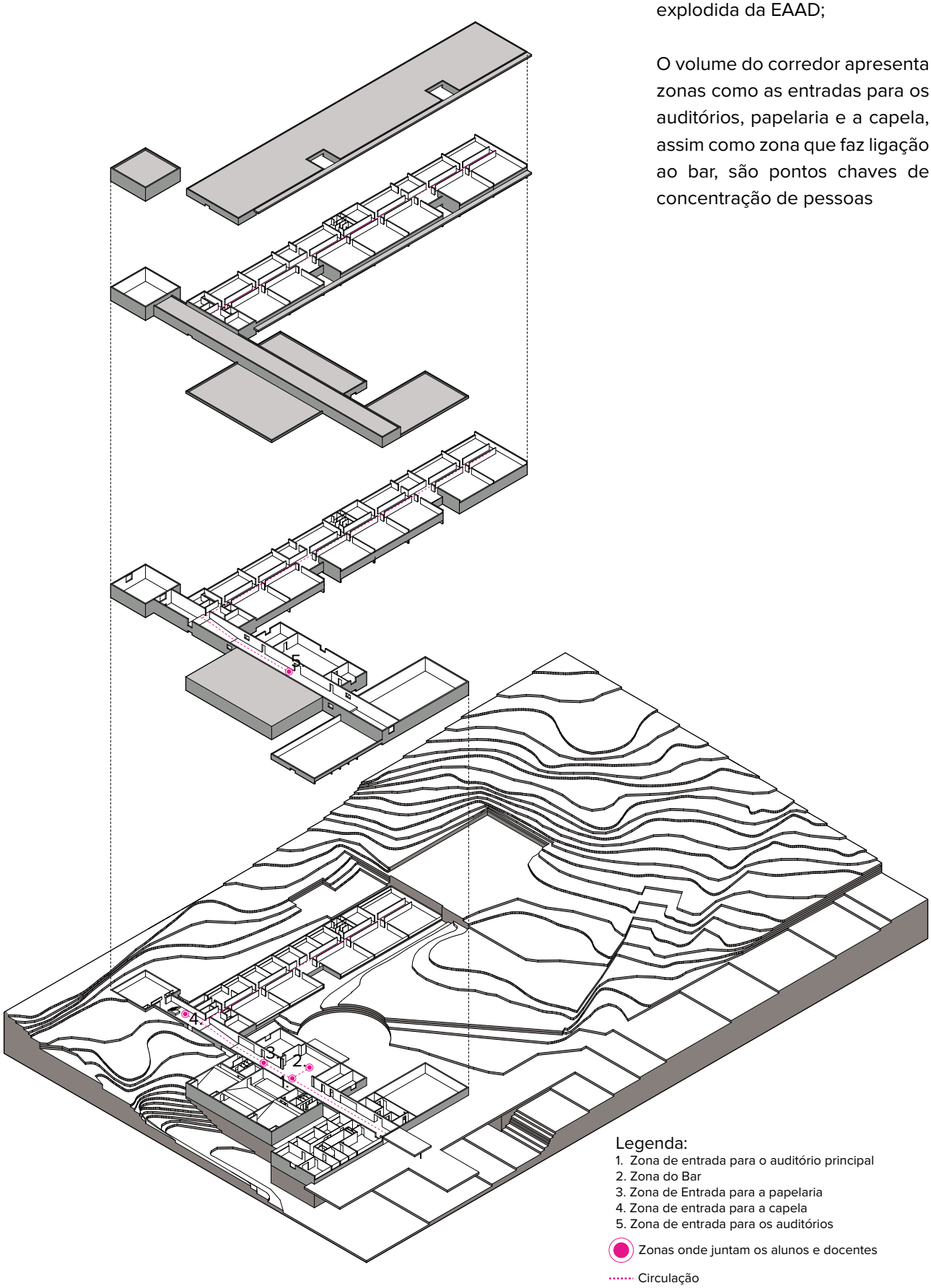
Legenda:

- Baixa
- Média
- Alta

Figura 34. Análise solar no solistício de inverno;

Figura 35. Axonometria explodida da EAAD;

O volume do corredor apresenta zonas como as entradas para os auditórios, papelaria e a capela, assim como zona que faz ligação ao bar, são pontos chaves de concentração de pessoas



1. Digitalização do edificio da EAAD

2. Programação e montagem

A experiência de recolha de informação relativa à utilização do bar exigiu o desenvolvimento de um processo inicial de seleção das ferramentas e dos instrumentos mais apropriados. Considerou-se dispositivos que permitem a análise da frequência sonora do espaço e de forma a auxiliar essa análise, procedeu-se à contagem e à localização das pessoas no espaço. Duas informações consideradas fundamentais para a caracterização do modo como o espaço é frequentado.

Utilizaram-se sensores, mas também microcontroladores, ferramentas fundamentais à programação dos sensores na captação e análise de dados. Os microcontroladores são *chips* com um sistema num circuito integrado, apresentam uma memória, um processador e uma interface de entrada e saída. Em suma são pequenos computadores montados num circuito integrado onde apresentam como grandes vantagens, o reduzido consumo energético e a diversidade programacional, podendo ser programados para desempenhar tarefas especificas. Sendo que atualmente, com a emergência das redes IoT's, a maioria dos microcontroladores permite a conexão dos sensores à rede. Uma das marcas conhecidas na fabricação de microcontroladores é *Atmel*[1] , a empresa produz microcontroladores para a *Arduino*, uma plataforma de prototipagem eletrónica de hardware livre, onde utiliza a linguagem programacional *C/C++* para o desenvolvimento de dispositivos interativos independentes.

Para os dispositivos implementados no bar da EAAD optou-se por microcontroladores similares. A *ESP-32* programado para a avaliação da intensidade sonora (dB) e uma *ESP-32 CAM*, para a captação avaliação da utilização do espaço. A utilização das *ESP-32* deve-se pelos preços que estes microcontroladores se encontram no mercado, quando comparados aos microcontroladores da *Arduíno*, se revelam de menor custo. Da mesma forma que as *ESP's* apresentam uma maior liberdade de sintaxe pogramacional, além *C++ e C* é, por exemplo, possível recorrer ao *Python*, fazendo com que haja uma maior diversificação de análise. Os modelos da *Arduino* encontram-se destinados mais para aprendizagem de programação, o que faz com que estes microcontroladores sejam um pouco limitados comparado aos *ESP-32*, podendo estes também serem programados no software desenvolvido pela *Arduino*. A principal

1. A empresas *Atmel* são conhecidas pela produção de microcontroladores, assim como memória EEPROM, etiquetas RFID, ou seja dispositivos de controlo e de conexão à rede;

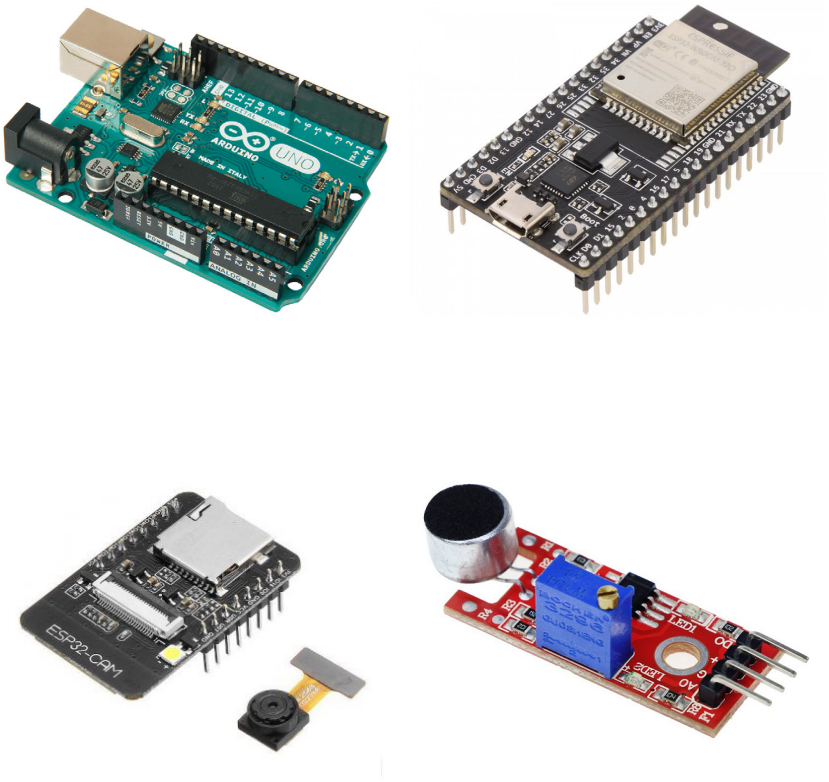


Figura 36. No canto superior esquerdo microcontrolador arduino, à direita *ESP32*, no canto inferior esquerdo, *ESP32-CAM*, direito *KY-038*;

vantagem que justificou a utilização destes microcontroladores, reside no fato de serem microcontroladores que não necessitam de ligação por cabo ao pc, a não ser para a programação do microcontrolador ou fornecimento de energia por via direta ou com recurso a uma *power bank*. São microcontroladores que com o incremento dos sistema IoT se têm tornado mais comuns para um adequado funcionamento, necessitam de estar conectados à mesma rede *Wi-fi* onde se encontra o computador ou dispositivo que vai receber e armazenar a informação captada pelo sensor, dado que a memória das *ESP* se encontra limitadas a *Kb*.

Para além dos microcontroladores, foi necessário também recorrer a sensores de intensidade sonora, optou-se por sensores sonoros *KY-038*. Este sensor possui um microfone permitindo avaliar a intensidade sonora de um espaço.

Para a criação dos dispositivos de analise de ocupação do espaço, optou-se pelo microcontrolador *ESP-32 CAM*, que para além do microcontrolador tem integrada uma mini camara, de baixa resolução. Foi necessário utilizar este microcontrolador, uma vez que a capacidade de processamento e memória dos microcontroladores da *ESP-32* é limitada para fazer dois tipos de análise distintas, utilizou-se uma *ESP-32* para análise sonora e uma *ESP-32 CAM* para a deteção local. As *ESP-32 CAM* permitem também a conexão ao computador por via *WiFi*, necessitando apenas de e uma fonte de energia, ao que se utilizou uma *power bank*

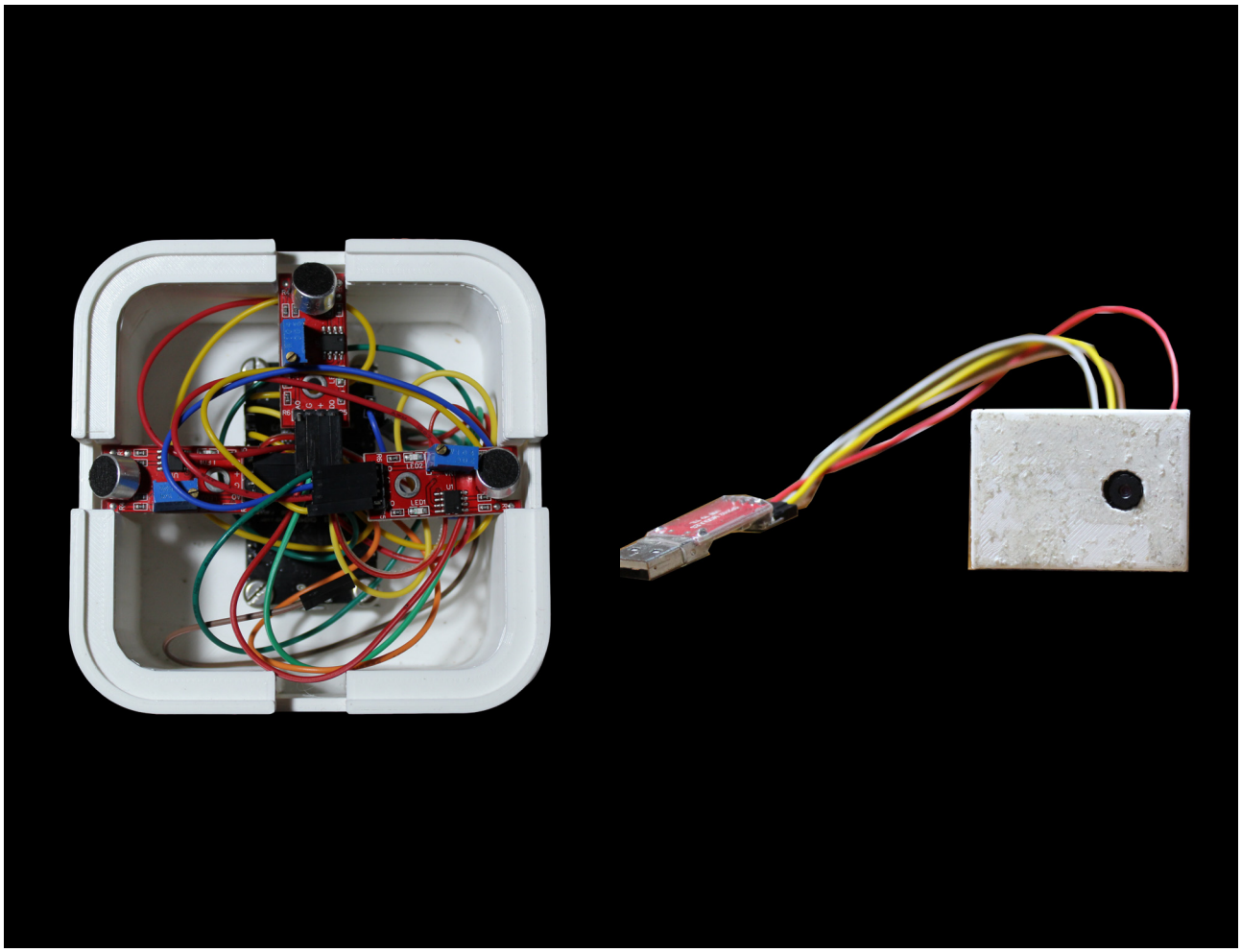


Figura 37. À esquerda dispositivo de frequência sonora, à direita dispositivo de análise do espaço;

Para assegurar disponibilidade de rede e comunicação recorreu-se a um *smartphone* com os dados móveis foi criada uma rede local que permitiu a conexão dos dispositivos ao computador, ultrapassando dificuldades de conexão decorrentes do facto de as redes da UM apresentarem padrões de segurança que dificultam a conexão do tipo de dispositivos utilizados na investigação. Para potenciar a rede criada pelo *smartphone* foi necessário recorrer a um extensor de rede. Por fim foi necessário um computador conectado à rede, assegurando a plena conexão dos dispositivos utilizados e um adequado processamento e armazenamento da informação captada.

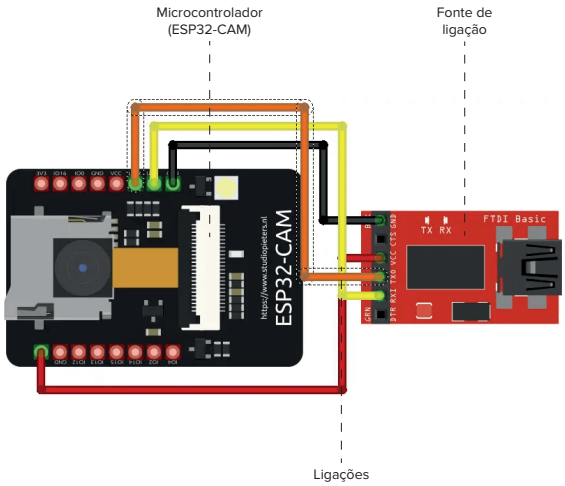


Figura 38. Esquema de montagem *ESP32-CAM*;

No caso do dispositivo criado, a fonte de ligação foi feita por Pen;

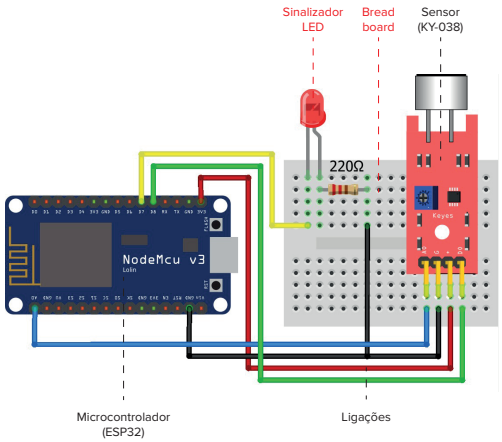


Figura 39. Esquema de montagem *ESP32* ao *KY-038*;

No caso do dispositivo criado, não foi necessário o sinalizador, umaves que o sensor já apresentava os LED's que indicavam o funcionamento do dispositivo. Também não foi necessário a bread board, dado que a ligação foi feita diretamente;

3. Metodologia de captação e análise

Estando definido o conjunto de dispositivos a utilizar, iniciou-se o processo de colocação dos sensores no espaço físico do bar da EAAD, bem como a programação de todo o processo de captação e análise dos dados.

Começando pela programação dos dispositivos da localização de pessoas no espaço físico, ao que se designou este dispositivo *ppl-D*. A primeira parte da programação foi feita no software da *Arduino*, uma vez que este software já apresenta por defeito linhas códigos para programar microcontroladores *ESP32*, neste caso o microcontrolador *ESP32 CAM*. Foi necessário dentro do software da *Arduino* instalar uma *Board* do hardware *ESP32*, para que os microcontroladores da ESP32 pudessem ser utilizados no software *Arduino*. Ao instalar as boards, instala-se consequentemente alguns exemplos de projetos programacionais das *ESP32*, incluindo a linha programacional da *ESP32-CAM*, designado de *"AI Thinker ESP32-CAM"*. Optou-se pela utilização dessa linha de código, onde apenas se inseriu as credenciais da rede local, como *SSID* e a sua respetiva *password*. Depois de conectado e programado o dispositivo, o software cria um *HTTP server*[1], onde se encontra a gravação em tempo real do dispositivo.

Na programação do processo de análise, pretendeu-se uma estrutura similar à do projeto *AI Station*, desenvolvido pelo laboratório *Senseable Cities*. Assim sendo, optou-se pela utilização do *Python*, dado tratar-se de uma linha programacional com uma vasta biblioteca, tendo sido utilizada para a deteção de pessoas uma linha programacional designada *pplDetection.py*. De forma muito sucinta, a câmara que o dispositivo apresenta, encontra-se em constante funcionamento, enviando as filmagens para um *HTTP server privado*, recorrendo à linha de código criada no software *Arduino*. Através desse servidor, insere-se o link onde decorrem as filmagens no *pplDetection.py*. Com recurso ao software *Anaconda*[2], foi criada uma nova linha programacional com o intuito de ativar o código *pplDetection.py* anteriormente criado.

Com a linha de código a correr no *Anaconda* sempre que o dispositivo deteta uma pessoa no espaço procede à captação de uma imagem, que de seguida é enviada para o computador que se encontra

1. Os servidores *HTTP (Hyper Text Transfer Protocol)*, muito resumidamente, são servidores *Web*;

2. Os software *Anaconda* baseia-se numa distribuição de linhas programacionais em *python e R*, de modo a simplificar essas linhas programacionais, em suma foi a através deste software conseguiu-se correr o código em *python* criado;

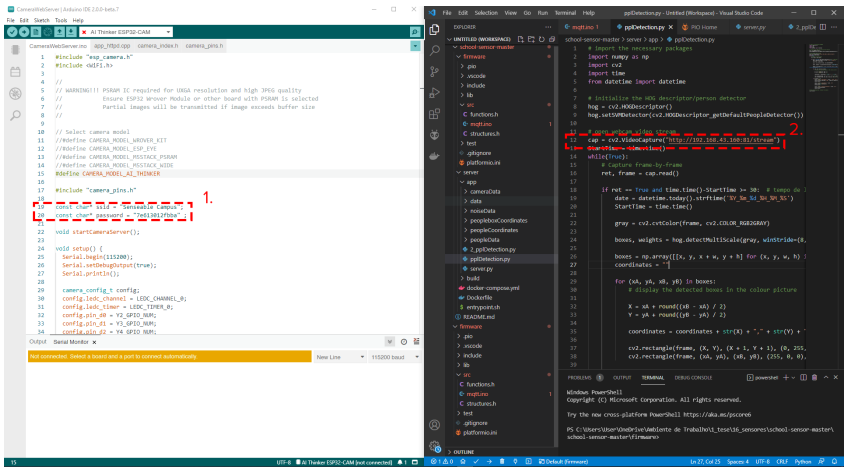


Figura 40. Linha de código no software da *Arduino*, à direita linha de código *ppldetection.py*, em *python* no software *Visual Studio code*;

1. Introdução dos dados da rede;
2. Introdução do link do server online criado pelo software Arduino, no ppldetection.py;

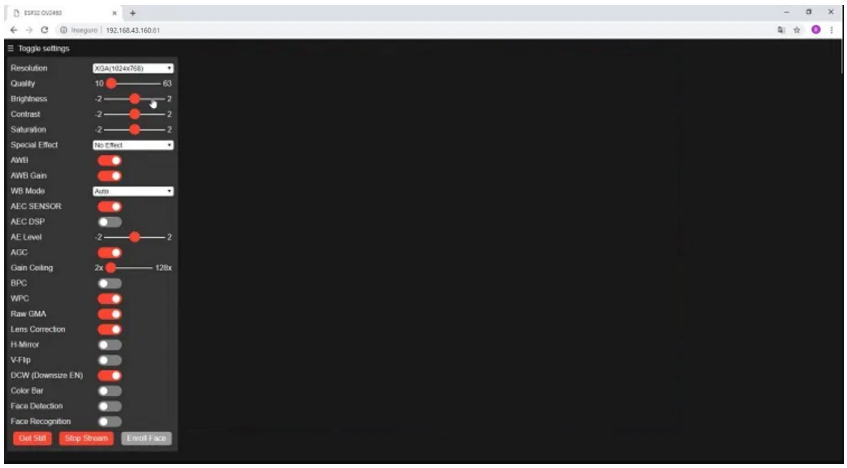
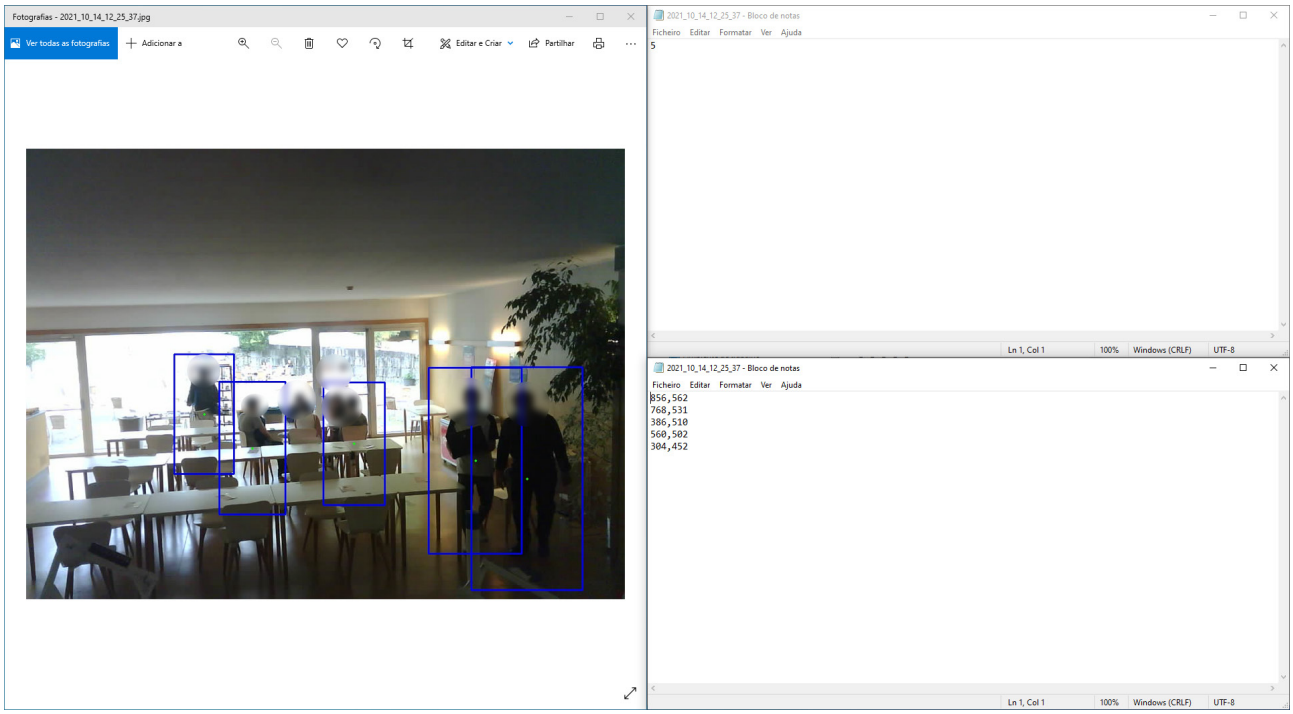


Figura 41. Interface do server online criado pelo software *Arduino*;

Figura 42. Informação recebida pela câmara através do código criado em *python, ppldetection.py*;

À esquerda imagem captada, no canto superior direito o número de pessoas captados, no canto canto inferior direito a coordenadas dos pontos, em pixeis, que indentificam as pessoas na imagem;



conectado à mesma rede. O momento em que se detetou a pessoa, é marcado com um retângulo azul e as coordenadas da localização da pessoa na imagem e o número de pessoas que o dispositivo contou são registadas no software *bloco de notas*, fundamental à posterior organização dos ficheiros.

Abordando agora a programação dos sensores de avaliação sonora, designados *n-D*, o processo teve início com a criação de um protocolo *MQTT*[3]. Protocolos criados por Andy Stanford-Clark da *International Business Machines (IBM)* e Arlen Nipper da *Eurotech*. Com o conceito das IoT's em mente, os protocolos *MQTT* baseiam-se num sistema de clientes que através de troca de mensagens *publish/subscribe*, comunicam com um servidor, designado de *broker*, permitindo ao cliente publicar ou subscrever informações, organizada através de uma hierarquia de tópicos *(Topic)*.

Quando um publicador apresenta novos dados para inserir no servidor, este envia uma mensagem de controlo para o *broker* a que se encontra conectado. Sendo que o *broker* por sua vez transmite a informação para todos os clientes que subscreverem o tópico. Com isto, o *MQTT* é responsável pelo envio das mensagens de dados aos recetores, não sendo necessário que os remetentes se contactem, o que é uma das vantagens dos protocolos *MQTT*, onde o publicador não necessita de ter nenhum dado de localizações ou até mesmo dos subescritores, do mesmo modo que os subescritores não necessitam de ter informações dos publicadores, permitindo também outras comunicações emergentes como *M2M (Machine-to-Machine)*.

Com recurso à linha de código *Python* foi desenvolvido um protocolo *MQTT,* o acesso público foi impedido com recurso à criação de um user e palavra-passe. Para envio e acesso à informação captada foi definido um *host*, uma *port* e um *topic*, sendo que se designou o tópico como *"noise"*. Outra informação importante que se acrescentou ao código do servidor *MQTT* foi a distinção da informação proveniente de cada sensor. O dispositivo criado apresenta três sensores *KY-038*, enviando para o servidor *MQTT* quatro tipos de informações diferentes, sendo três correspondentes a cada sensor e uma correspondente à junção das informações recolhidas pelos sensores.

Após a criação do servidor *MQTT*, partiu-se para a programação do dispositivo em *C++*. Foi necessário conectar o dispositivo à rede e ao servidor *MQTT*, de forma a enviar os dados captados para o servidor. Foi necessário inserir o utilizador, a palavra-passe e o tópico do servidor do *MQTT*, criado no código *Python*, para que o dispositivo pudesse enviar as informações captadas e para que estas pudessem ser recolhidas pelo computador. Também foi necessário, atribuir um *IP*, fundamental no protocolo de rede a que o computador e o dispositivo se encontravam conectados. Ainda na programação dos sensores, introduziu-se o tempo o número de leituras que o sensor faz por segundo e o tempo de transição entre sensores. Neste caso o sensor fazia 10 leituras por cada

3. Sigla para Mesage Queuing Telemetry Transport;

4. Sigla para *Internet Protocol*

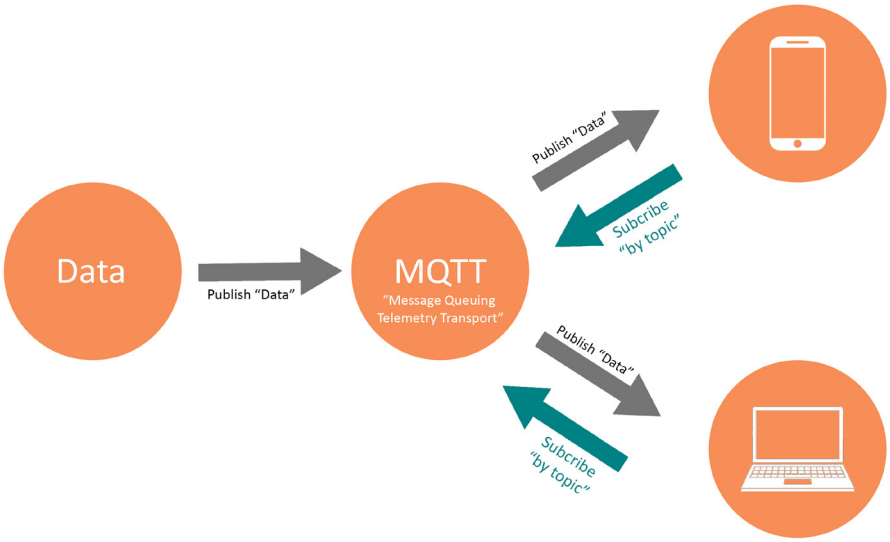


Figura 43. Esquema do funcionamento dos protocolos *MQTT*;

```
school-sensor-master > server > app > server.py
import paho.mqtt.client as mqtt
import sys
from datetime import datetime

host = "localhost"
port = 1883
user = "P7AJ3crg3eurEYCf"
pwd = "MqMrXhBdNP8r5egu"

topic = "noise"

def on_connect(client, userdata, flags, rc):
    client.subscribe(topic)


#def on_message(client, userdata, msg):
#    print(msg.topic + " - " + msg.payload.decode('utf-8'))

lines = {}
lastValues=[]
baseValues=[]
lastDate = None

def on_message(client, userdata, msg):
    global lines
```

Figura 44. LInha de código para a criação do servidor *MQTT* no *Visual Studio Code*;

Assinalado enconra-se os dados do servidor, como a port, user, password e topic;

```
WiFiClient espClient;
char W_SSID[] ="Senseable Campus";//"NOS-57F0_EXT";//"HUAWEI Mate 2
char W_PWD[] = "7e613012fbba";//"03bc8e6dcec0"; //"03bc8e6dcec0"; /

PubSubClient MQTT(espClient);
char MQTT_HOST[] = "192.168.43.191";  // IP ou nome do servidor MQT
uint16_t MQTT_PORT = 9992;            // Porta do servidor MQTT
char MQTT_USER[] = "P7AJ3crg3eurEYCf"; // Utilizador do servidor MQ
char MQTT_PWD[] = "MqMrXhBdNP8r5egu";  // Palavra-chage do servidor

char clientID[] = "esp8266"; // Identificação do cliente para o ser
char topic[] = "noise";      // Topico para comunicação dos sensore

const int digitalOutput[] = {D5,D6,D8}; // Pinos de output (DCC/Pos
const int digitalInput[] = {D0,D1,D3};  // Pinos de input (para rec
int analog = A0;

const int rotationInterval = 10; // De quantos em quantos segundos
const int readsPerSecond = 10;  // Quantas leituras faz por segundo
```

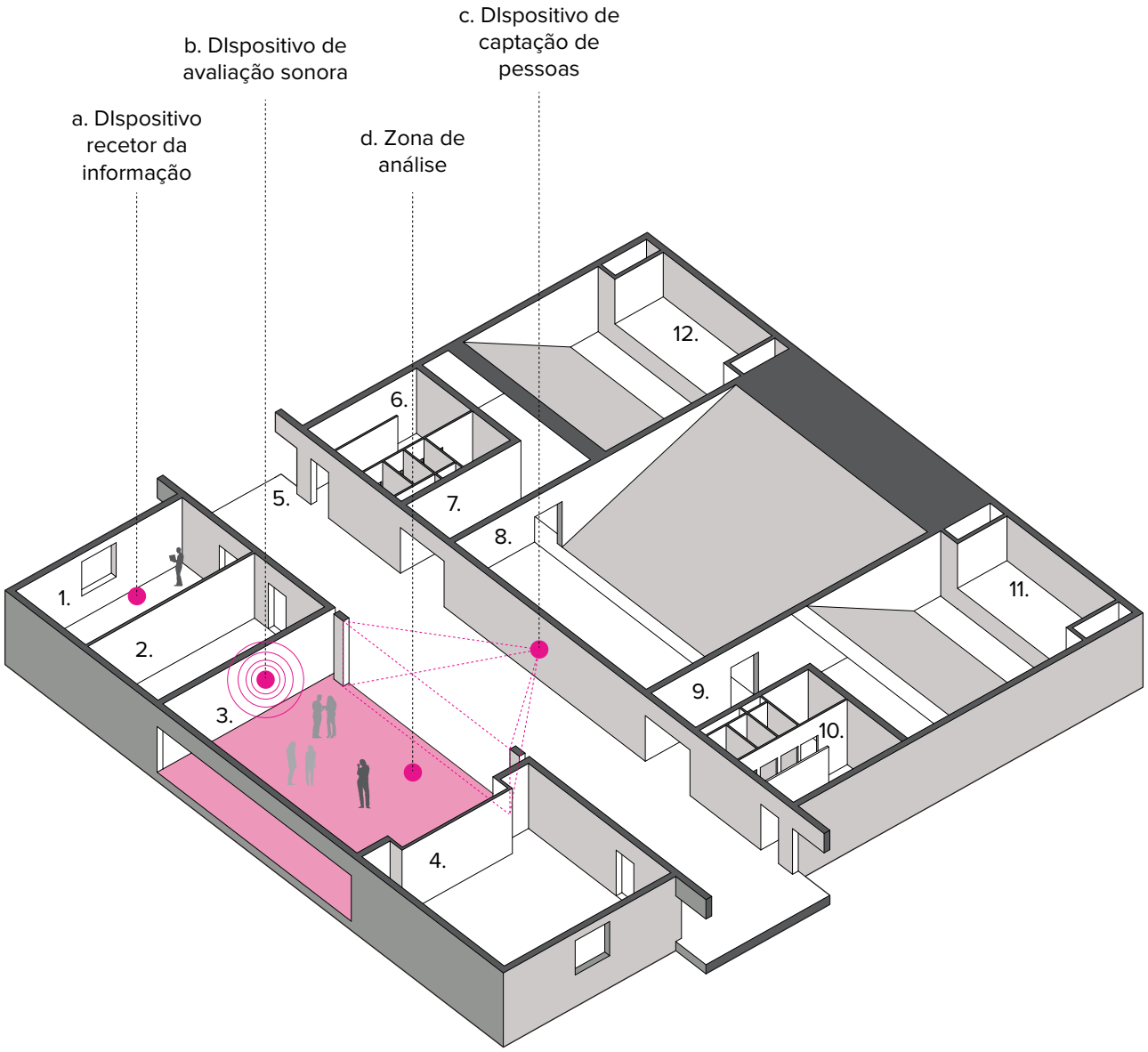
Figura 45. LInha de código para a análise sonora, no *Visual Studio Code*;

(a) dados da rede a que o dispositivo de captação e o dispositivo de receção se encontra conectado; (b) dados do servidor *MQTT*; (c) Definição dos pin's *output* e *inputs* do microntrolador *ESP-32*; (d) Definição da duração do tempo de captação;

segundo e demorava 10 segundos a transitar para outro sensor.

Utilizou-se também o *Docker composer*, uma ferramenta de simulação de servidor, visto que o *MQTT* e o *Python* necessitavam de um *host* para correr e receber os dados captados pelo dispositivo. O *Docker* permite que, de forma fácil, versátil e transportável, a hospedagem de serviços sem causar problemas de compatibilidade com o sistema operativo base. Através do *Docker* o dispositivo insere automaticamente os dados captados no servidor *MQTT*, simultaneamente permite que o computador recolha a informação no servidor.

Partindo para o espaço físico, bar da EAAD, instalou-se os sensores da forma mais discreta possível, dado que a intenção da captação feita pelos sensores, consistia em obter os dados que são gerados no espaço e nas ações das pessoas, sem a influencia direta no processo, caso contrário os dados captados pelos dispositivos poderiam não ser fidedignos. Também o computador que vai receber a informação gerada pelos sensores foi instalado num local discreto, mas próximo dos sensores, evitando assim dificuldades de conexão à rede. Foi instalado num espaço anexo ao bar, sala de exposição da EAAD. No que toca à colocação dos dispositivos sensoriais, começando pelo *n-D*, optou-se por colocar no limite entre a zona do bar e a zona do átrio na qual se acede ao auditório principal, visto tratar-se de uma zona com maior frequência sonora. O dispositivo *ppl-D* foi instalado orientado para o bar e junto à entrada do auditório principal, assegurando-se assim uma visão ampla e em perspetiva do bar, facilitando a posterior organização e visualização da informação recolhida pelo sensor.



Legenda:

1. Museu	7. Antecamara
2. Arrecadação	8. Auditório principal
3. Bar	9. Antecamara
4. Papelaria	10. I.S. masculino
5. Corredor	11. Auditório 2
6. I.S. feminino	12. Auditório 3

Figura 46. Axonometria da zona em estudo e a sua estratégia de análise;

4. Captação e organização da informação

Após a programação e colocação dos dispositivos no espaço físico, chega a fase de recolha e de organização do vasto conjunto de informação captada pelos dispositivos e que se apresenta de forma não-estruturada. Assim sendo, foi necessário criar uma estratégia de organização de informação para ambos os dispositivos, fundamental à interpretação da informação e comunicação dos resultados.

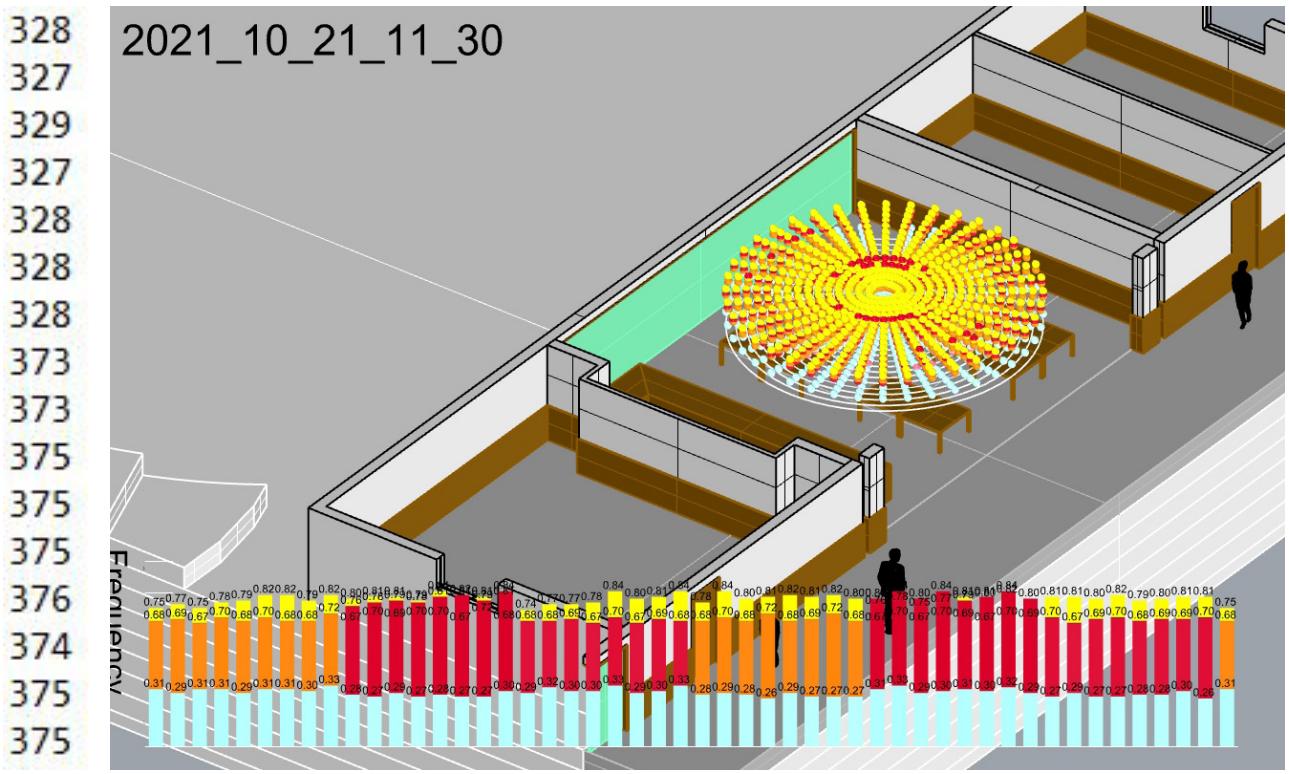
Organização do dados do dispositivo *n-D*

Os sensores do dispositivo *n-D* têm uma sensibilidade muito reduzida, registam facilmente os momentos extremos (muito ruido e ausência de ruido) sendo muito limitadas as possibilidades de afinação. O sensor *KY-038* apresenta duas luzes leds, sendo uma destinada a confirmar a ativação do sensor e outra a deteção de um som. Contudo, sempre que se conectaram vários sensores *KY-038* no mesmo microcontrolador, ambos os led's se mantinham ligados, indicando que se encontravam em permanente captação de som. Optou-se por ligar mais dois sensores *KY-038*, afinando-os assegurando uma adequada captação de som, refletida na intermitência do Led e permitindo uma recolha mais precisa da informação sendo fundamental reduzir a capacidade de o sensor captar altas ou baixas intensidades sonoras. O valor da potência sonora ficou-se entre 300 dB e 400 dB.

No que toca à organização do ficheiro, o dispositivo *n-D* enviou de dez em dez segundos quatro ficheiros relativo à captação sonora, a organização dos ficheiros da seguinte forma, *nº sensor_ano_mês_dia_hora_min*, permitiu de forma permanente um fácil acesso à informação.

Organização do dados do dispositivo *ppl-D*

No que respeita ao dispositivo *ppl-D*, assim que procedeu a uma captação, a informação foi enviada para o computador sob a forma de três ficheiros. O primeiro correspondia a uma imagem do momento em que captou uma ou mais pessoas, estando as pessoas na imagem marcadas com um retângulo azul. Os outros dois ficheiros correspondiam ao número de pessoas que o dispositivo captou no momento e a coordenadas do retângulo que as assinalava na imagem. Numa primeira



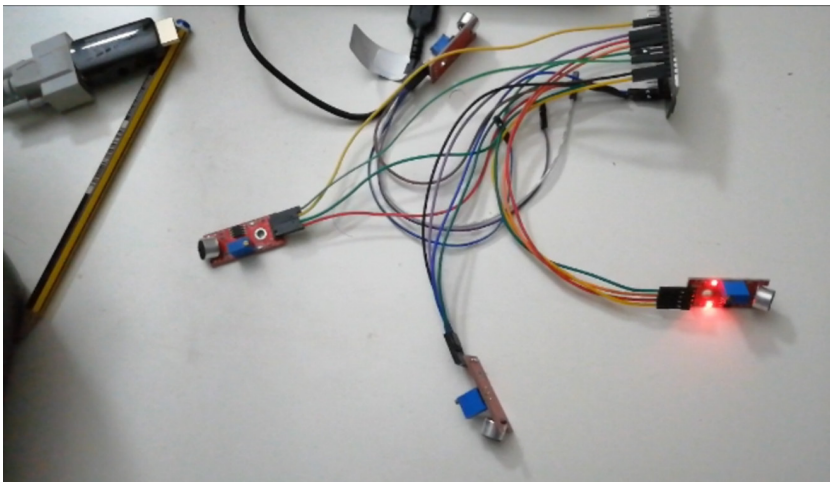


Figura 47. à esquerda dados obtidos pelos sensores, à direita 1º teste de vizualização dos dados sonoros captados;

Figura 48. Vizualização do funcionamento dos sensores, neste caso o que se encontra com os led's ligados esta a captar som;

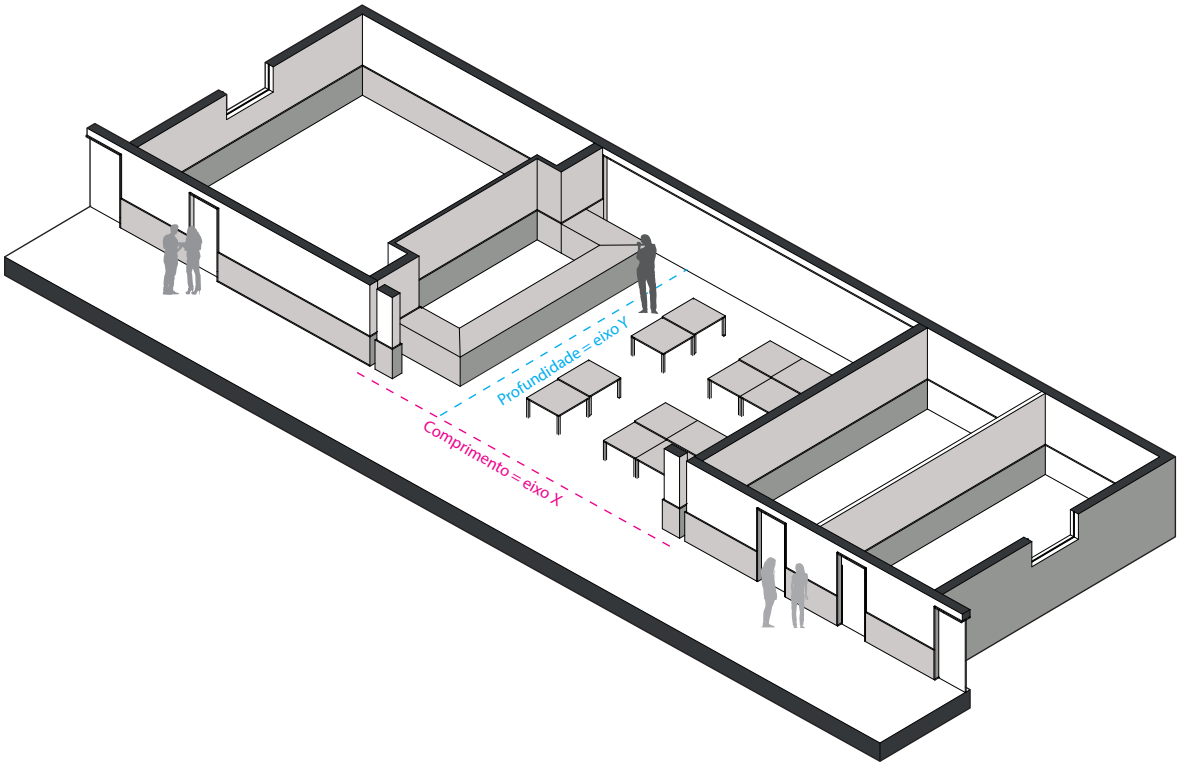


Figura 49. Axonometria do bar da EAAD;

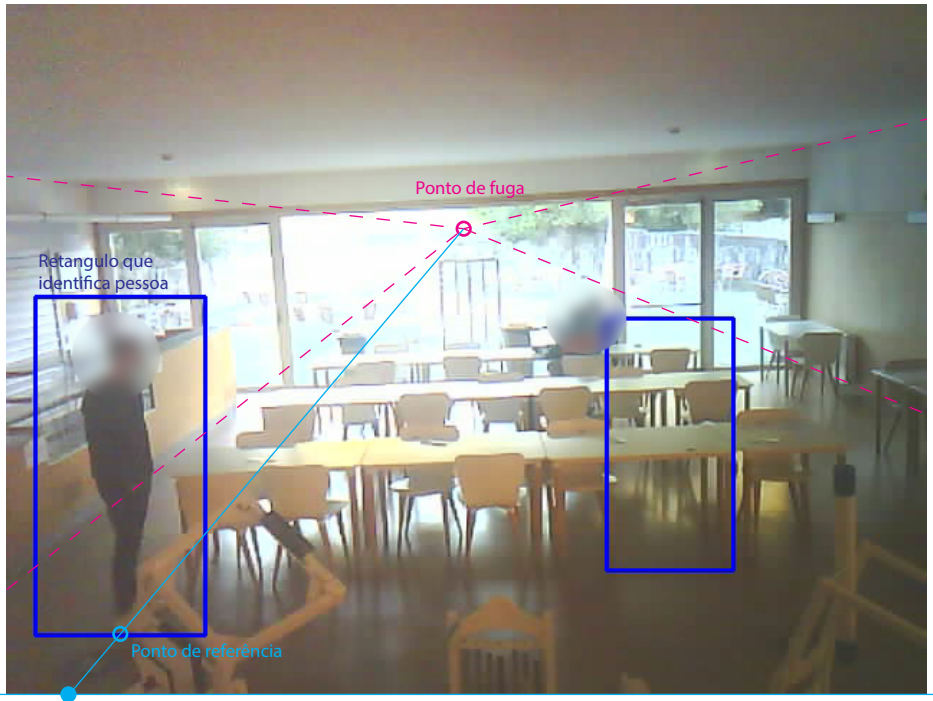
Para a análise da localização das pessoa no espaço, afirmou-se que o comprimento do bar da EAAD é o eixo X e a profundidade é o eixo Y

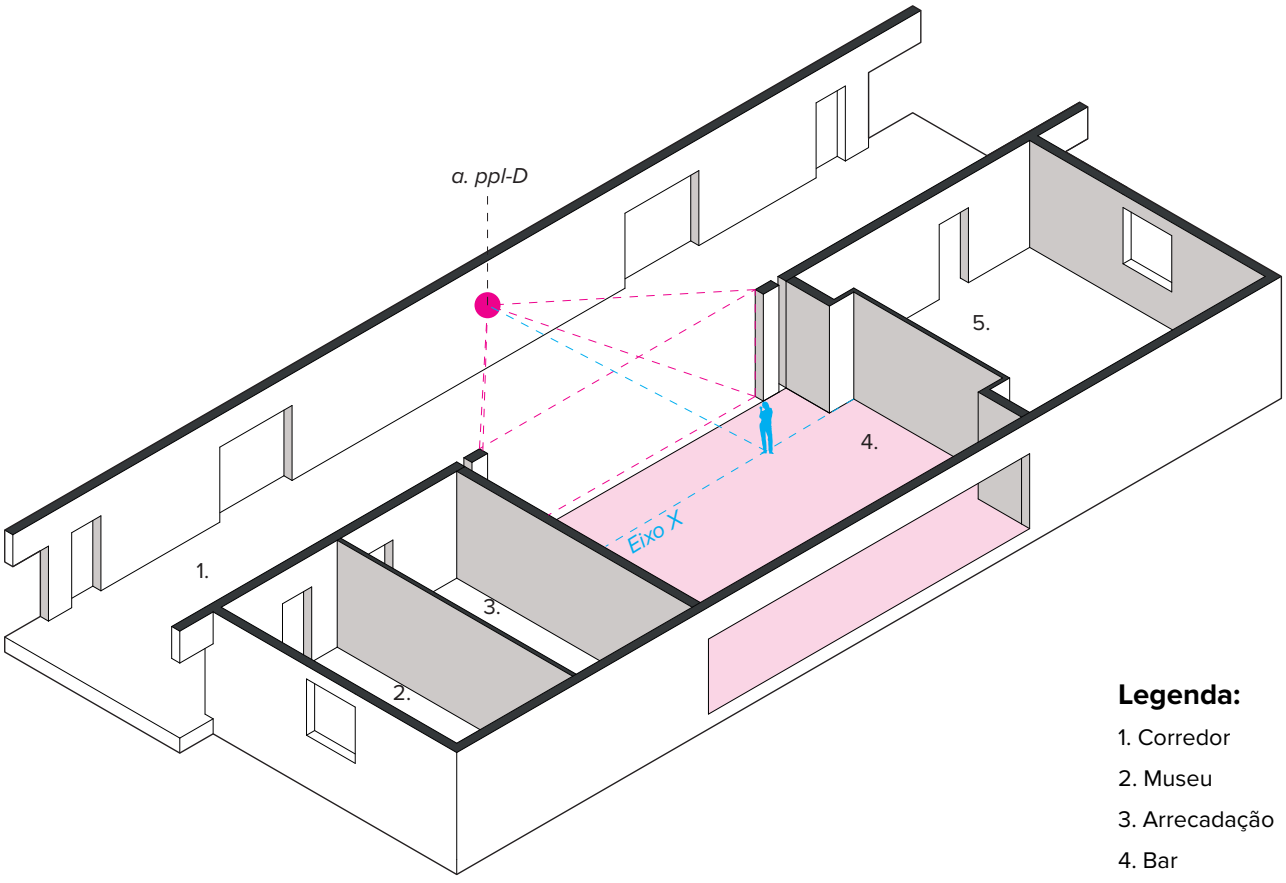
fase, o dispositivo enviou as coordenadas correspondentes ao centro do retângulo que assinalava a pessoa na imagem, e numa segunda fase as coordenadas passaram a corresponder aos vértices do retângulo.

A localização precisa das pessoas no espaço a partir de uma imagem 2D implicou a definição de um conjunto de princípios de análise geométrica capazes de posicionar utilizadores num espaço no qual o ponto mais extremo se apresenta aproximadamente 12 metros da camara e no qual o angulo de visão é bastante largo.

Começando por afirmar que o comprimento do bar da EAAD é o eixo X e a profundidade é o eixo Y. No que toca à localização da pessoa no eixo X, tomou-se o ponto médio da reta inferior do retângulo que sinalizava as pessoas, onde esta é conetada ao ponto de fuga que a imagem apresentava, através de uma reta que depois é extendida para o limite do bar da EAAD, que consequentemente era o limite da imagem. De visar que o comprimento do eixo X do bar apresentado pela imagem, não corresponde ao comprimento na realidade, da mesma maneira que não corresponde ao comprimento do eixo X no modelo virtual. Para isso foi necessário remapear o comprimento do eixo X da imagem, para o comprimento do apresentado no modelo virtual.

No que toca à localização da pessoa ao nível de profundidade. Tomou-se como a referência a altura do retângulo. Se a altura do retângulo fosse pequena, significava que a pessoa captada se localizava longe da câmara, se a altura do retângulo fosse grande, significava que a pessoa captada se localizava perto da câmara. Tendo esta consideração





Legenda:

1. Corredor
2. Museu
3. Arrecadação
4. Bar
5. Papelaria

Figura 50. Levantamento geométrico para obter a localização sob eixo X;

Figura 51. Axonometria do levantamento geométrico para obter a localização sob eixo X;

em mente, optou-se por estabelecer como pontos de referência de localização no bar da EAAD, quatro cantos e os seus pontos intermédios, permitindo referenciar os limites de profundidade e de altura. Tal como o valor do comprimento, o valor da altura do retângulo de cada pessoa detetada foi reparametrizado perante a profundidade que o bar apresentava física e virtualmente. Definido os pontos de profundidade bem como de comprimento, obtém-se as coordenadas referentes à localização da pessoa no espaço físico.



Figura 52. imagem captada pelo dispositivo, com a profundidade próxima;

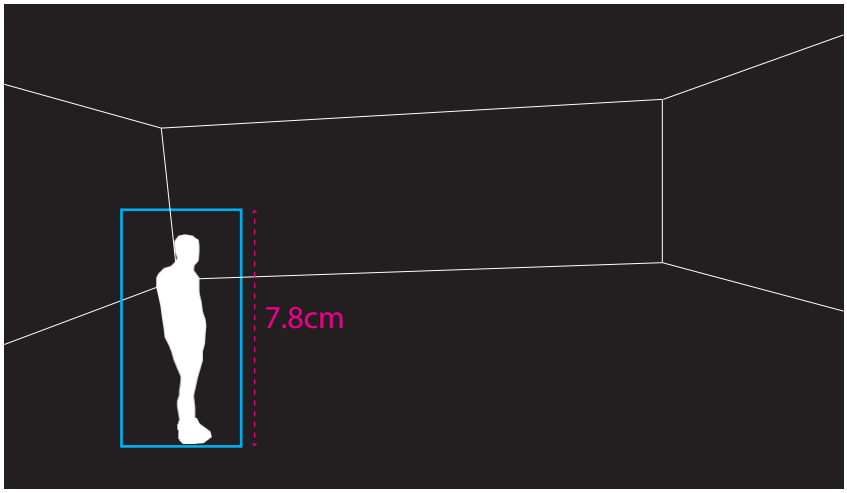


Figura 53. esquema ilustrativo da deteção da localização da pessoa em profundidade, com a profundidade próxima;

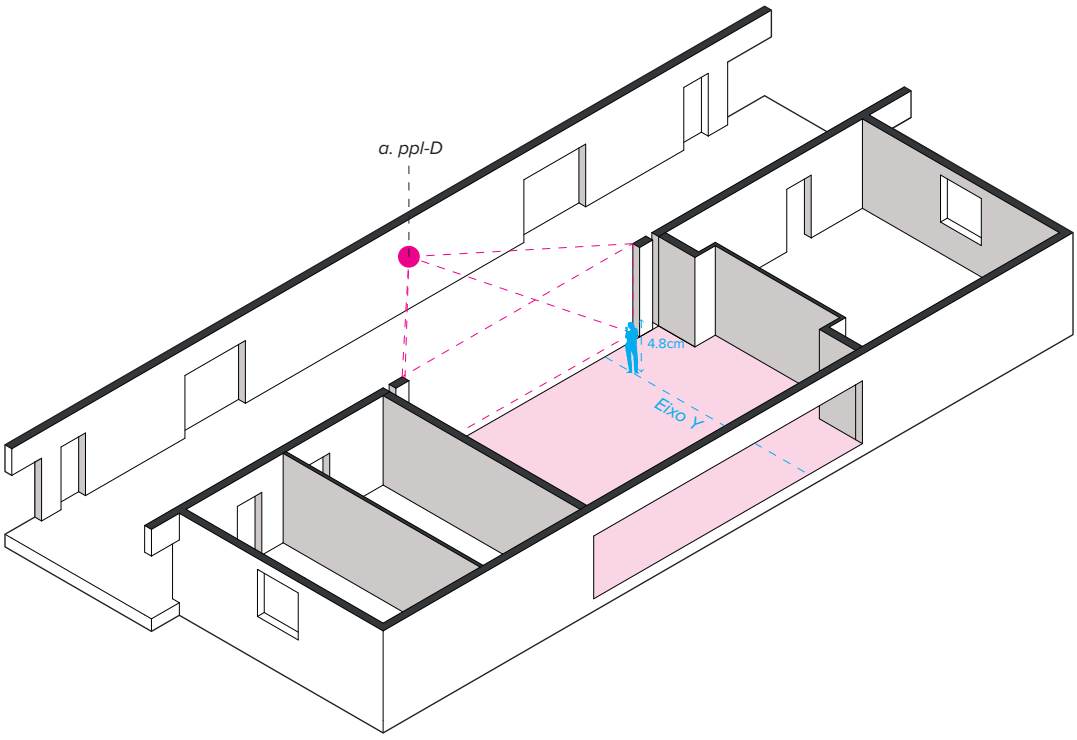


Figura 54. localização da pessoa no modelo virtual em axonometria, profundidade próxima;

Figura 55. imagem captada pelo dispositivo, com a profundidade longe;



Figura 56. esquema ilustrativo da deteção da localização da pessoa em profundidade, com a profundidade longe;

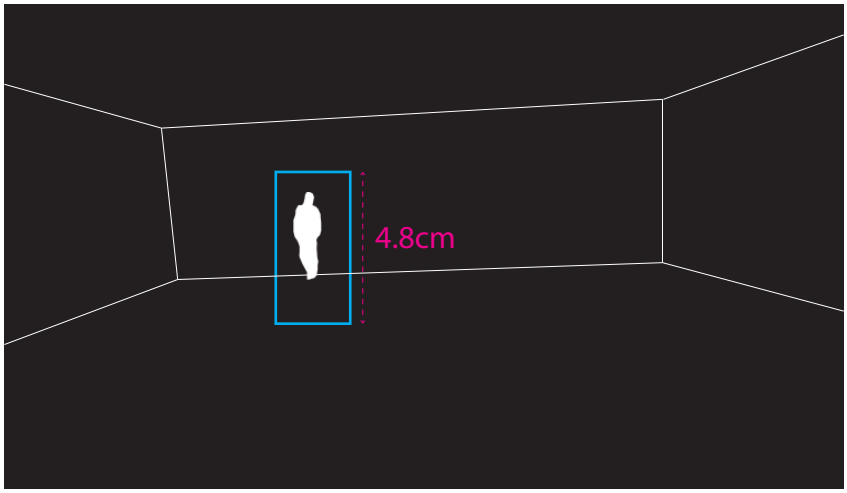
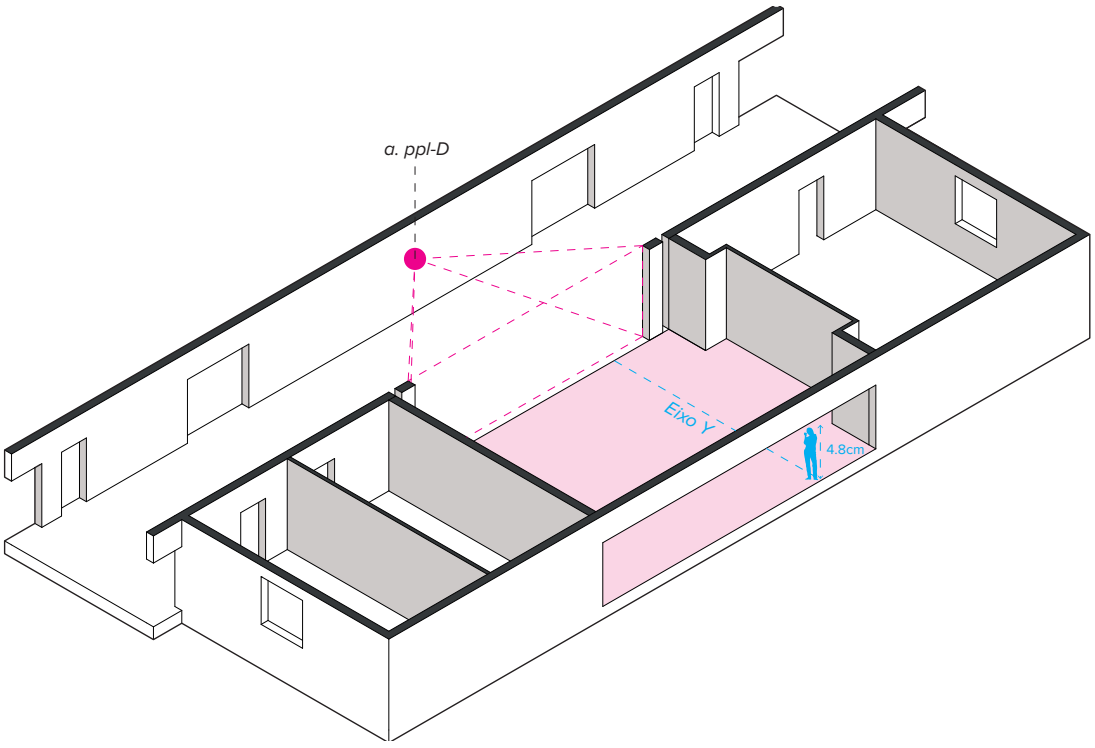


Figura 57. localização da pessoa no modelo virtual em axonometria, profundidade longe;



5. Produção de desenhos

Após as captações e análises feitas pelos dispositivos criados, parte-se agora para a visualização da informação recolhida e armazenada no computador. Para isso recorreu-se à utilização da VPL *Grasshopper*, do software de modelação 3D, *Rhinoceros3D*.

Ambas visualizações dispõem de uma fase de importação de dados para o software, seguindo de uma fase de organização de dados, finalizando com a visualização dos dados, através de modelos geométricos que o próprio software disponibiliza, bem como o *plug-ins* desenvolvido pela empresa *Proving Ground*, o *Conduit*, para a criação de gráficos, de forma a ter uma melhor perceção da informação captada pelos sensores.

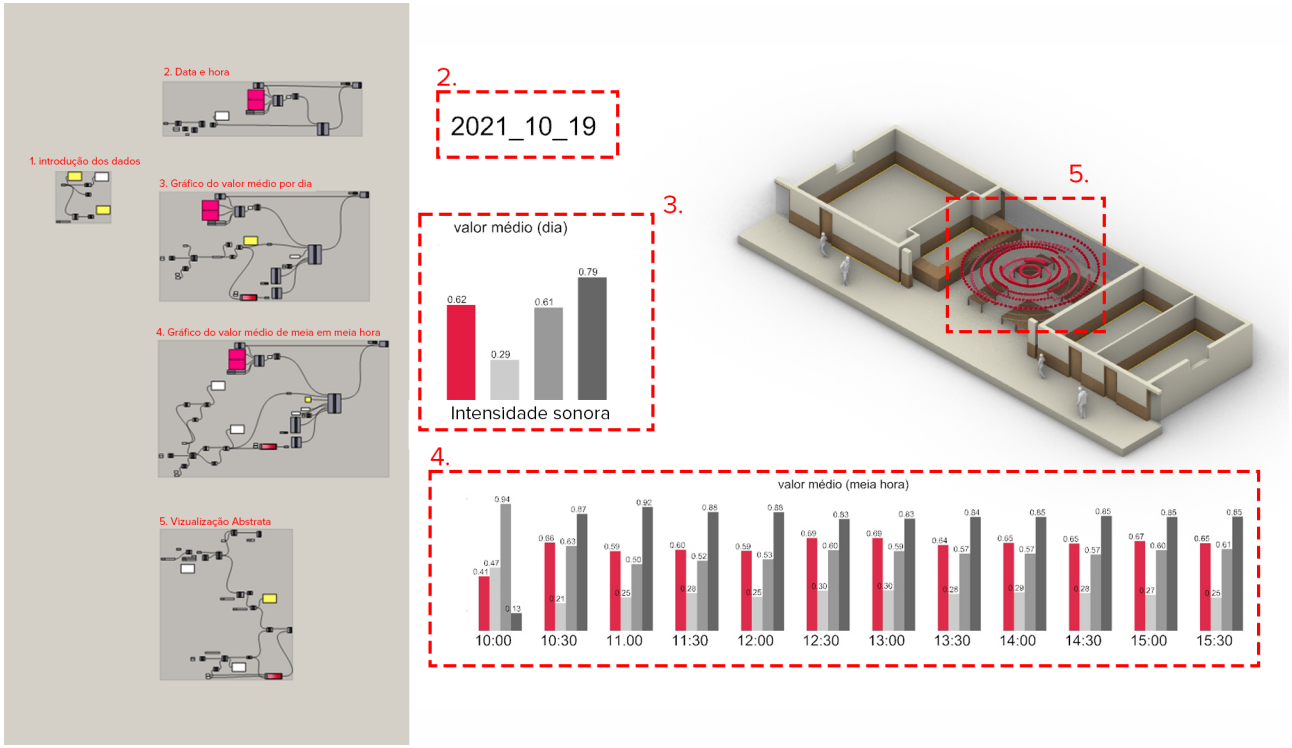
Visualização dos dados relativos ao *n-D*

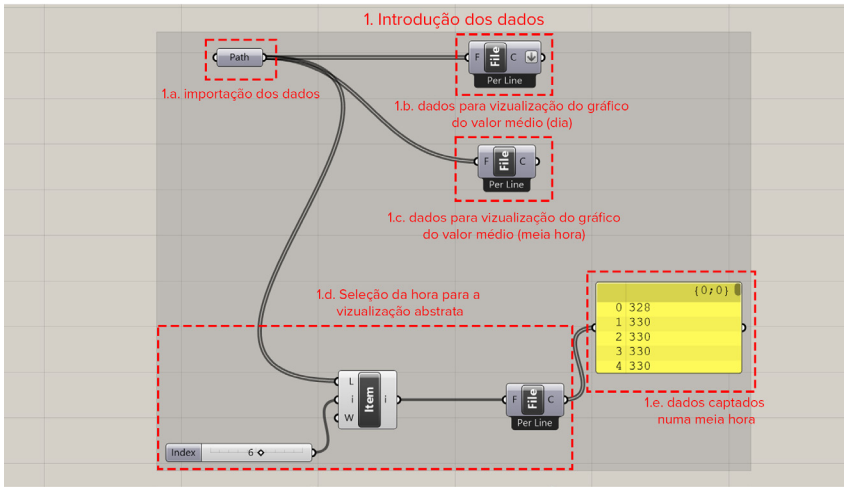
Começando pela visualização dos dados captados pelo dispositivo *n-D*. Começou-se por inserir os dados no *Grasshopper* através de contentores de armazenamento e de leitura de dados que o próprio software disponibiliza. Perante a dificuldade em gerenciar informação enviada pelo dispositivo minuto a minuto, decidiu-se apenas inserir os dados captados de meia em meia hora.

Para que os valores fossem coerentes, optou-se por fazer uma média dos dados captados num intervalo de 30 minutos, permitindo criar um valor máximo e mínimo comum a todos os dias em que se fez recolha de informação sonora. Considerou-se como valor médio mínimo 350 dB e como valor médio máximo 365 dB, redefinindo esses valores para 0 e 1, através de um *Remap*[1].

Para a visualização dos dados, utilizou-se como referência as ondas sonoras ondulatórias. De forma a facilitar o desempenho do software, criaram-se circunferências que depois foram divididas em pontos, através dos quais se desenharam esferas, que se vão movendo sobre eixo Z mediante os valores parametrizados.

1. Contentor inserido no *Grasshopper*, que tem como função redefinir os valores numéricos que um contetor armazena;





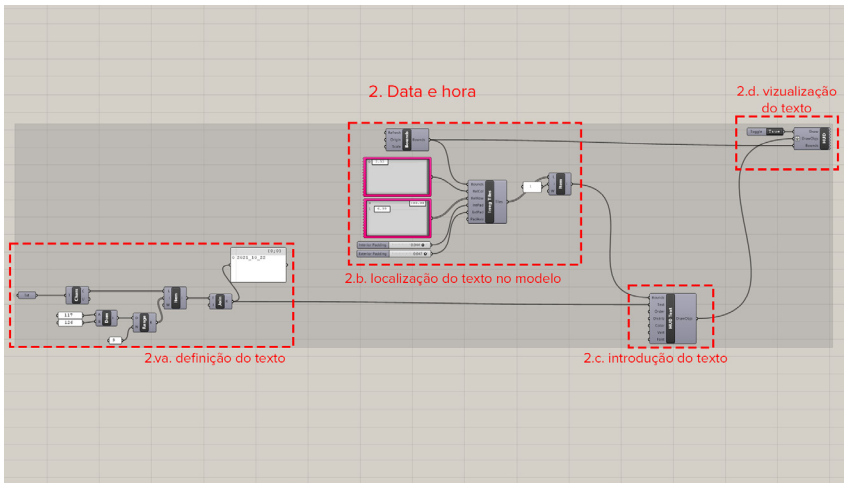


Figura 58. No lado esquerdo diagrama do *Grasshopper* para a vizualização dos dados, no lado direito vizualização dos dados sonoros;

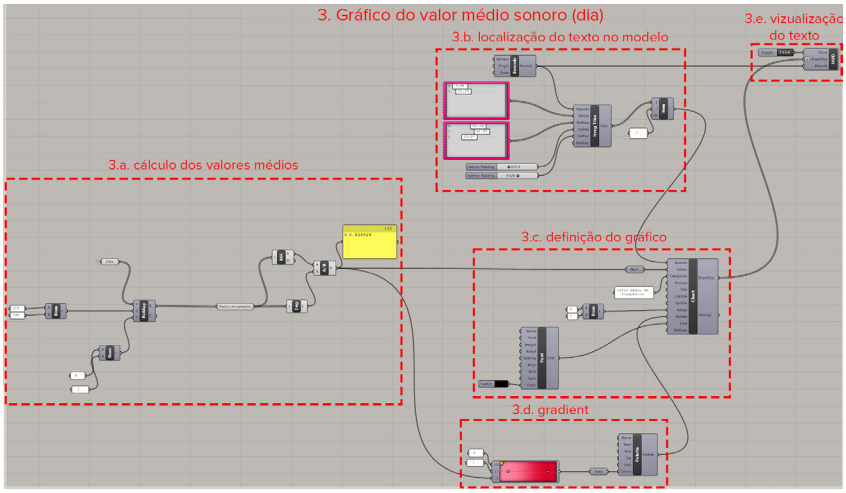
Figura 59. 1º fase introdução dos dados;

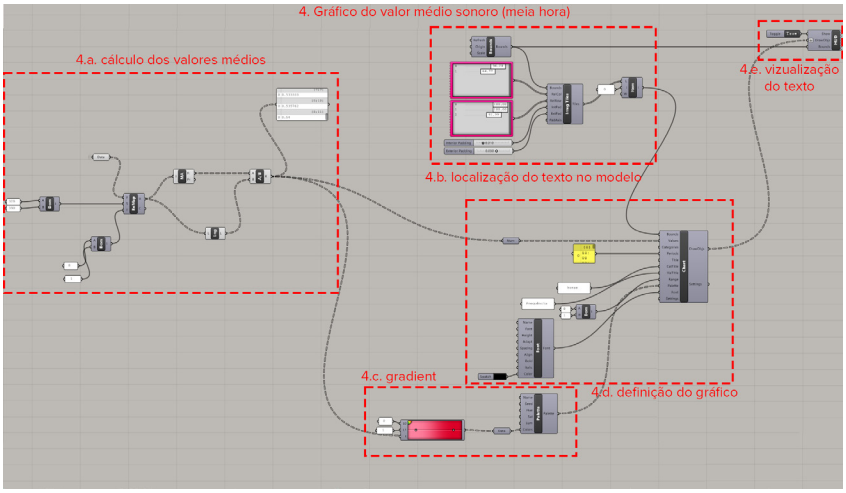
Figura 60. Definição da data e da hora;

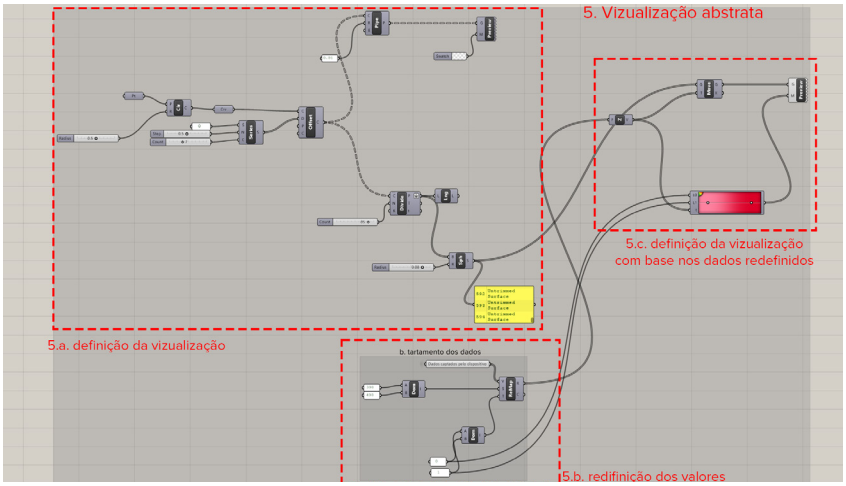
Figura 61. Criação do gráfico que apresenta o valor médio sonoro do dia;

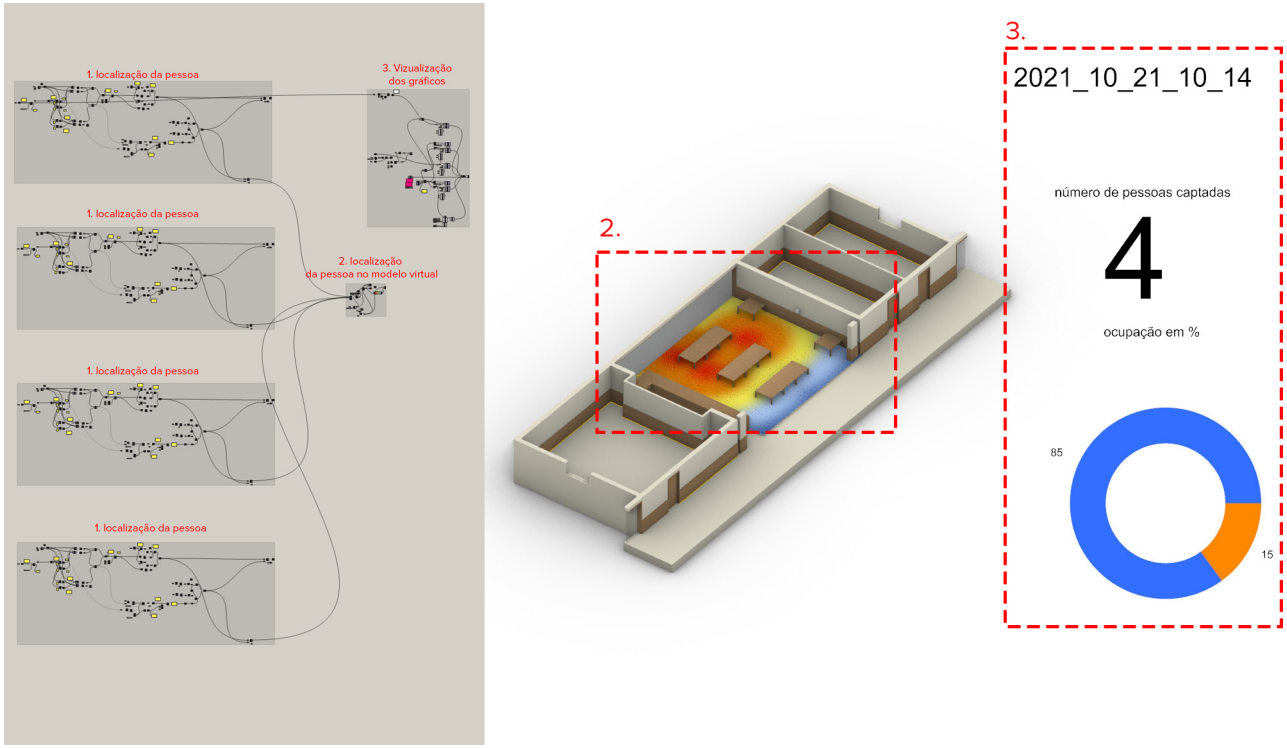
Figura 62. Criação do gráfico que apresenta a média dos valores sonoros captados de meia em meia hora;

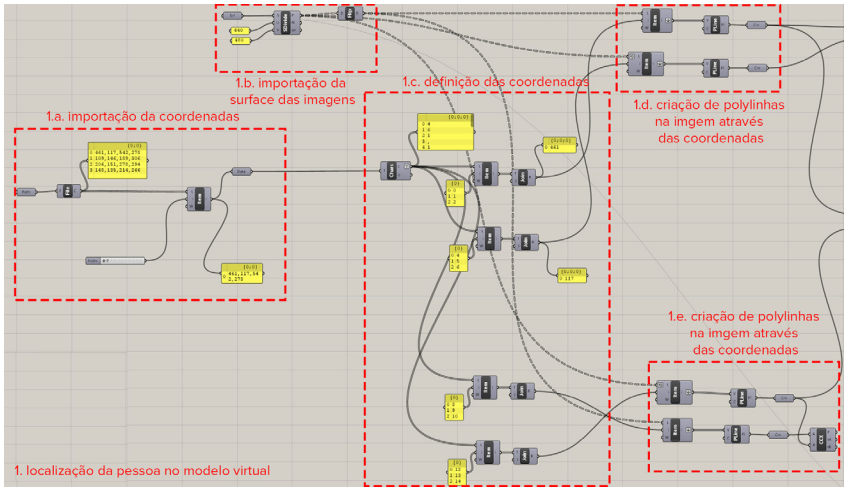
Figura 63. Criação da viuzalização abstrata no modelo virtual;











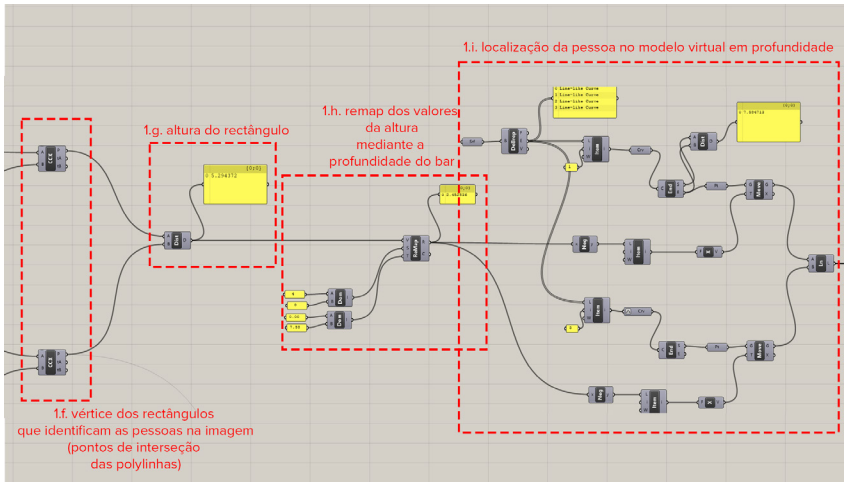


Figura 64. No lado esquerdo diagrama do *Grasshopper* para a vizualização dos dados, no lado direito vizualização dos dados da localização da pessoa no espaço;

Figura 65. 1º fase introdução dos dados, definição das coordenadas que são os vértices de forma a definir a altura do retângulo que deteta a pessoa na imagem;

Figura 66. 1º fase introdução dos dados, definição dos pontos vértices de forma a definir a altura do retangulo que deteta a pessoa na imagem e localização da pessoa em profundidade no modelo virtual;

Para além da visualização abstrata da análise, optou-se também pela criação de gráficos de barras, realizadas pelo aplicativo *Conduit*, um dos gráficos exibe os valores parametrizados obtidos pelo *n-D* de meia em meia hora e o outro exibe ao valor médio sonoro do dia em que foi feita a captação.

Ainda nos sensores sonoros, optou-se por utilizar um *gradient*[2], de forma que através da cor se realça os valores baixos e elevados que são apresentados, sendo que os valores altos se apresentam com uma cor forte e os valores baixos com uma cor menos forte. Através da cor entendeu-se também identificar os valores de cada sensor, com uma cor cinza e os valores da junção dos sensores com cor-de-rosa, permitindo comparar os valores de cada sensor com os valores globais e possibilitando uma melhor afinação de cada sensor. Cada sensor foi identificado na imagem e na legenda da visualização registou-se o dia e a hora em que foi feita a captação sonora.

Visualização dos dados relativos ao *ppl-D*

No que toca à visualização dos dados obtidos pelos sensores de localização das pessoas no espaço, esta divide-se em duas fases. Uma primeira fase, onde as coordenadas correspondem ao ponto médio do retângulo, e a segunda fase onde as coordenadas correspondem aos vértices do retângulo. O processo iniciou com a importação dos dados no software, neste caso para o *Grasshopper*, dados esses relativos às coordenadas dos vértices dos retângulos que identificam as pessoas na imagem. No *Rhino*, importa-se a imagem em análise, possibilitando a criação de uma surface que é exportável para o *Grasshopper*.

Após a incorporação dos dados no software, parte-se para a localização das pessoas no modelo virtual, neste momento todo o trabalho é elaborado no *Grasshopper*, onde se iniciou pela colocação dos pixéis da imagem importada, através da divisão da surface em pontos. As imagens que inicialmente apresentavam uma dimensão de 640x480 pixéis, tendo sido necessário dividir a surface sob comprimento em 640 linhas de pontos, e sob largura em 480 linhas de pontos.

Parte-se para localização do vértice do retângulo que identifica as pessoas na imagem, nomeadamente dois pontos capazes de obter a altura do retângulo, através das coordenadas enviadas pelo dispositivo. Ao colocar o valor de cada coordenada na divisão da surface, este irá apresentar todos os pontos da imagem em linha mediante a coordenada inserida, quando estas se intersetam, obtêm-se o ponto do vértice do retângulo. Com isto retira-se altura do retângulo, que depois é redefinido para os valores da profundidade do bar da EAAD, através de *remap*, baseando-se no que foi abordado anteriormente. Considerou que para a profundidade mais distante, que neste caso era 7,58m, a altura do retângulo deveria ser aproximadamente 4 cm, do modelo virtual, e para a profundidade mais próxima, a altura do retângulo deveria ser aproximadamente de 10.

2. Contentor inserido no *Grasshopper*, que tem como função representar um objeto, no *Rhino*, através da cor, mediante os parametros inseridos.

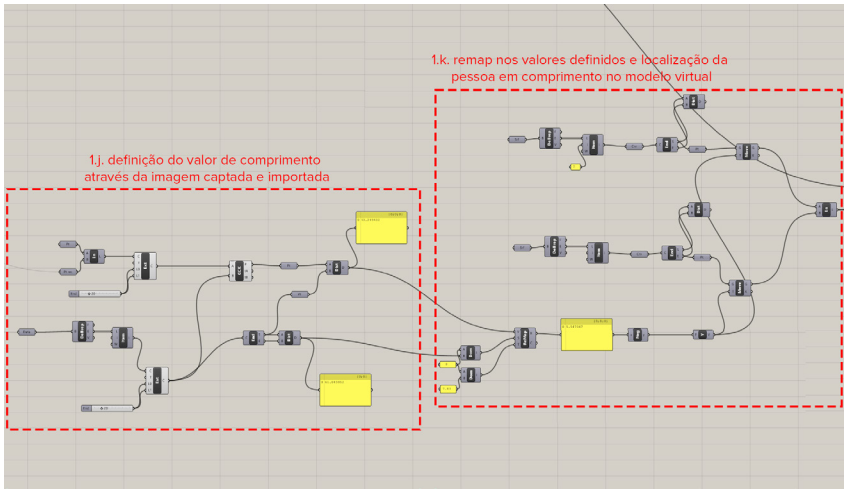


Figura 67. 1º fase definição da localização da pessoa ao nível do comprimento do espaço;

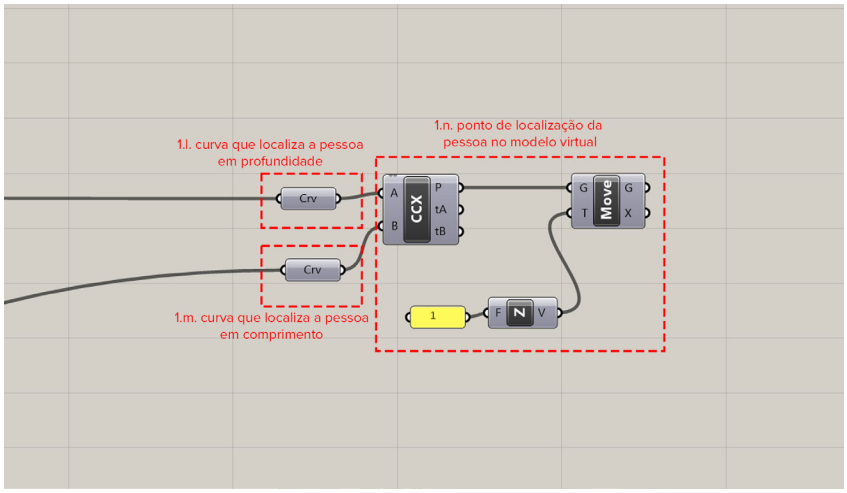


Figura 68. 1º fase de finição do ponto de localização da pessoa no modelo modelo virtual;

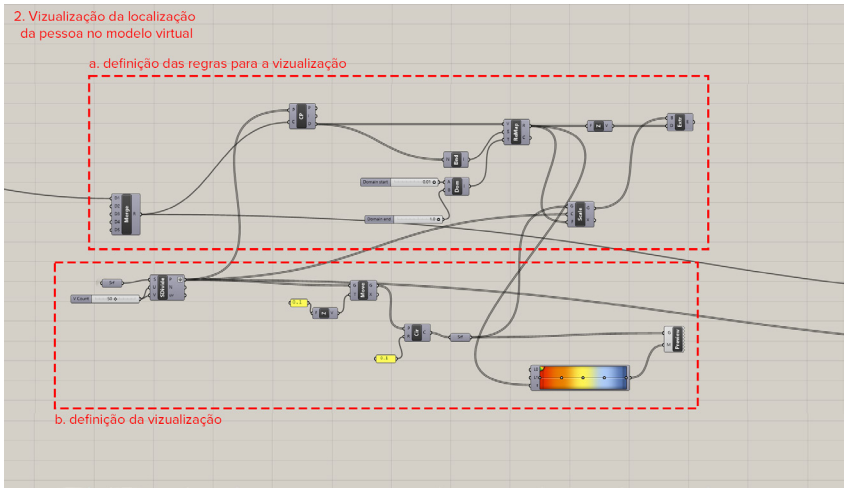


Figura 69. 2º fase Definição da metodologia *atractors* a vizualização da localização da pessoa no modelo virtual;

Após a redefinição dos valores, procede-se à localização da pessoa no modelo virtual em profundidade. Foi criada uma surface, no pavimento do bar, a sua posterior desconstrução permitiu obter as curvas que definem a profundidade da surface fundamentais à localização dos pontos reparametrizados de cada curva. Após a localização do ponto de cada curva, estes são conectados, permitindo a criação de uma linha que irá definir a localização em profundidade.

Houve ainda outra abordagem para a localização da pessoa em profundidade no espaço, visto que inicialmente o dispositivo fornecia as coordenadas do ponto médio do retângulo que identificava a pessoa na imagem. Para isso foi necessário redesenhar o retângulo no Rhino e importá-lo para o Grasshopper, para depois identificar os vértices do retângulo para dar continuidade ao processo abordado.

Para a localização da pessoa no eixo X foi necessário obter o ponto de fuga da imagem captada pelo dispositivo. Foi traçada uma linha que conecta o ponto de fuga à coordenada que define o vértice inferior do retângulo, quando esta interceta o limite da imagem, define um ponto sob eixo X. De seguida procedeu-se à determinação da distância do ponto obtido e o ponto final da curva que define o limite da imagem, de modo a ter um valor para a localização da pessoa sobre eixo X no modelo virtual, que irá ser remapeado, mediante as dimensões do bar da EAAD.

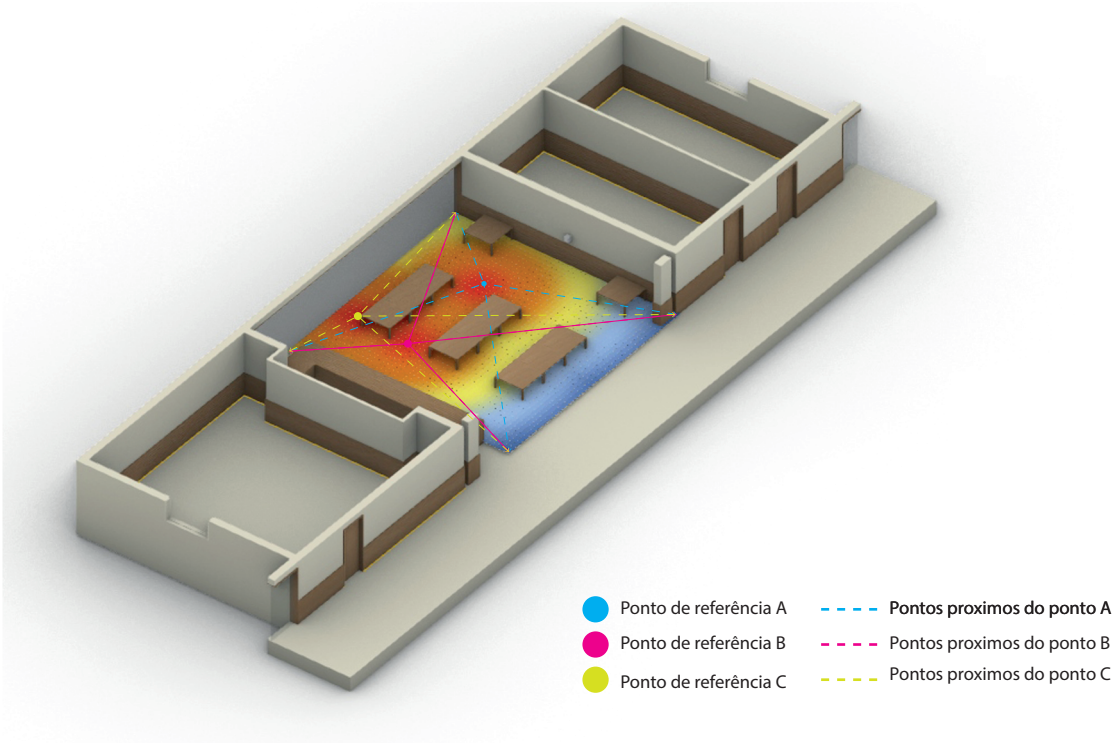
Para a localização no modelo virtual, procedeu-se da mesma forma que foi feita para a localização em profundidade. Porém, neste caso pretende-se as curvas que definem o comprimento da superfície, de forma a obter a curva que define a localização da pessoa sob eixo X. Assim sendo, ao determinar as linhas que definem a localização da pessoa em profundidade e comprimento, quando estas se cruzam obtém-se o ponto final que localiza a pessoa no modelo virtual.

Após obter a localização da pessoa no modelo virtual, segue a produção dos desenhos, recorrendo à metodologia de *atractors*[3]. Assim sendo, dividiu-se a *surface* que define o pavimento da zona do bar em pontos, sendo que a partir desses pontos foram criadas novas *surfaces*. De seguida, com recurso ao comando *closest point*[4] do próprio software, que tem como função encontrar os pontos mais próximos do ponto que se pretende, procurou-se através do ponto de localização da pessoa no modelo virtual encontrar os pontos mais próximos criados na *surface*. O comando *closest point* também apresenta o index dos pontos e a distância dos pontos mais próximos, sendo importante dado que estes valores são redefinidos através de um *remap*, redefinindo-os para 0 e 1. Por fim, com recurso ao comando *gradient*, procedeu-se à visualização das superfícies mais próximas numa cor forte e as superfícies mais distantes do ponto numa cor mais fraca. Realçando assim a localização da pessoa no espaço do bar da EAAD.

Este processo é referenciado nos anexos 6 e 7, pág. 136-153.

3. Recurso do *Grasshopper*, que tem como função localizar os “objetos” mais próximos de uma curva ou até mesmo de um ponto;

7. Contentor inserido no *Grasshopper*, que tem como função encontrar os pontos mais próximos de um ponto definido.



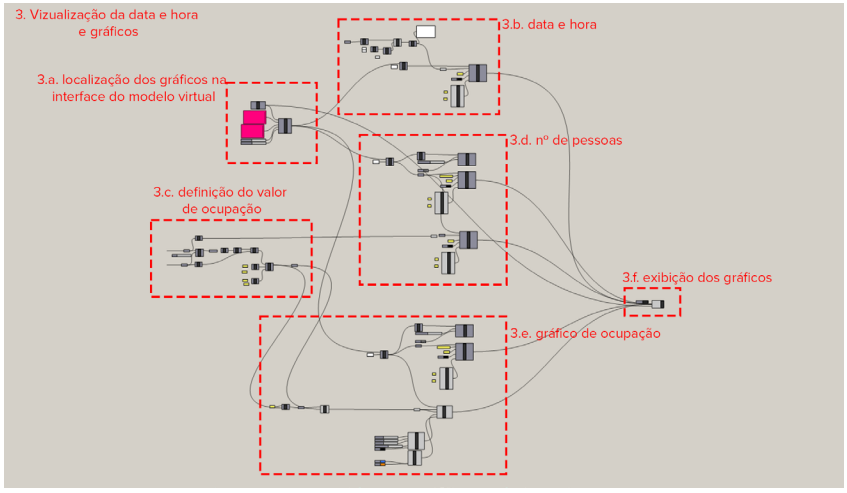


Figura 70. modelo virtual e funcionamento da metodologia *atractors*;

Figura 71. 3º fase definição dos gráfico que visam a data e a hora, o número de pessoas e percentagem de ocupação;

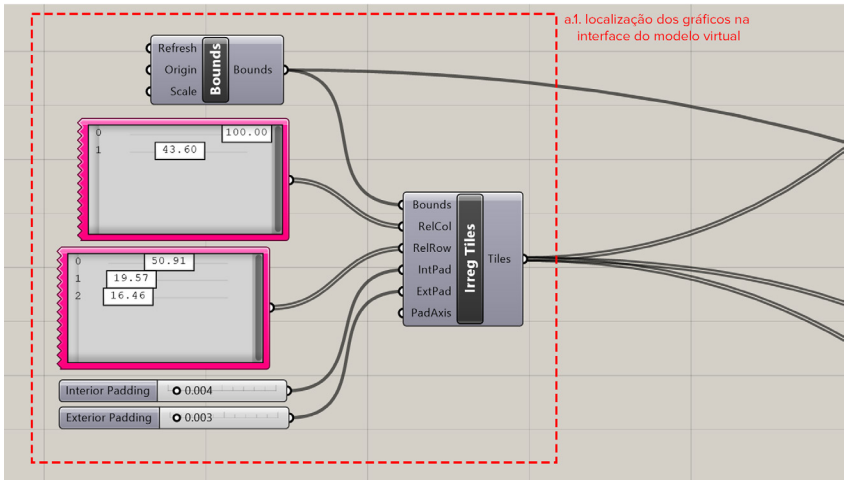
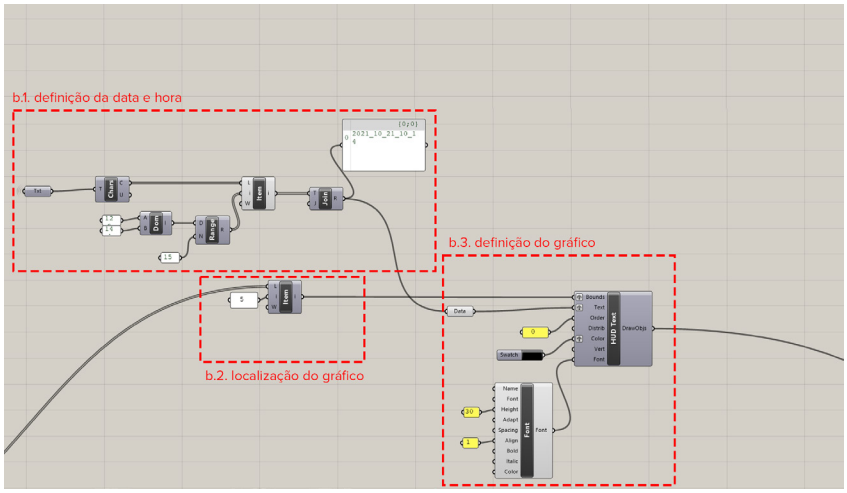


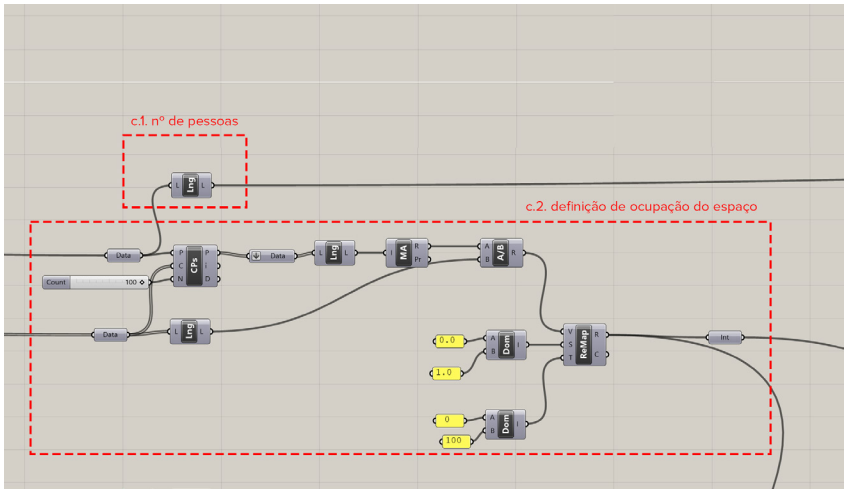
Figura 72. 3º fase localização dos gráficos;

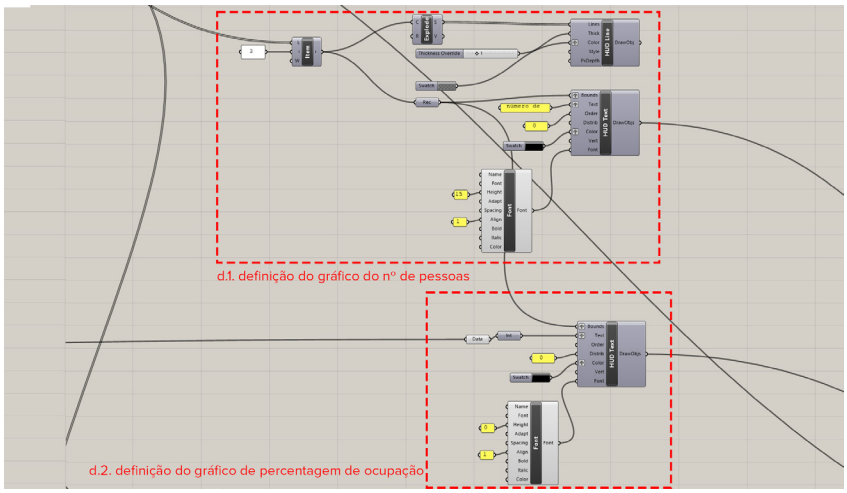
Figura 73. 3º fase definição do gráfico data e hora;

Figura 74. 3º fase dado para o nº de pessoas e pecentagem de ocupação do espaço;

Figura 75. 3º fase definição do gráfico que demontra o nº de pessoas no espaço e percentagem de ocupação;







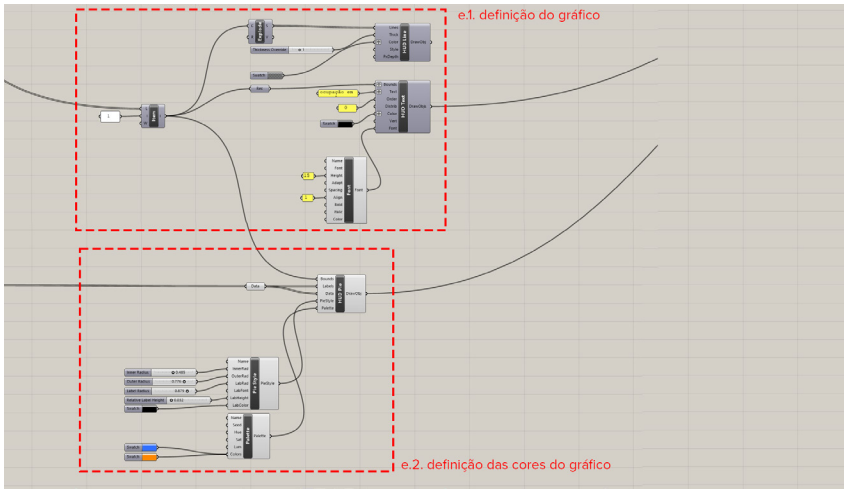


Figura 76. 3º fase definição do gráfico que indica a percentagem de ocupação no espaço;

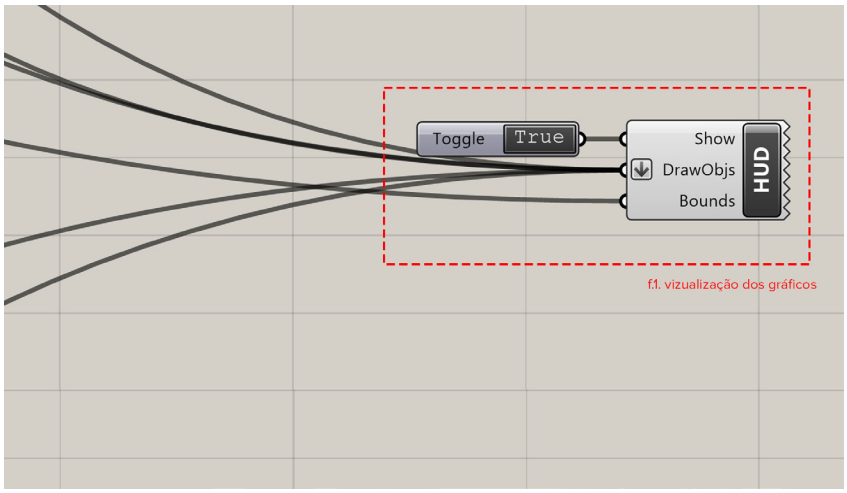


Figura 77. 3º fase botão para ativar as vizualizações dos gráficos;

6. Utilização e comportamento acústico

A análise ao bar da EAAD decorreu durante uma semana, permitindo identificar, ao longo do dia, mas também ao longo da semana, os momentos nos quais ocorrem grandes variações na utilização do espaço.

Durante o processo de análise deteve-se como dificuldades, a afinação do sensor de som, o desligar o sensor *n-D* da corrente, quebrando a análise sonora, e o problema de sobreaquecimento que o sensor *ppl-D*, que fazia com o dispositivo deligasse e desconecta-se da rede.

Os dados recolhidos durante uma semana permitem a seguinte caracterização do espaço:

Começando pela 2º feira, por ser o primeiro dia de testes, surgiram problemas na afinação, o dispositivo apresentou valores a rondar os 200 dB e 400 dB, ao que no *Grasshopper* foi necessário redefinir no código com valores, com base na média obtida pelos valores de meia em meia hora, assegurando a compatibilização dos valores com os obtidos durante a semana, assim como com os dados que o dispositivo *ppl-D* fornecia. Definiu-se como valor máximo 350 dB e valor mínimo 330 dB, e concluiu-se que na 2º feira o bar apresentava-se com valores altos de frequência sonora, com um valor médio ao final do dia de 0.60, na escala de 0 a 1.

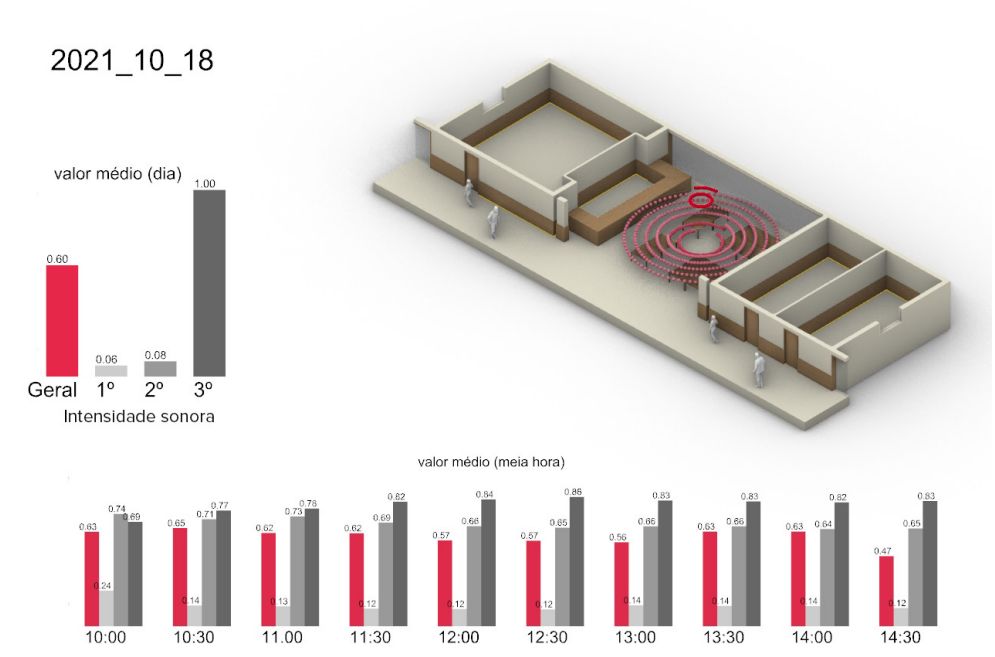
Na 3º feira obteve-se o valor médio de intensidade sonora de 0.62, sendo também um dia em que o espaço do bar foi bastante utilizado pela comunidade da EAAD.

Na 4º feira, o dia iniciou calmo mas a partir das 10h da manhã os valores rondaram os 0.6, sendo que na hora de almoço na sequência de uma falha no dispositivo sonoro foi necessário recorrer à câmara para identificar que entre o 12:30 e as 14:30 o bar se encontrava com bastantes utilizadores. Durante a tarde, os valores recolhidos foram baixos, estando em linha com o numero de utilizadores presentes no edifício.

Na5º feira, a manhã inicia-se calma, onde a intensidade sonora se encontra nos 0.50, sendo que a partir do 12:00 estes valores vão crescendo progressivamente atingido um valor máximo de 0.63 almoço, 13h, e na hora do lanche, 17h.

Na 6º feira, os valores recolhidos são valores baixos, comparando aos outros dias da semana, a rondar os 0.50. Apresentando no final do dia um valor médio de 0.52.

Os nossos valores recolhidos estão em linha com aquela que é a perceção dos que regularmente utilizam o espaço. Os primeiros dias da semana revelam valores mais expressivos. Na tarde de quarta-feira os valores baixam de forma significativa até ao final da semana, sendo exceção o horário das refeições de 5ºfeira.



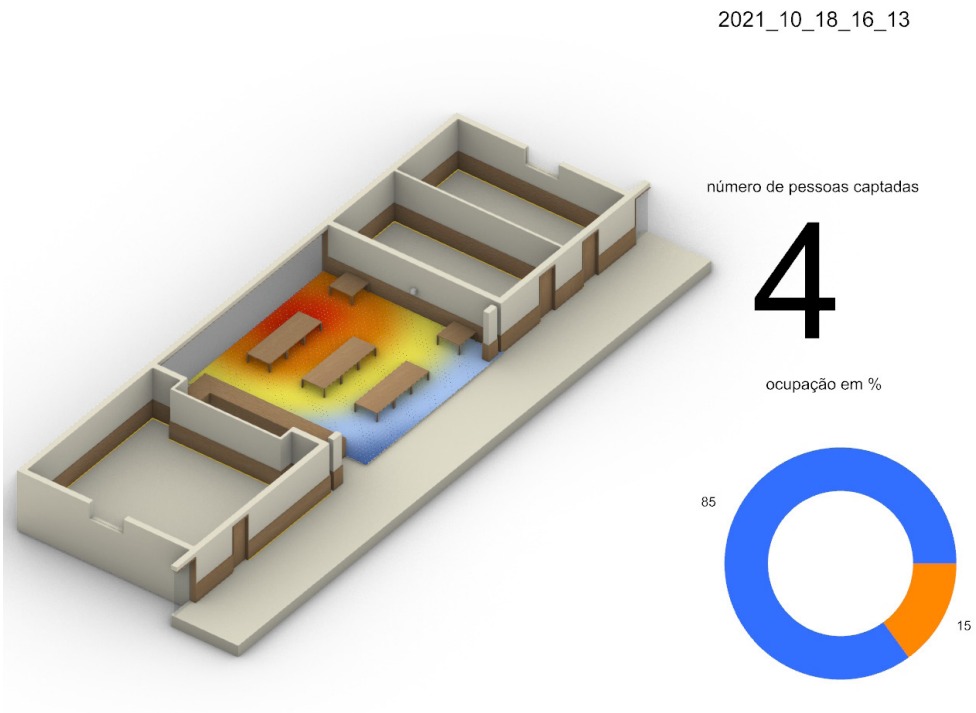
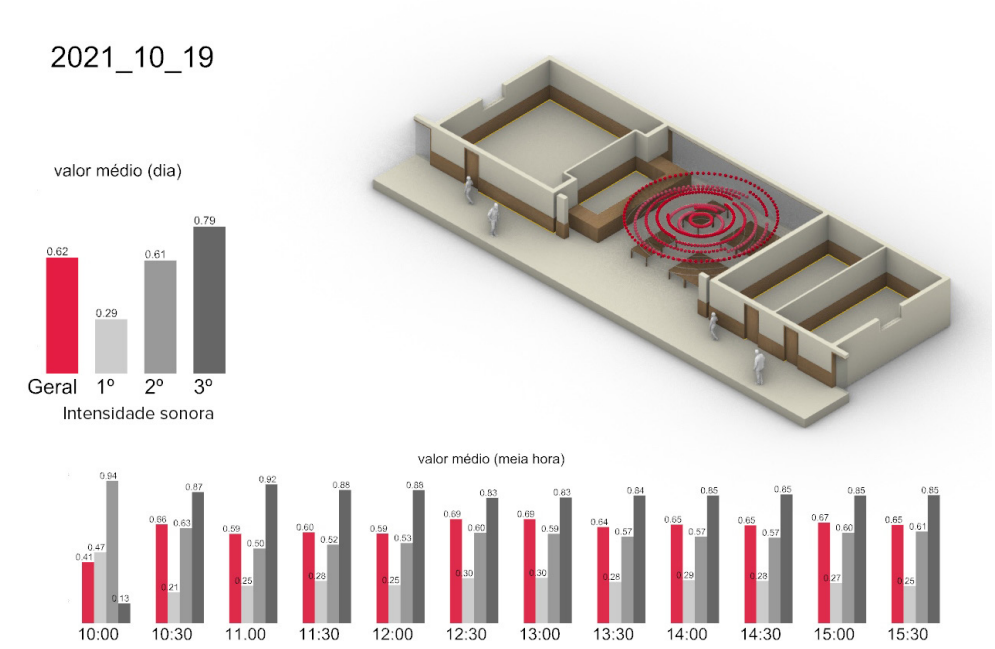


Figura 78. Avaliações sonoras de 2º feira;

Figura 79. Localização das pessoas no espaço na 2º feira;



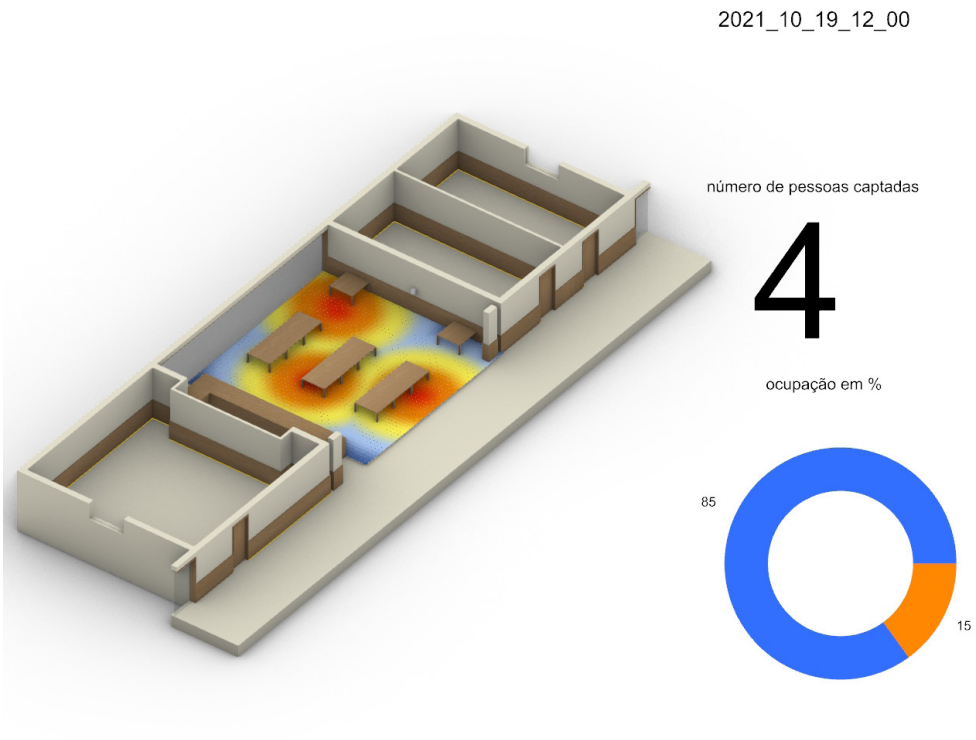
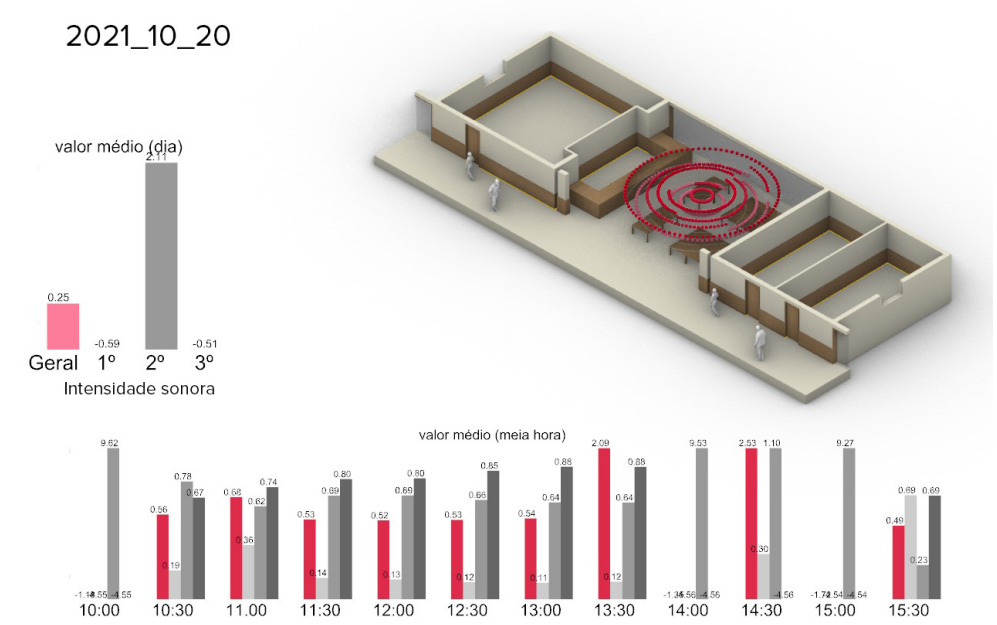


Figura 80. Avaliações sonoras de 3º feira;

Figura 81. Localização das pessoas no espaço na 3º feira;



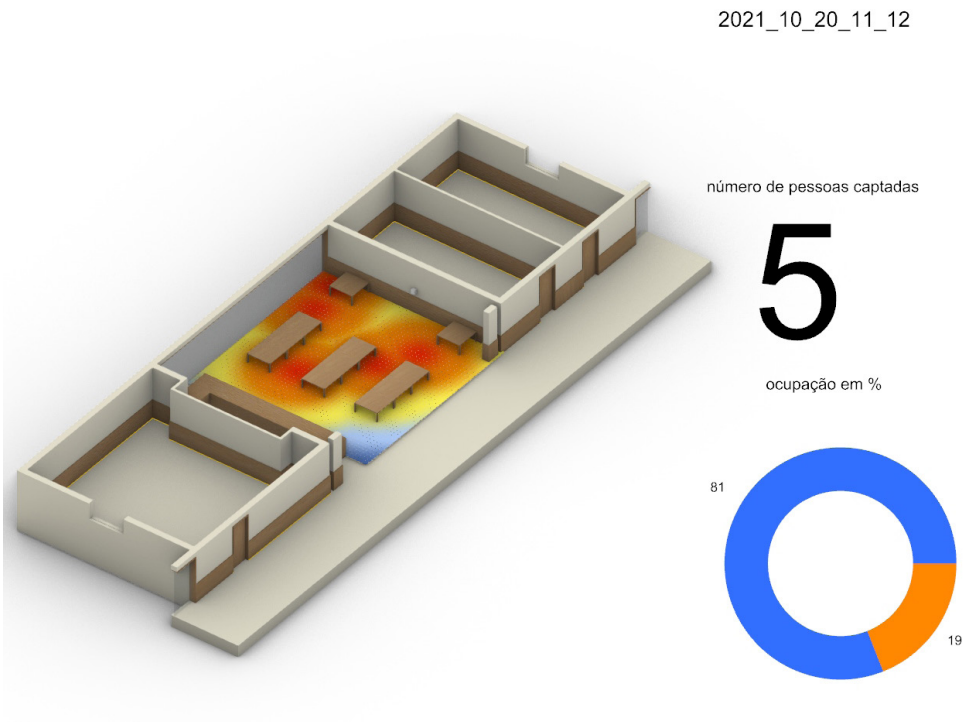
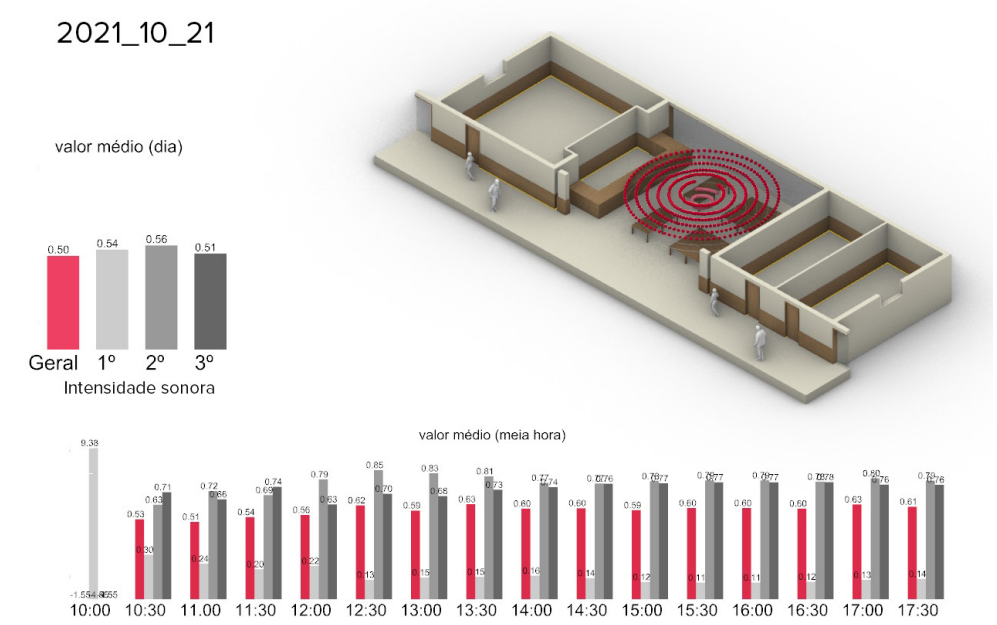


Figura 82. Avaliações sonoras de 4º feira;

Figura 83. Localização das pessoas no espaço na 4º feira;



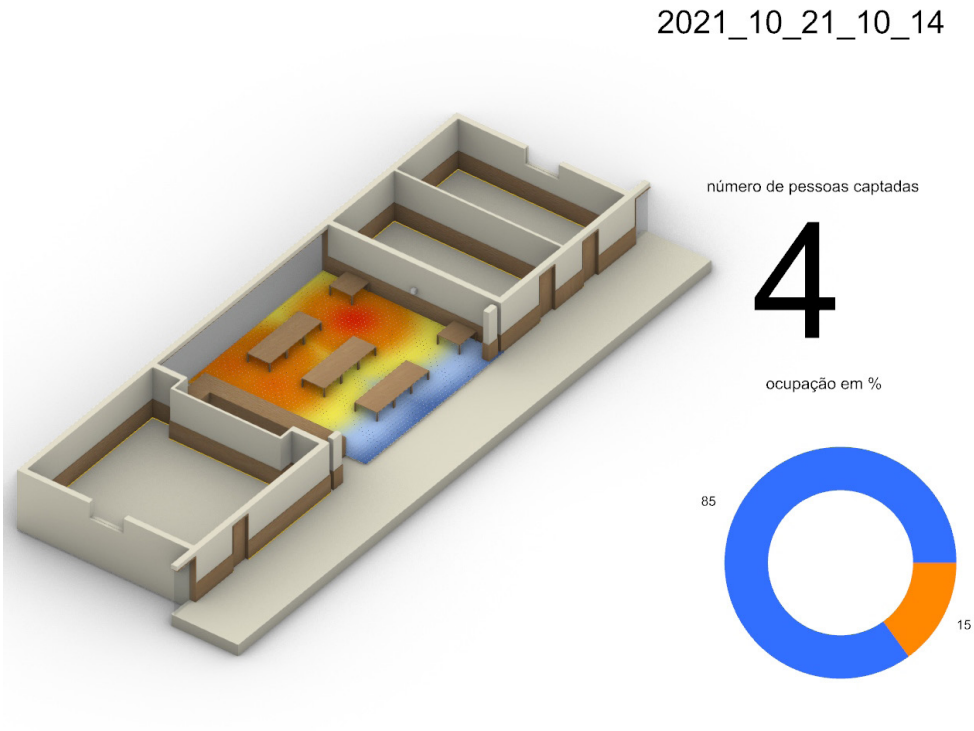
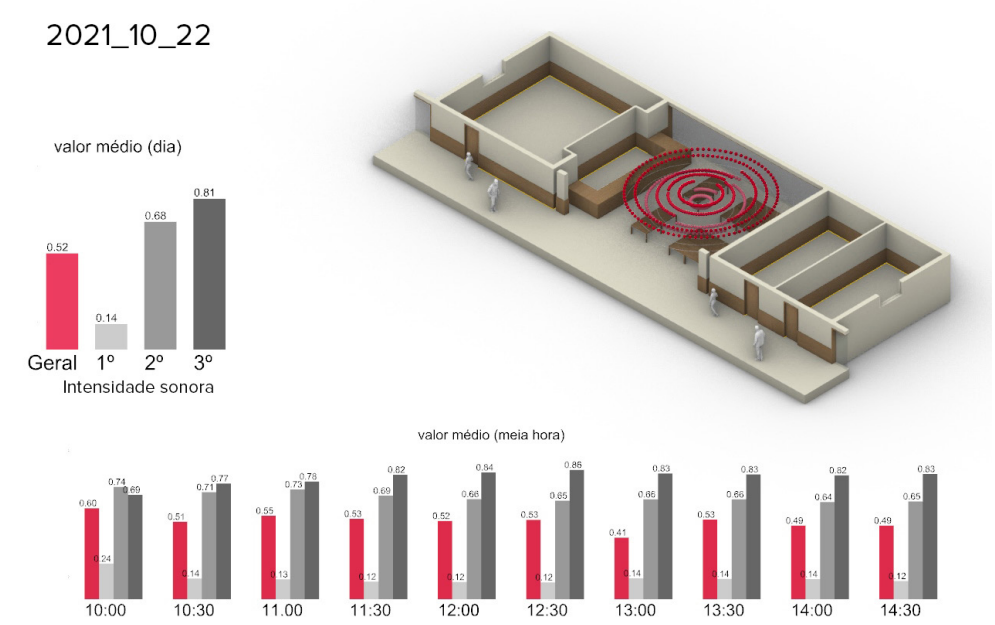


Figura 84. Avaliações sonoras de 5º feira;

Figura 85. Localização das pessoas no espaço na 5º feira;



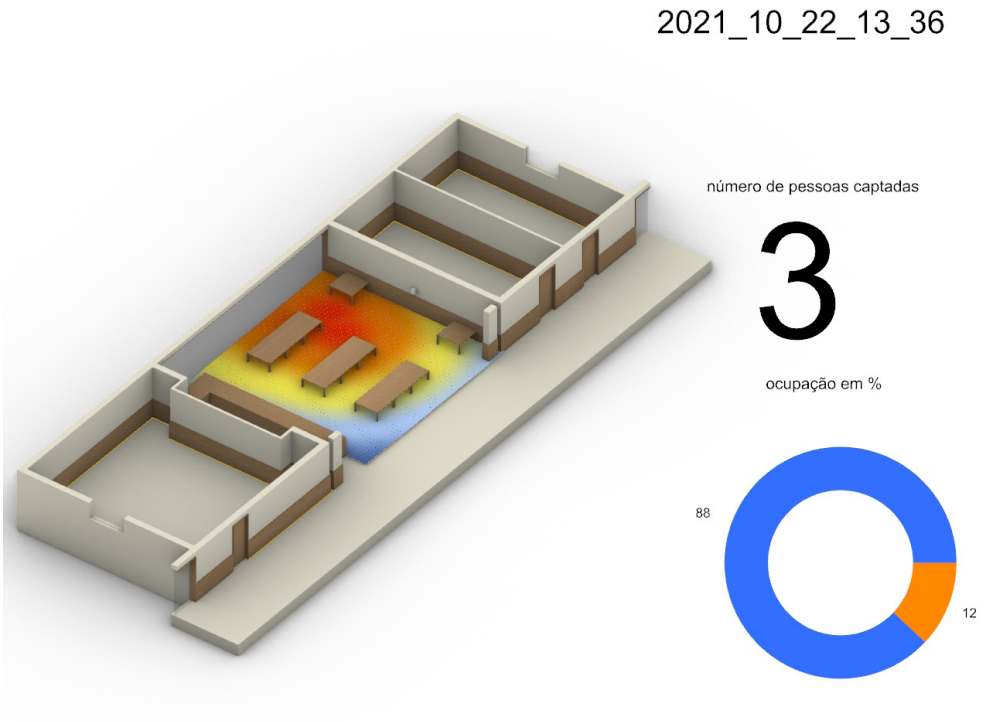


Figura 86. Avaliações sonoras de 6º feira;

Figura 87. Localização das pessoas no espaço na 6º feira;

Conclusão

Na sequência da investigação realizada é possível sistematizar alguns dos resultados. Os trabalhos desenvolvidos evidenciam a crescente relação entre a arquitetura e um mundo tecnológico altamente conectado. Dessa interação resultam significativos avanços na forma como pensamos, projetamos e habitamos o espaço.

Através da investigação e, com recurso a um caso de estudo, surgem novas oportunidades, novas visões e novos métodos de projetar. Como resultados da investigação destaca-se:

(1) Constata-se que vivemos num mundo que é suportado por dispositivos tecnológicos em permanente transformação e cada vez mais acessíveis ao cidadão. As suas potencialidades e especificidades tornam o mundo atual cada vez mais conectado, um simples objeto consegue-se conectar à rede, fazendo com que atualmente tudo possa ser traduzido em informação , estamos perante um tsunami de dados;

(2) É fundamental uma maior cooperação entre o conhecimento arquitetónico e o conhecimento tecnológico, permitindo a análise de dados no espaço, sem que se percam as bases fundamentais da disciplina. O conhecimento teórico, o conhecimento empírico são agora potenciados pelo conhecimento possível de alcançar a partir da recolha e interpretação de uma grande quantidade e diversidade de informação.

(3) As *smart cities* são um exemplo do contributo dos meios interativos para o desenvolvimento do espaço arquitetónico. Sendo que, com base no conceito das *smart cities* e das IoT's, as infraestruturas tendem a ser cada vez mais sistemas que acrescentam às necessidades básicas a possibilidade de recolha de informação, tornam-se info-estruturas, . Permitem captar e analisar informações que nos possibilita "aprender sobre as cidades, assim como as cidades aprender sobre nós" (Ratti);

(4) O conceito de *smart city* pode ser transportado e aprofundado no interior de espaços urbanos que pela sua estrutura administrativa e de gestão possuem grande autonomia. É sob esta perspetiva que se apresenta o campus universitário de Azurém enquanto *senseable campus*. Podendo ser visto como um laboratório urbanos de inovação. Os campus universitários apresentam ainda uma certa complexidade de ordenamento e gestão do espaço, visando a multidisciplinariedade entre os cursos;

(5) No caso do campus de Azurém este apresenta espaços com um elevado potencial de análise, destacando-se: a praça que se encontra entre o edifício de arquitetura e os edifícios de engenharia, onde se reúne alunos de vários cursos; a entrada principal da universidade, devido ao espaço ser utilizado não só pelas pessoas, mas também pelos veículos; o *'Caminho de Erasmus'* devido à relação entre o campus e a natureza. O potencial destes espaços expande-se pelo facto de neles já estarem presentes diversos sistemas de interação tecnológica, destacando-se: câmaras, etiquetas *RFID* e *QR code*, sensores de leitura...;

(6) A colaboração entre os meios interativos de análise e a Arquitetura não se deve basear só na implementação de meios sensoriais no espaço. É necessário um estudo do espaço de forma a encontrar um problema comum a toda a comunidade, para depois através da recolha e análise dos dados que visam o estudo do problema que o espaço gera, chegar a soluções sólidas e viáveis;

(7) Apresenta-se como fundamental a criação de *Digital twins*. Permitindo que através da digitalização do espaço, se reforcem as possibilidades de conexão entre o mundo virtual e o mundo físico;

(8) No que toca a recolha de informação esta deve continuar a ter por base dois processos fundamentais: um processo passivo que permite obter dados do espaço sem que as ações das pessoas influenciem diretamente no processo; um processo ativo , que convoca os mais diversos intervenientes para a submissão de propostas e disponibilização de conhecimento;

(9) Os meios interativos são cada vez mais autónomos, como exemplo surgem a metodologias de análise ligadas à inteligência artificial, como *machine learning* e *deep learning*, que permite que o dispositivo e capte, analise e apresente soluções de forma autónoma, fazendo com que estes meios se tornem cada vez mais como estruturas do mundo, devido às suas previsões baseadas nos dados acessíveis;

(10) Surgem as VPL, como o caso do *Grasshopper*, que visam a a ideia diagramática de *"plug and play"*, que permite visualizar e trabalhar os dados captados;

(11) No que toca à análise do edifício da EAAD, o edifício apresenta como espaço comum a todos os que frequentam o edifício a zona do bar. Sendo que este espaço apresenta como problema a acústica, visto ser um espaço social e de estar diretamente conectado com o volume de ligação a todos os espaços da escola;

(12) Na implementação de dipositivos interativos , os microcontroladores são as peças essenciais para a programação o, visto que podem ser considerados como minicomputadores em chip que quando complementados por sensores revelam grande pertinência para a análise do espaço. Estes dispositivos destacam-se por estarem disponíveis no mercado a baixo custo;

(13) O desenvolvimento da solução a aplicar no Bar da EAAD exigiu aceder a conhecimento que sai fora do âmbito disciplinar da arquitetura, no entanto, foi na arquitetura, e mais especificamente no desenho geométrico, que se conseguiu clarificar os princípios a incorporar no dispositivo *ppl-D* que permitem uma análise e interpretação perspetiva do espaço, permitindo que o sistema implementado se torne capaz de posicionar os utilizadores no espaço.

(15) Através da análise feita para além de solidificar algum conhecimento sobre o espaço, permite a que se tenha uma visão expandida do espaço, onde através dos dados captados e da sua análise possa ser partilhada com a comunidade universitária, e que as próximas decisões a serem tomadas sobre o espaço do bar se apresentem mais sólidas e precisas.

Muitas foram as questões que surgiram no decorrer do trabalho, sendo que o essencial deste trabalho acadêmico foi reforçar as interações entre a arquitetura e o mundo informático. O mundo encontra-se cada vez mais conectado importa perceber as a condição da arquitetura neste novo mundo,

Glossário

IoT (*internet of things*) - Consiste numa ligação de todo o tipo de aparelhos com capacidade computacional e de ligação à web, com ou sem envolvimento ativo do ser humano, de modo a fornecer dados baseados no funcionamento do dispositivo conectado, de modo haver condições para a criação de um mundo inteligente, em que tudo está em sintonia. Em suma trata-se de uma rede de objetos físicos, tecnologia embarcada com sensores ou outros meios que permitem a conexão à rede, capaz de reunir e transmitir dados.

Smart Cities- São caracterizadas pelo uso de meios tecnológicos, nomeadamente tecnologias de informação e comunicação (TIC), de modo a recolher e transmitir dados de uma determinada zona urbana, com o objetivo de organizar, controlar e desenvolver o espaço e a comunidade que a habita.

Senseable Cities- Termo desenvolvido pelo arquiteto italiano, Carlos Ratti, diretor do laboratório de *Senseable Cities*, do instituto de tecnologia de Massachusetts, em Cambridge, que se baseia nas cidades inteligentes. Porém estas ao invés de pôr as tecnologias no centro do desenvolvimento, coloca o cidadão, pois o desenvolvimento de uma zona urbana passa pelo desenvolvimento do cidadão. Para Ratti, o termo "sensível" provém não só dos sensores que as cidades inteligentes apresentam, mas também o lado mais humano das cidades inteligentes.

Big data- Conceito que descreve um grande volume de dados, estruturados e não estruturados, que são gerados a cada segundo, permitindo o estudo e análise dos mesmos. Ao longo das últimas décadas, a quantidade de dados gerados tem vindo a aumentar significativamente, nomeadamente o surgimento com o surgimento das IoT. As ferramentas *Big data* são de grande importância na definição de estratégias.

Machine learning- Método de análise autónomo de dados e construção de modelos analíticos através de um sistema interativo. Pertencente ao ramo da inteligência artificial, que se baseia na ideia de que os sistemas poderão aprender de forma a tomar decisões independentes do ser humano. Como por exemplo, a condução autónoma, ou até mesmo a deteção do vírus do sistema. A intenção deste método interativo passa por através da recolha de determinados dados informativos, fornecer resultados autónomos, rápidas e precisas.

Deep Learning **-** Similar à *Machine Learning*, no entanto aprofundam mais a análise proveniente das ML. Numa análise mais automatizada, onde não necessita de intervenção humana, enquanto que as ML necessitam de uma certa intervenção humana para aprender

Neural Network- Trata-se de uma inteligência artificial que tem vindo a ser desenvolvida. Em que se baseia numa série de algoritmos que se esforçam para reconhecer relações num conjunto de dados, através de um processo de filtração, idêntico ao cérebro humano, com o objetivo de gerar o melhor resultado possível.

MQTT **-** O protocolo *MQTT*, projetado por Dr. Andy Stanford-Clark da IBM (*international Business Machines*) E Arlen Nipper da Eurotech, baseia-se num sistema de clientes que comunicam, através de troca de mensagens publish/subscribe, com um servidor, designado *broker*, que permite ao cliente publicar ou subescrever informações.
A informação é organizada através de uma hierarquia de tópicos, quando um publicador apresenta novos dados para distribuir, este envia uma mensagem de controlo para o *broker* a que se encontra conectado. Sendo que o *broker* por sua vez distribui a informação retida para outros clientes que subscreveram o tópico. O publicador não necessita de ter nenhum dado numérico de localizações ou até mesmo de subescritores, do mesmo modo que os subescritores não necessitam de ter informações dos publicadores.

Digital Twin **-** Tal como o nome indica, trata-se de um clone digital. Uma “estratégia” de trabalhar com *Big Data*, que consiste numa troca de dados ou algoritmos entre modelos virtuais e físicos, que visam em descrever as componentes e comportamentos de ambos os mundos, fundamentados pela análise e previsão de problemas do mundo físico através da digitalização. Fundamentando-se em 3 partes distintas: o produto físico real, o produto virtual e a conexão entre eles, constituída pelo fluxo de dados que o produto real disponibiliza para a criação do produto virtual, e as informações que o produto virtual apresenta para complementar a informações adquiridas pelo produto real

Bibliografia

Álvarez, R., Duarte, F., Alradwan, A., Sit, M., & Ratti, C. (2017). Re-Imagining Streetlight Infrastructure as a Digital Urban. JOURNAL OF URBAN TECHNOLOGY.

Berkel, B. V. (2020). Design, data and liveability: The role of technology within the future of an expanded profession. Em M. Burry, Technology-Driven Architect-Entrepeneurs (pp. 58-65). 9600 Garsington Road, Oxford: John Wiley & Sons Ltd, ISSN 0003-8504

Burry, M. (2020). Urban futures: Designing the digitalised city. Better to make a good future than predict a bad one, pp. 6-13. ISSN 0003-8504

Evans, D. (2011). The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG).

Gascó, M. (2016). What makes a city smart? Lessons from Barcelona. 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (pp. 2981-2989). Barcelona: IEEE computer society.

Hanif, S., Khedr, A., Aghbari, Z., & Agrawal, D. (2018). Opportuniscally Exploiting Internet of Things for Wireless Sensor Network Routing in Smart Cities. Journal of Sensor ans Actuator Networks: Wireless Sensor and Actuator Networks for Smart Cities, 142-158, ISBN 978-3-03897-424-6

Hovestadt, L. (2020). Big Data & Machine Learning. Em U. H. Ludger Hovestadt, Atlas of Digital Architecture (pp. 549-579). Berlin/Boston: Birkhauser, ISBN 978-3-0356-1989-8

Hovestadt, L. (2020). In Conclusion: What is Information? Em U. H. Ludger Hovestadt, Atla of Digital Architecture (pp. 695-722). Berlin/Boston: Birkhauser, ISBN 978-3-0356-1989-8

Institute for Advanced Architecture of Catalonia e Fab Lab de Barcelona. (2020). Smart Citzens. Obtido de https://smartcitizen.me/

Kantarci, B., & Oktug, S. (2018). Special Issue: Wireless Sensor and Actuator Networks for Smart Cities. Sensor and Actuator Networks, 1-5.
Koning, R., & Schneider, S. (2020). Digital Cities. Em L. Hovestadt, U. Hirschberg, & O. Fritz, Atlas of Digital Architecture (pp. 529-547). Basel, Switzerland: Birkhauser. ISBN 978-3-0356-1989-8

Kvan, T. (2020). Data-Informed Design: A Call for Theory. Em M. Burry, Urban Futures: Designing the Degitalised City (pp. 27-31). 9600 Garsington Road, Oxford: John Wiley & Sons Ltd. ISSN 0003-8504

Malheiro, A. (2019/2020). Data flow from BIM to Digital Twins. BIM A+ (pp. 11-82). MIlano: Politecnico Di Milano.

Markopoulou, A., Ingrassia, M., Chronis, A., & Richard, A. (2018). City Gaming and Participation - Enchanging User Participation in Design. Barcelona: Springer Nature Singapore Pte Ltd.

MIT Senseable Cities Lab. (s.d.). MIT Senseable Cities Lab. Obtido de MIT Senseable Cities Lab: https://senseable.mit.edu/

Picon, A. (2015). Smart Cities: A Spatialised intelligence. 1º ed, Reino Unido: John Wiley & Sons Ltd, ISBN 978-1-119-07559-2

Ratti, C. (s.d.). Urban imagination and social innovation through design & science. MIT 9-216, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139 USA, Cambridge, USA.

Swarts, P. G. (2014). Campus Information-and-knowledge Modeling: Embedding Multidisciplinary Knowledge into a Design Envirinment for University Campus Planning. International journal of architectural computing, 440-457.

Wang, Z. et al.(2019). Quantifying Legibility of Indoor Spaces Using Deep Convolutional Neural. Cambridge: MIT Seanseable City Lab.

Achten, H. (2015). Closing the Loop for Interactive Architecture: Internet of Things, Cloud Computing, and Wearables. Conference: 33rd International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe. Vienna, Austria: eCAADe.

Bhagya Nathali Silvaa, M. K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures,. Sustainable Cities and Society.

Fabian Dembski, U. W. (2019). The Digital Twin: Tackling Urban Challenges with Models, Spatial Analysis and Numerical. eCAADeSIGraDi.

Grokhotkov, I. (2017). ESP8266WiFi library. Obtido de ESP8266 Arduino Core: https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html

Kai-Ming Chang, R.-J. D.-J. (2018). An Automated IoT Visualization BIM Platform for. Internatioanl Conference of inventions. MDPI.

Kalanda. (10 de 12 de 2020). ESP8266 WifiSniffer. Obtido de Github: https://github.com/kalanda/esp8266-sniffer

Louna Al Bondakji, A.-M. C. (s.d.). VR-visualization of High-dimensional Urban Data. eCAADe.

Loureiro, R. d. (2019). Internet das Coisas: Arquiteturas, plataformas e estudo de casos. Dissertação de Mestrado para a obtenção de grau de mestre em Engenharia eletrónica indutrial e de computadores. Escola de Engenharia da universidade do minho, Azurém, Guimarães, Portugal,

MakerStream. (21 de setembro de 2016). NodeMCU V2 ESP8266 WiFi IOT Module Flashing Update Firmware using NodeMCU Flasher Tutorial Part 1. Obtido de youtube: https://www.youtube.com/watch?v=Af9UCSM0Ic8

Minho, C. d. (2018). Estudo para os espaços exteriores. Azurém, Guimarães.

Mojtaba Valinejadshoubi, O. M. (2020). Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal. Sustainable Cities and Society.

Motamedi, W. N. (2019). BIM - based live sensor data vizualization using virtual reality for monitoring indoor conditions. CAADRIA.

Nikol Kirova, A. M. (19 de Agosto de 2019). Impact: Design With All Senses. A Smart Material System for Real-Time Urban Flow Data Collection Toward Responsive Environments and Informed Decision Making in Urban Spaces.

Paula Gómez, M. S. (2014). Campus landscape information modelling: Intermediate scale model that embeds information and multidisciplinary knowledge for landscape planning. XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Knowledge-based Design. São Paulo: sigradi.

Pik Lik Billy Lau, C. Y. (s.d.). The Study of Urban Residential's Public Space Activeness Using Space-Centric Approach. IEEE Internet of Things Journal.

ProgrammingKnowledge. (25 de Junho de 2019). OpenCV Python Tutorial For Beginners 24 - Motion Detection and Tracking Using Opencv Contours. Obtido de youtube: https://www.youtube.com/watch?v=MkcUgPhOlP8

Sarah Abdullah Al-ghamdi, D. F.-H. (2015). Rethinking Image of the City in the Information Age. International Conference on Communication, Management and Information Technology (ICC. University of Dammam, Dammam, Saudi Arabia: Elsevier B.V.

Vaz, G. C. (s.d.). CAD Scripting And Visual programming languages for implementing computational design concepts: a comparision from a pedagogical point of view . Internatioanl journal of architectural computing.

Konieva, Kateryna; Joos, Michael Roberto; Herthogs, Pieter; Tunçer, Bige; “Facilitating Communication in a Design Process using a Web Interface for Real-time Interaction with Grasshopper Scripts”, p. 731-738 . In: Proceedings of 37 eCAADe and XXIII SIGraDi Joint Conference, “Architecture in the Age of the 4Th Industrial Revolution”, Porto 2019, Sousa, José (Kalanda, 2020)Pedro; Henriques, Gonçalo Castro; Xavier, João Pedro (eds.). São Paulo: Blucher, 2019. (ProgrammingKnowledge, 2019)ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_567

Soza, Pedro; Swarts, Matthew; Gómez, Paula; Shaw, Jonathan; “On the Process of Building Knowledge to Support the Design of Digital Tools: A Case Study for Future Residential Buildings on Campus”, p. 66-70 . In: Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics: Knowledge-based Design [=Blucher Design Proceedings, v.1, n.7]. São Paulo: Blucher, 2014. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2013-0010

Zamora, Paula G. (2017). Spatiotemporal Occupancy in building settings. Dissertação de Doutoramento para a obtenção de grau de doutor em Arquitetura. Georgia Institute of Technology, Atlanta, Estados Unidos ad América

Miller, N. (s.d.). Proving Ground. Obtido de Our vision: https://provinggground.io/about/

Aghabayli, Aydan (2020). Machine Learning Applied to Building Information Models. Dissertação de Mestrado para a obtenção de grau de mestre em Engenharia. Escola de Engenharia da universidade do minho, Azurém, Guimarães, Portugal,

Graham, S. (2019, Outubro 9). BIM today. Retrieved from What do digital twins mean for the built environment?: https://www.pbctoday.co.uk/news/bim-news/digital-twin-4-0/64519/

MEP, T. (2019, Outubro 23). pbctoday. Retrieved from What are digital twins?: https://www.pbctoday.co.uk/news/construction-technology-news/what-are-digital-twins/62174/

Leete, R. I. (2022, Janeiro 22). Archdaily. Retrieved from What is a Digital Twin?: https://www.archdaily.com/975256/what-is-a-digital-twin#:~:text=The%20concept%20of,the%20project%20result.

Govtech. (2017, Março 28). GovTech. Retrieved from 5 things to know about Virtual Singapore: https://www.tech.gov.sg/media/technews/5-things-to-know-about-virtual-singapore

Mattern, S. (2017, Fevereiro). Places. Retrieved from A City Is Not a Computer: https://placesjournal.org/article/a-city-is-not-a-computer/?gclid=CjwKCAjwjZmTBhB4EiwAynRmD-

Anexos

Anexo 1. Linha de código C++, no software Arduino, para a programação do microcontrolador ESP-32 CAM, assim como a sua introdução na rede;

```
#include “esp_camera.h”
#include <WiFi.h>

//
// WARNING!!! PSRAM IC required for UXGA resolution and high JPEG quality
//            Ensure ESP32 Wrover Module or other board with PSRAM is selected
//            Partial images will be transmitted if image exceeds buffer size
//

// Select camera model
//#define CAMERA_MODEL_WROVER_KIT
//#define CAMERA_MODEL_ESP_EYE
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_PSRAM
//#define CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER

#include “camera_pins.h”

const char* ssid = “NOS-5699”;
const char* password = “EL24VWFC”;

void startCameraServer();

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.setDebugOutput(true);
  Serial.println();

  camera_config_t config;
  config.ledc_channel = LEDC_CHANNEL_0;
  config.ledc_timer = LEDC_TIMER_0;
  config.pin_d0 = Y2_GPIO_NUM;
  config.pin_d1 = Y3_GPIO_NUM;
  config.pin_d2 = Y4_GPIO_NUM;
  config.pin_d3 = Y5_GPIO_NUM;
  config.pin_d4 = Y6_GPIO_NUM;
  config.pin_d5 = Y7_GPIO_NUM;
  config.pin_d6 = Y8_GPIO_NUM;
  config.pin_d7 = Y9_GPIO_NUM;
  config.pin_xclk = XCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_pclk = PCLK_GPIO_NUM;
  config.pin_vsync = VSYNC_GPIO_NUM;
  config.pin_href = HREF_GPIO_NUM;
  config.pin_sscb_sda = SIOD_GPIO_NUM;
```

```
  config.pin_sscb_scl = SIOC_GPIO_NUM;
  config.pin_pwdn = PWDN_GPIO_NUM;
  config.pin_reset = RESET_GPIO_NUM;
  config.xclk_freq_hz = 20000000;
  config.pixel_format = PIXFORMAT_JPEG;

  // if PSRAM IC present, init with UXGA resolution and higher JPEG quality
  //                     for larger pre-allocated frame buffer.
  if(psramFound()){
    config.frame_size = FRAMESIZE_UXGA;// FRAMESIZE_ + QVGA|CIF|VGA|SVGA|XGA|SXGA|UXGA
    config.jpeg_quality = 10;
    config.fb_count = 2;
  } else {
    config.frame_size = FRAMESIZE_SVGA;
    config.jpeg_quality = 12;
    config.fb_count = 1;
  }

#if defined(CAMERA_MODEL_ESP_EYE)
  pinMode(13, INPUT_PULLUP);
  pinMode(14, INPUT_PULLUP);
#endif

  // camera init
  esp_err_t err = esp_camera_init(&config);
  if (err != ESP_OK) {
    Serial.printf("Camera init failed with error 0x%x", err);
    return;
  }

  sensor_t * s = esp_camera_sensor_get();
  // initial sensors are flipped vertically and colors are a bit saturated
  if (s->id.PID == OV3660_PID) {
    s->set_vflip(s, 1); // flip it back
    s->set_brightness(s, 1); // up the brightness just a bit
    s->set_saturation(s, -2); // lower the saturation
  }
  // drop down frame size for higher initial frame rate
  s->set_framesize(s, FRAMESIZE_QVGA);

#if defined(CAMERA_MODEL_M5STACK_WIDE) || defined(CAMERA_MODEL_M5STACK_ESP32CAM)
  s->set_vflip(s, 1);
  s->set_hmirror(s, 1);
#endif

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
```

```
  }
Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");

  startCameraServer();

  Serial.print("Camera Ready! Use 'http://");
  Serial.print(WiFi.localIP());
  Serial.println("' to connect");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  delay(10000);
}
```

Anexo 2. Linha de código em python, no software Visual Studio Code, que permite que o dispositivo ppl-D detetar pessoas e enviar os dados de captação;

```
# import the necessary packages
import numpy as np
import cv2
import time
from datetime import datetime

# initialize the HOG descriptor/person detector
hog = cv2.HOGDescriptor()
hog.setSVMDetector(cv2.HOGDescriptor_getDefaultPeopleDetector())

# open webcam video stream
cap = cv2.VideoCapture("http://192.168.43.160:81/stream")
StartTime = time.time()
while(True):
  # Capture frame-by-frame
  ret, frame = cap.read()

  if ret == True and time.time()-StartTime >= 30:  # tempo de leitura de 1 frame x em x segundos
    date = datetime.today().strftime('%Y_%m_%d_%H_%M_%S')
    StartTime = time.time()

    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_RGB2GRAY)

    boxes, weights = hog.detectMultiScale(gray, winStride=(8, 8))

    boxes = np.array([[x, y, x + w, y + h] for (x, y, w, h) in boxes])
    coordinates = ""

    for (xA, yA, xB, yB) in boxes:
      # display the detected boxes in the colour picture

      X = xA + round((xB - xA) / 2)
      Y = yA + round((yB - yA) / 2)

      coordinates = coordinates + str(X) + "," + str(Y) + "\n"

      cv2.rectangle(frame, (X, Y), (X + 1, Y + 1), (0, 255, 0), 2)
      cv2.rectangle(frame, (xA, yA), (xB, yB), (255, 0, 0), 2)

    if len(boxes) > 0:
      oFile = open("./cameraData/" + date + ".jpg", "wb+")
      oFile.write(cv2.imencode('.jpg', frame)[1].tobytes())
      oFile.close()
```

```
        oFile = open("./peopleData/" + date, "w+")
        oFile.write(str(len(boxes)))
        oFile.close()

        oFile = open("./peopleCoordinates/" + date, "w+")
        oFile.write(coordinates)
        oFile.close()

# When everything done, release the capture
cap.release()
```

Anexo 3. Linha de código em C++, no software Visual Studio Code, para programação do microcontrolador ESP-32, dos dispositivo noise;

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

#include "./functions.h"

WiFiClient espClient;
char W_SSID[] ="NOS-5699_EXT";//"Senseable Campus";//"HUAWEI Mate 20 lite"; //"HUAWEI Mate 20 lite"; //"ResDoChao";     // Nome da rede WIFI
char W_PWD[] = "EL24VWFC";//"03bc8e6dcec0";  //"03bc8e6dcec0";  //"7e613012fbba";//"03bc8e6dcec0"; //"w%w3AeJmXErE7UC"; // Palavra-pass da rede WIFI

PubSubClient MQTT(espClient);
char MQTT_HOST[] = "192.168.1.8";  // IP ou nome do servidor MQTT
uint16_t MQTT_PORT = 9992;          // Porta do servidor MQTT
char MQTT_USER[] = "P7AJ3crg3eurEYCf"; // Utilizador do servidor MQTT
char MQTT_PWD[] = "MqMrXhBdNP8r5egu";  // Palavra-chage do servidor MQTT

char clientID[] = "esp8266"; // Identificação do cliente para o servidor MQTT (pode ser qualquer coisa)
char topic[] = "noise";     // Topico para comunicação dos sensores no servidor (tem de estar de acordo com o servidor)

const int digitalOutput[] = {D5,D6,D8}; // Pinos de output (DCC/Positivo)
const int digitalInput[] = {D0,D1,D3};  // Pinos de input (para receber leitura digital do sensor)
int analog = A0;

const int rotationInterval = 10; // De quantos em quantos segundos muda para o proximo sensor
const int readsPerSecond = 10;  // Quantas leituras faz por segundo

#define disable 0
#define enable 1
unsigned int channel = 1;

char sendMAC[13];

const int wifiMonitorTime = 10000;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  pinSetup();

  for (int i = 0; i < MAXlist; i++)
```

```
  {
   for (int i2 = 0; i2 < 12; i2++)
   {
    lastMACs[i][i2] = 0x00;
   }
  }

  enablesniffer();
}

bool isWIFIConnected()
{
  return WiFi.status() != WL_CONNECTED;
}

void connectWIFI()
{
  if (isWIFIConnected())
  {
   wifi_promiscuous_enable(disable);
   Serial.print("\nConnecting WIFI...");
   WiFi.begin(W_SSID, W_PWD);

   while (isWIFIConnected())
   {
    delay(100);
    Serial.print(".");
   }
  }
}

void connectMQTT()
{
  if (!MQTT.connected())
  {
   Serial.print("\nConnecting MQTT...");
   MQTT.setServer(MQTT_HOST, MQTT_PORT);

   while (!MQTT.connected())
   {
    if (MQTT.connect(clientID, MQTT_USER, MQTT_PWD))
    {
     MQTT.subscribe(topic);
    }
    else
    {
     delay(100);
     Serial.print(".");
    }
   }
```

```
  }
}

void pinSetup()
{
  for (byte i = 0; i < (sizeof(digitalOutput) / sizeof(digitalOutput[0])); i++)
  {
    pinMode(digitalOutput[i], OUTPUT);
    pinMode(digitalInput[i], INPUT);
  }
}

void enablesniffer()
{
  wifi_set_opmode(STATION_MODE); // Promiscuous works only with station mode
  wifi_set_channel(channel);
  wifi_promiscuous_enable(disable);
  wifi_set_promiscuous_rx_cb(promisc_cb); // Set up promiscuous callback
  wifi_promiscuous_enable(enable);
}

void incrementWIFIChannel()
{
  if(channel == 16)
    channel = 1;

  wifi_set_channel(channel);
  channel++;
}

void sendSnifferData()
{
  Serial.println("Sending Sniffer Data...");

  connectWIFI();
  connectMQTT();

  // Sending buffer information to MQTT server
  for (int i = 0; i < MAXlist; i++)
  {
    int noempty = 0;
    for (int i2 = 0; i2 < 12; i2++)
    {
      sendMAC[i2] = lastMACs[i][i2];
      if (lastMACs[i][i2] != 0x00)
      {
        noempty = 1;
      }
    }
    sendMAC[12] = '\0';
```

```
    if (noempty == 1)
    {
      MQTT.publish("sniffer", sendMAC);
      Serial.print("SENDING MAC TO MQTT SERVER: ");
      Serial.println(sendMAC);
      delay(1);
    }

    for (int i2 = 0; i2 < 12; i2++)
      lastMACs[i][i2] = 0x00; // Clean the array (fill with 0's)
  }

  MACindex = 0;
  // Reenable sniffing
  enablesniffer();
}

const int interval = (1000 * rotationInterval);
int intervalProgress = 0;

const int detectionDelay = round(1000 / readsPerSecond);

char noises[((interval / detectionDelay) * (sizeof(digitalOutput) / sizeof(digitalOutput[0])))][40];
int nL = 0;

void sendNoiseData()
{
  Serial.println("Sending Noise Data...");

  connectWIFI();
  connectMQTT();

  Serial.println("Noises - ");

  for (int i = 0; i < nL; i++)
  {
    sprintf(noises[i], "%s-%02d", noises[i], millis());
    MQTT.publish("noise", noises[i]);
    Serial.print(i);
    Serial.print("; ");

    sprintf(noises[i], "");
    delay(1);
  }

  Serial.println("");
  nL = 0;
}

void loop()
```

```
{
  // Detect noise and wifi devices
  for (byte i = 0; i < (sizeof(digitalOutput) / sizeof(digitalOutput[0])); i++)
  {
    intervalProgress = 0;

    while (intervalProgress < interval)
    {
      incrementWIFIChannel(); // Change wifi detection channel
      digitalWrite(digitalOutput[i], HIGH);

      sprintf(noises[nL], "%02d-%02d-%02d-%02d", i, millis(), analogRead(analog), digitalRead(digitalInput[i]));
      nL++;

      intervalProgress += detectionDelay;
      delay(detectionDelay);
    }

    digitalWrite(digitalOutput[i], LOW);
  }

  sendNoiseData();
  sendSnifferData();
}
```

Anexo 4. Linha de código em python, no software Visual Studio Code, para a criação de um server MQTT;

```
import paho.mqtt.client as mqtt
import sys
from datetime import datetime

host = “localhost”
port = 1883
user = “P7AJ3crg3eurEYCf”
pwd = “MqMrXhBdNP8r5egu”

topic = “noise”


def on_connect(client, userdata, flags, rc):
   client.subscribe(topic)


#def on_message(client, userdata, msg):
#    print(msg.topic + “ - “ + msg.payload.decode(‘utf-8’))

lines = {}
lastValues=[]
baseValues=[]
lastDate = None

def on_message(client, userdata, msg):
   global lines
   date = datetime.today().strftime(‘%Y_%m_%d_%H_%M’)

   if msg.topic == “noise”:
      #print (msg.payload)
      values = msg.payload.decode(“utf-8”).split(“-”)
      value = int(values[2])

      if values[3]==0 and not(values[0] in baseValues):
         baseValues[values[0]] = value

      if values[0] in baseValues:
         value = value - baseValues[values[0]]

      if value < 0:
         value=value*-1

      if not(date in lines):
         lines[date] = {“all”: []}
```

```
        if not(values[0] in lines[date]):
            lines[date][values[0]] = []

        try:
            oFile = open("./noiseData/" + values[0] + "_" + date, "w+")
            index = len(lines[date][values[0]])
            lines[date][values[0]].append(str(value))
            oFile.write("\n".join(lines[date][values[0]]))
            oFile.close()


            oFile = open("./noiseData/all_" + date, "w+")
            index = len(lines[date]["all"])
            lines[date]["all"].append(str(value))
            oFile.write("\n".join(lines[date]["all"]))
            oFile.close()

            if lastDate != date and lastDate != None:
                del lines[lastDate]

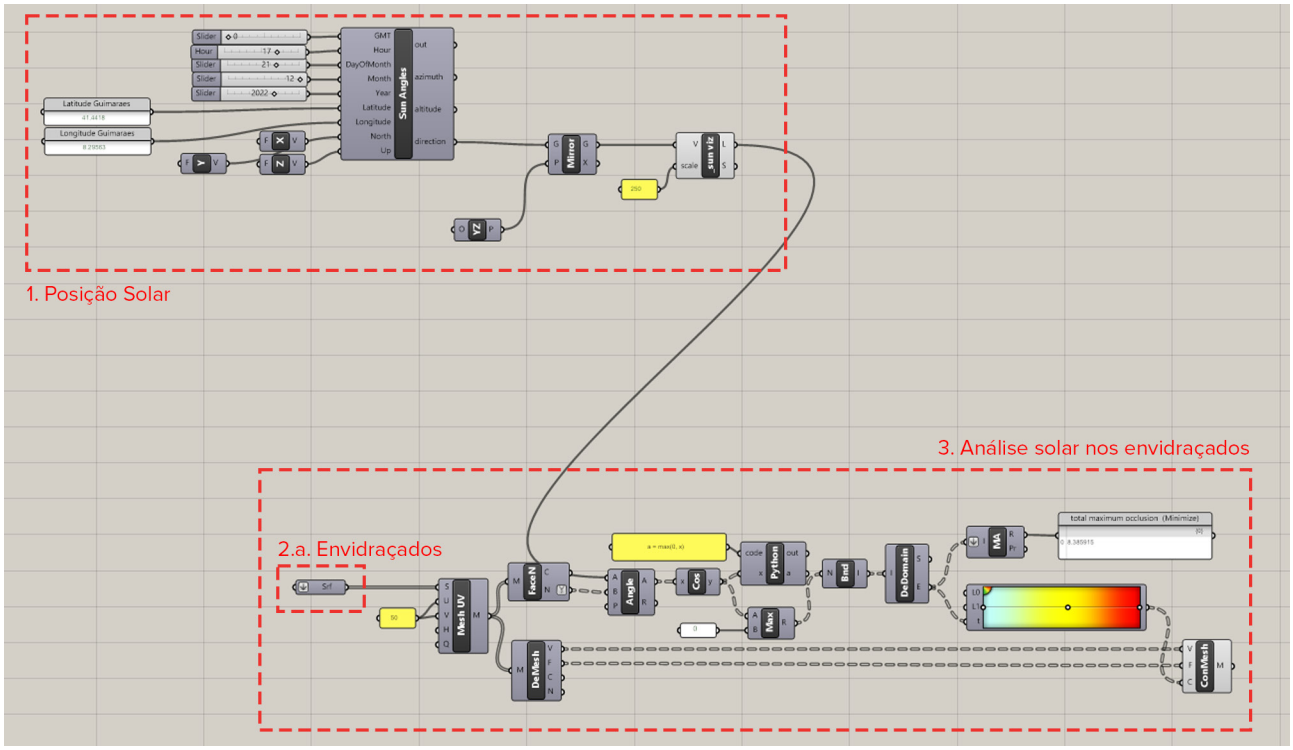
            lastDate = date
        except:
            print("Oops!", sys.exc_info(), "occurred.")

client = mqtt.Client()
client.on_connect = on_connect
client.on_message = on_message

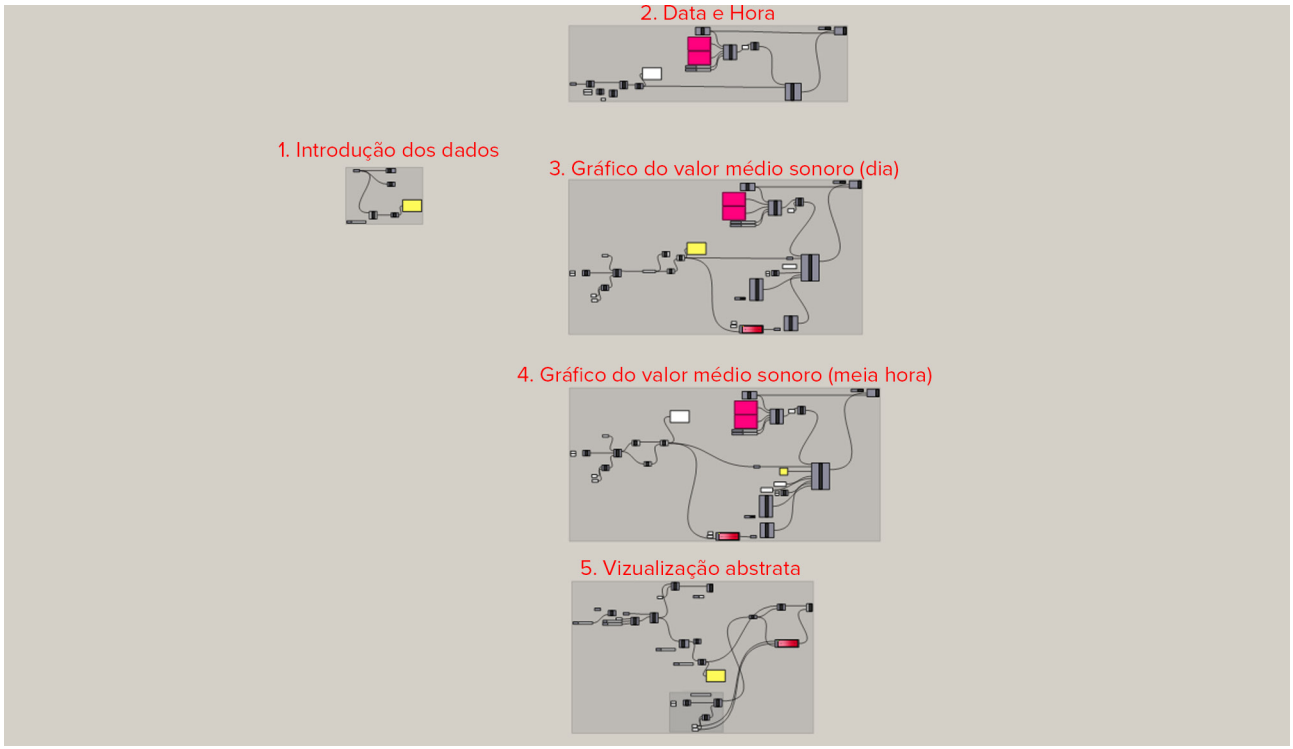
client.username_pw_set(username=user, password=pwd)
client.connect(host, port, 60)

client.loop_forever()
```

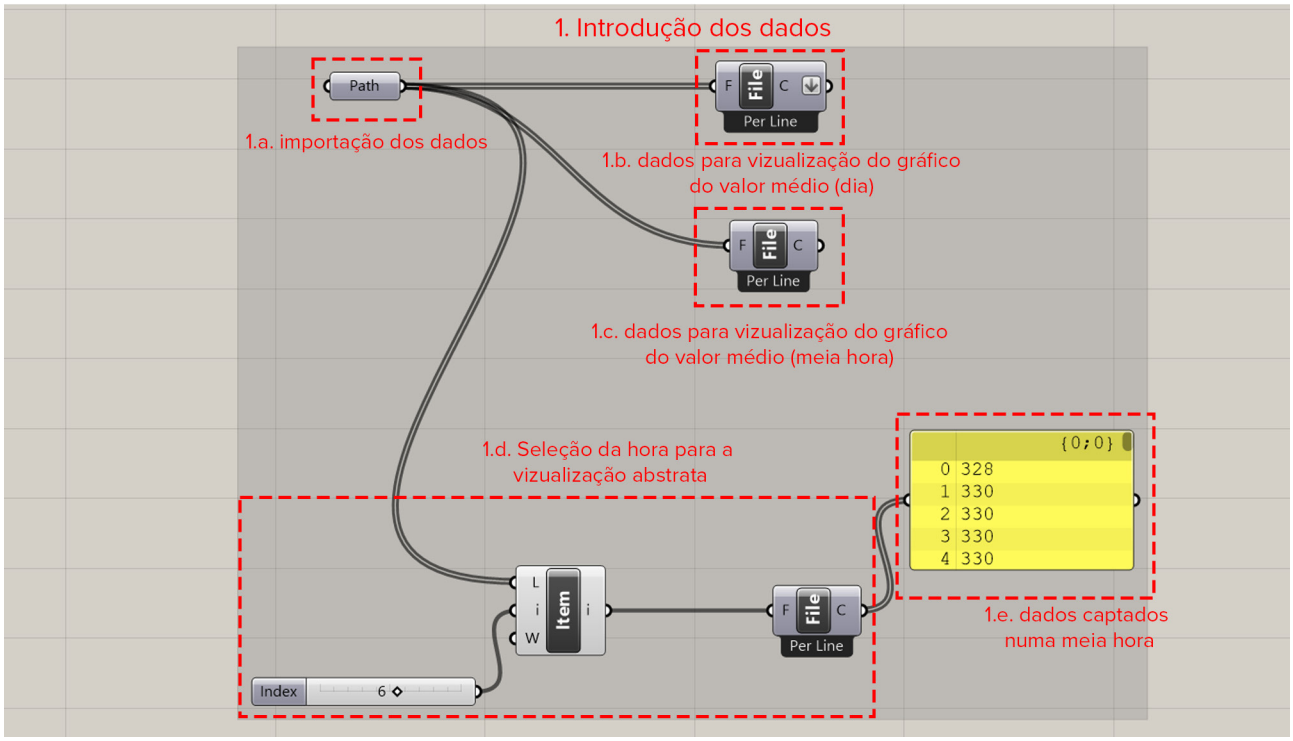
Anexo 5. diagrama Grasshopper para a vizualização da análise solar no modelo virtual;



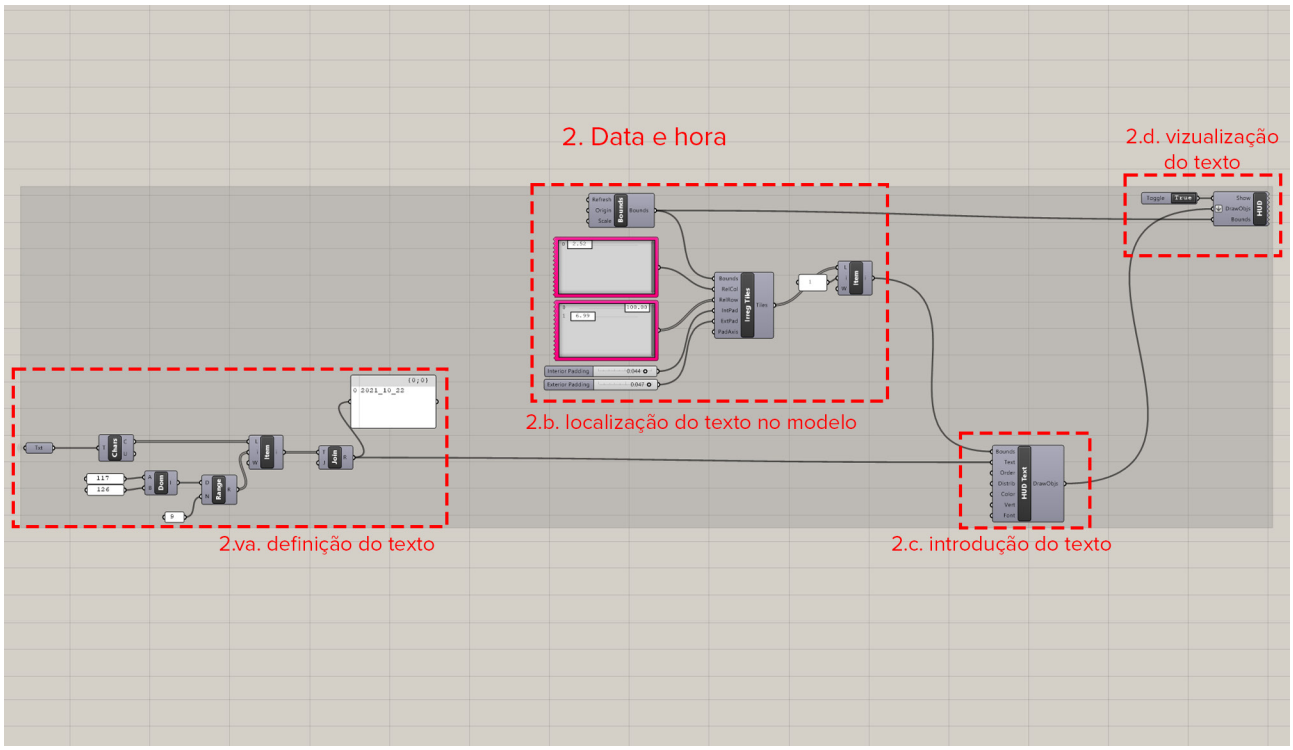
Anexo 6. diagrama Grasshopper para a vizualização dos dados do dispositivo Noise;



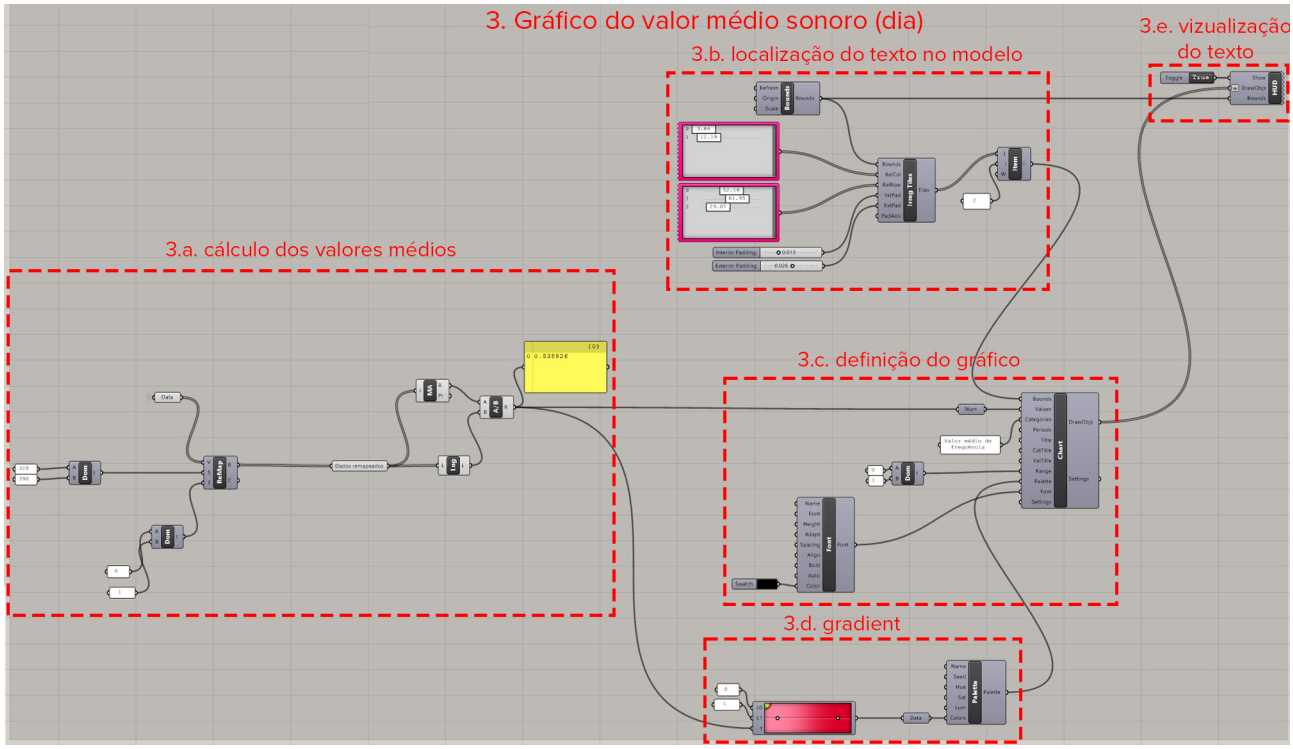
Anexo 6.1. 1º diagrama Grasshopper para a vizualização dos dados do dispositivo Noise, (Introdução de dados)



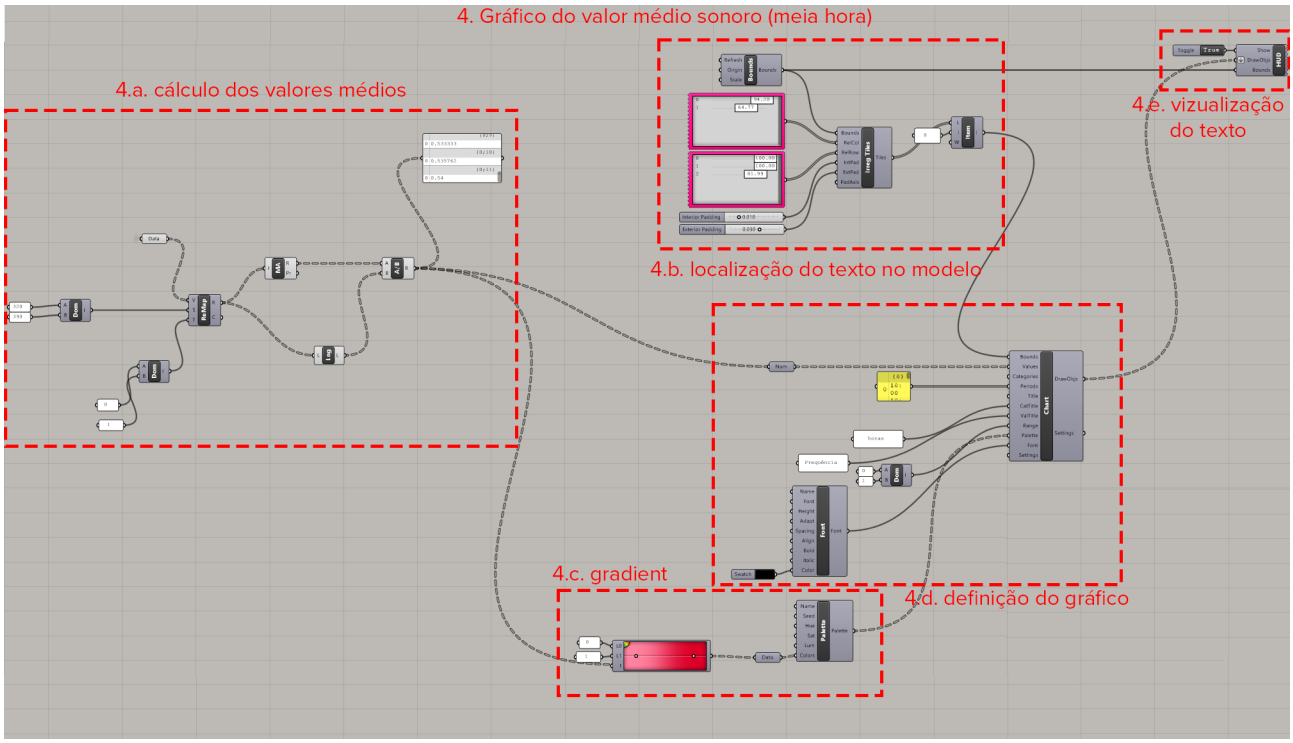
Anexo 6.2. 2º diagrama Grasshopper para a vizualização da data e da hora,



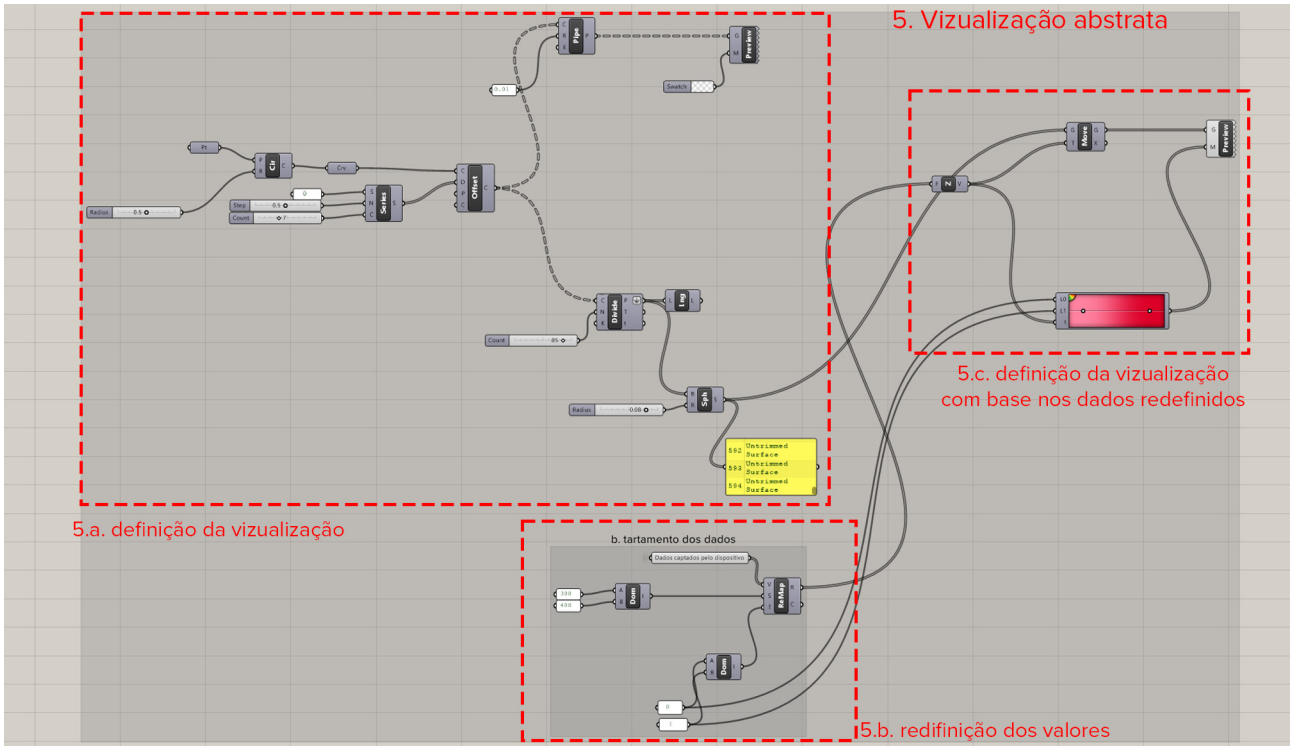
Anexo 6.3. 3º diagrama Grasshopper para a vizualização dos dados do dispositivo Noise, (gráfico do valor médio sonoro(dia))



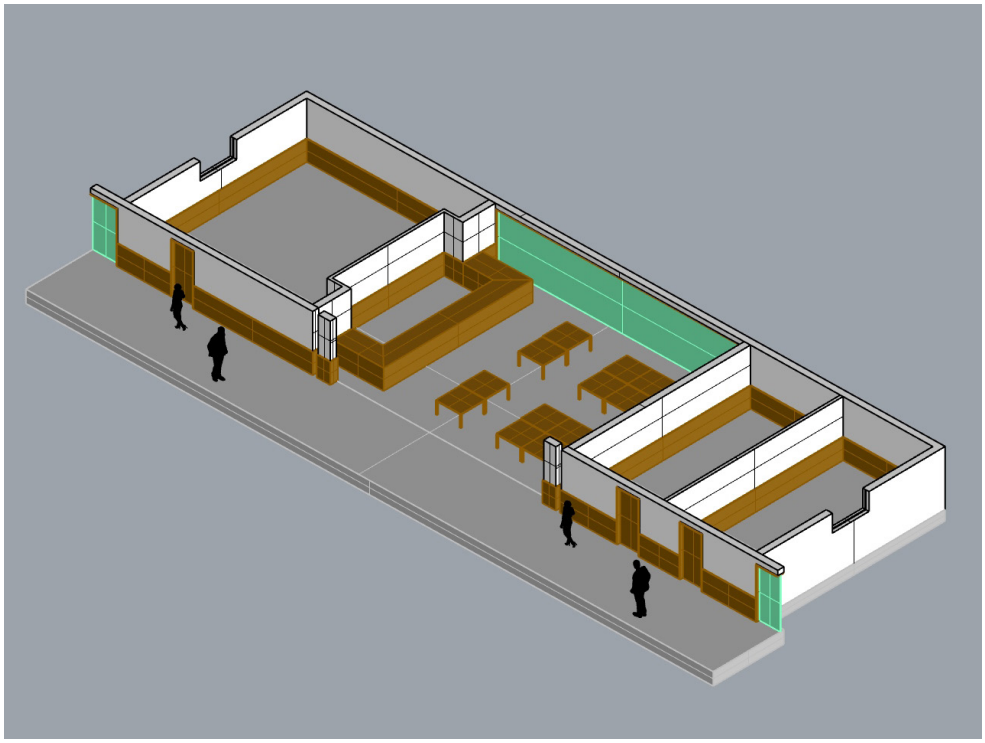
Anexo 6.4. 4º diagrama Grasshopper para a vizualização dos dados do dispositivo Noise, (gráfico do valor médio sonoro(dia))



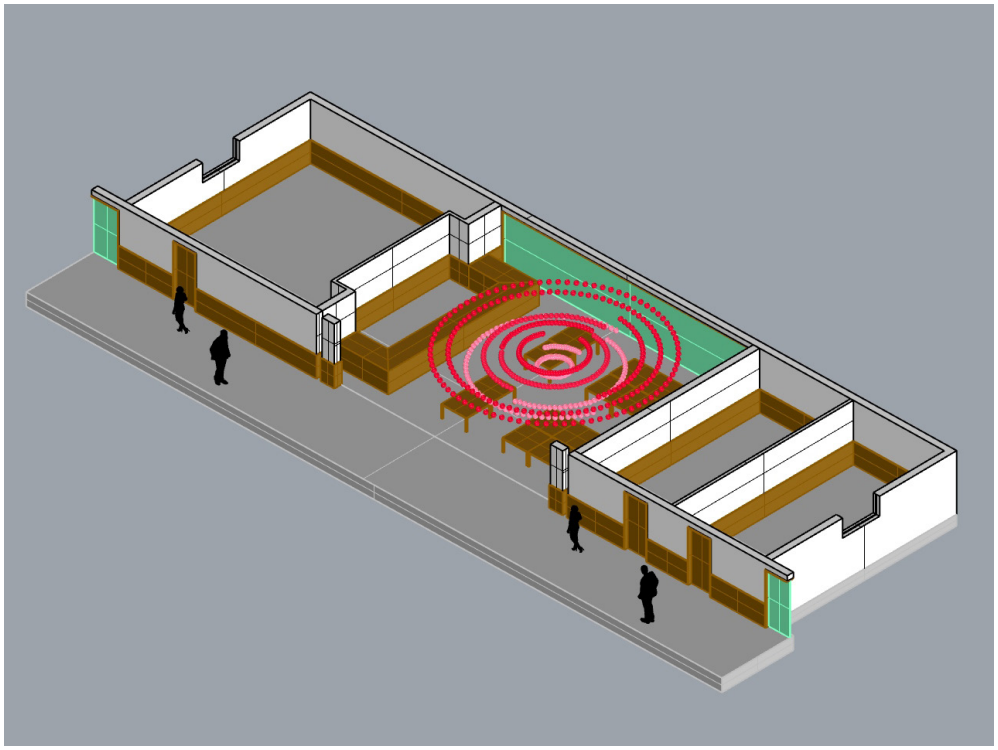
Anexo 6.5. 5º diagrama Grasshopper para a vizualização abstrata dos dados do dispositivo Noise;



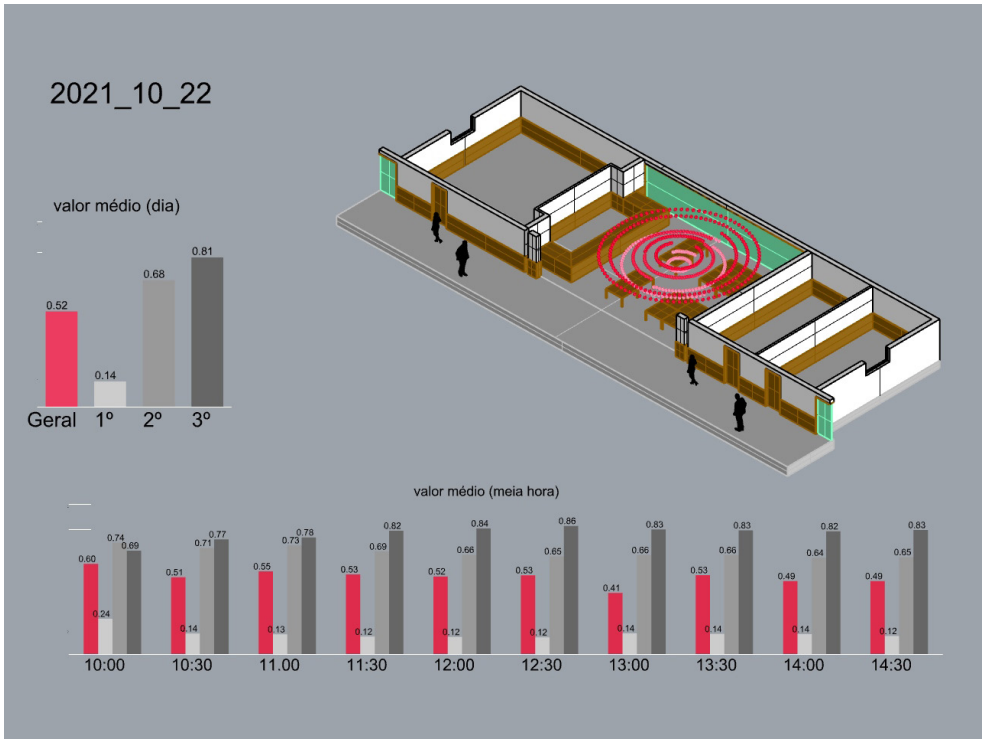
Anexo 6.6. Modelo virtual do bar da EAAD;



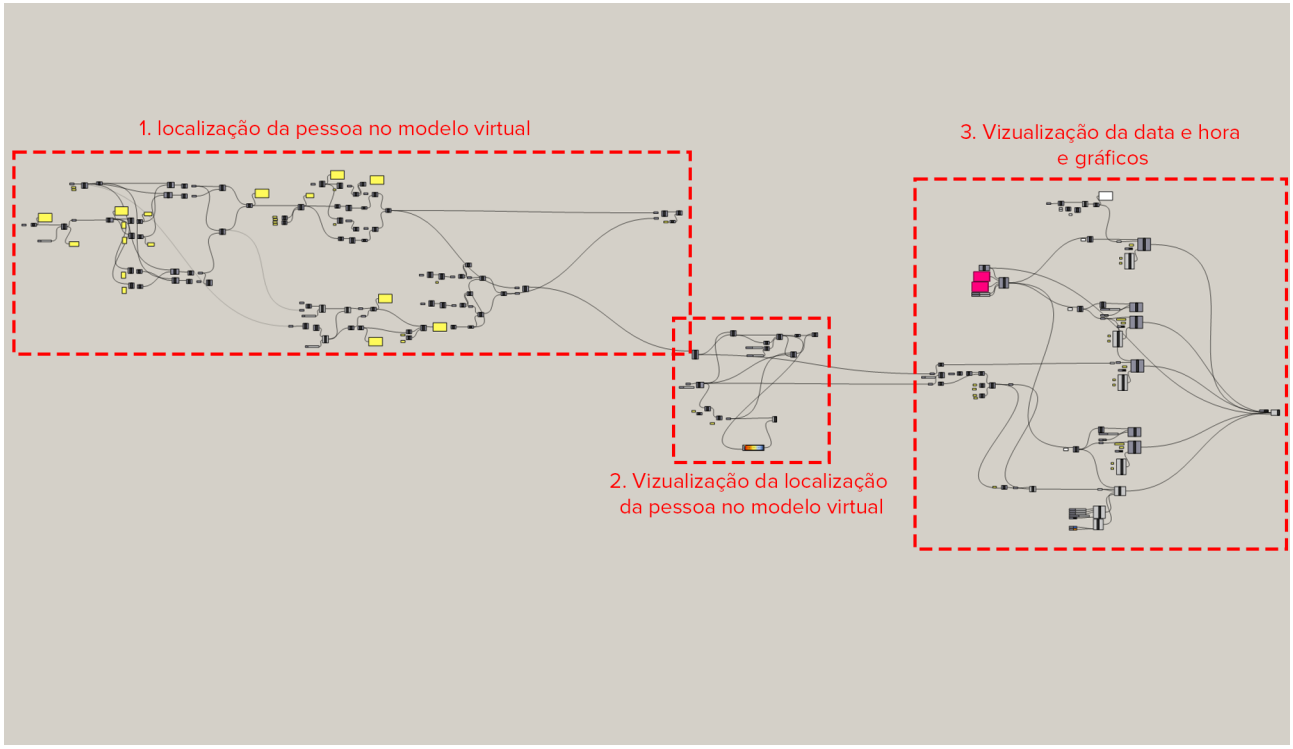
Anexo 6.7 Vizualização abstrata no modelo virtual;



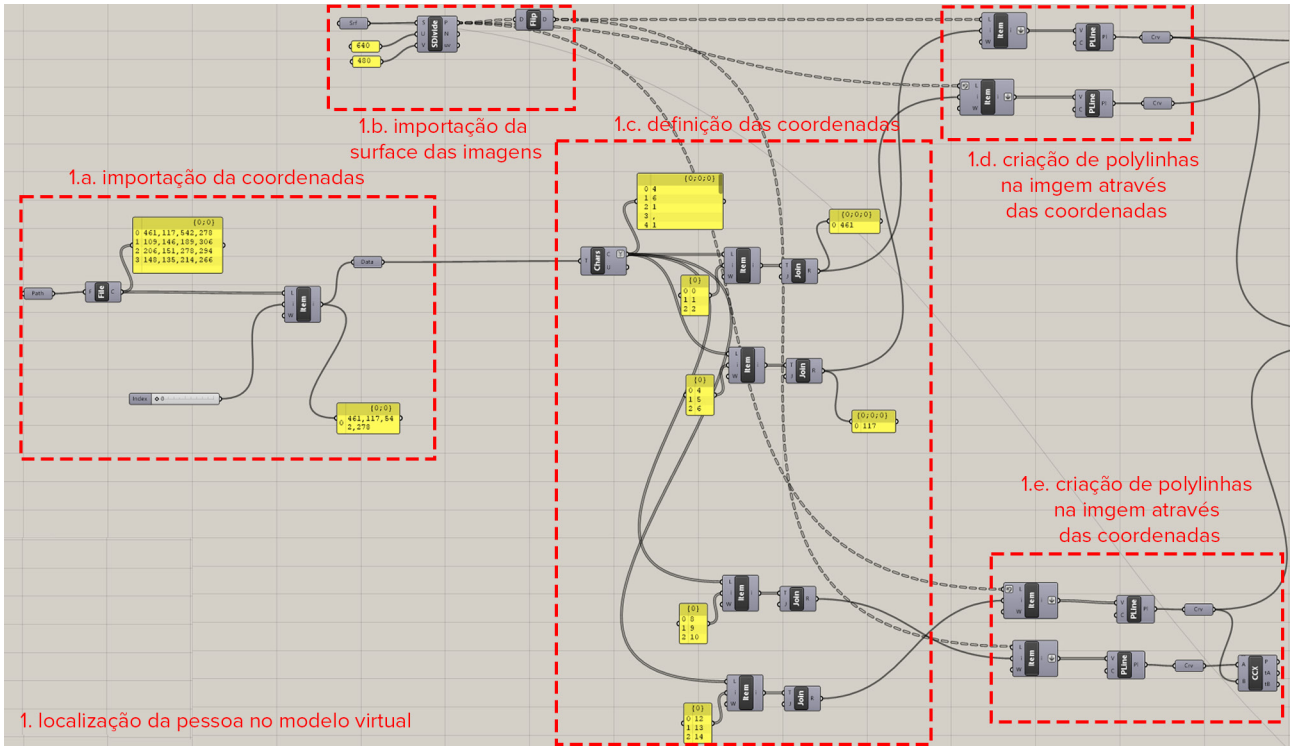
Anexo 6.8. Vizualização abstrata e dos gráficos no modelo virtual;



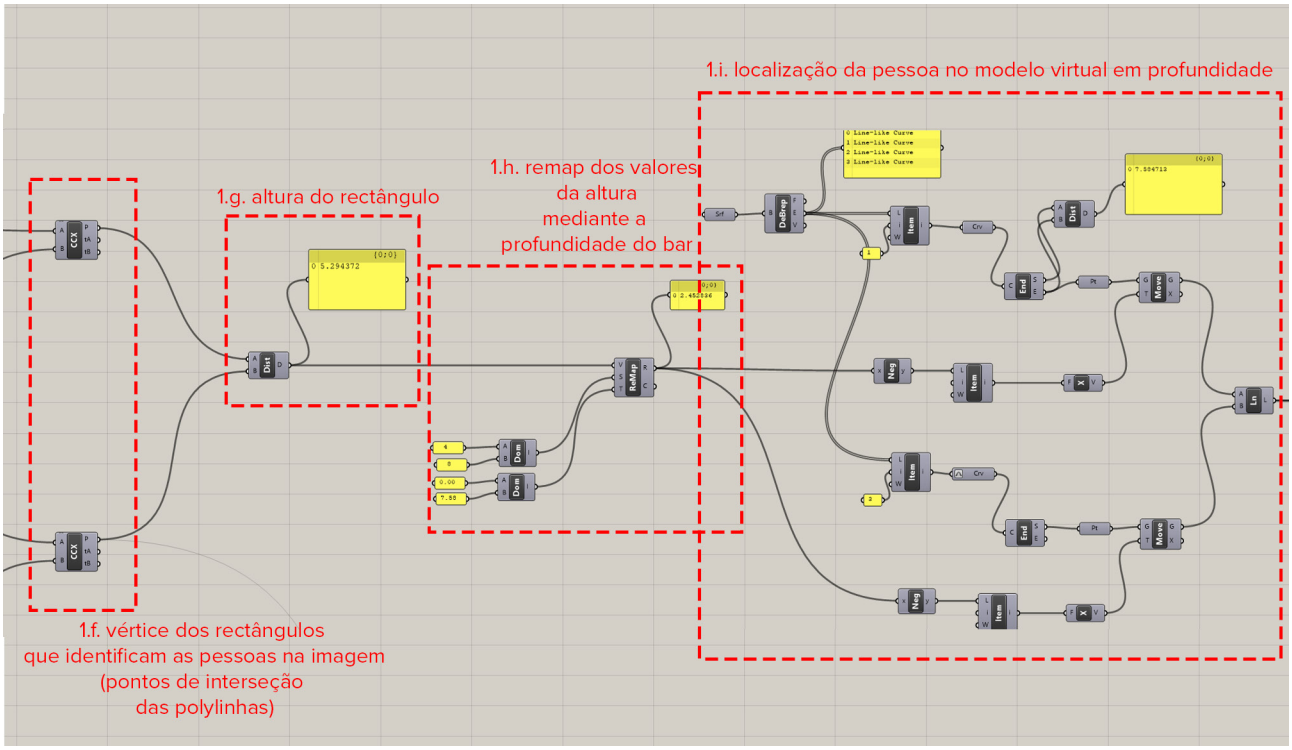
Anexo 7. diagrama Grasshopper para a vizualização dos dados do dispositivo ppl-D;



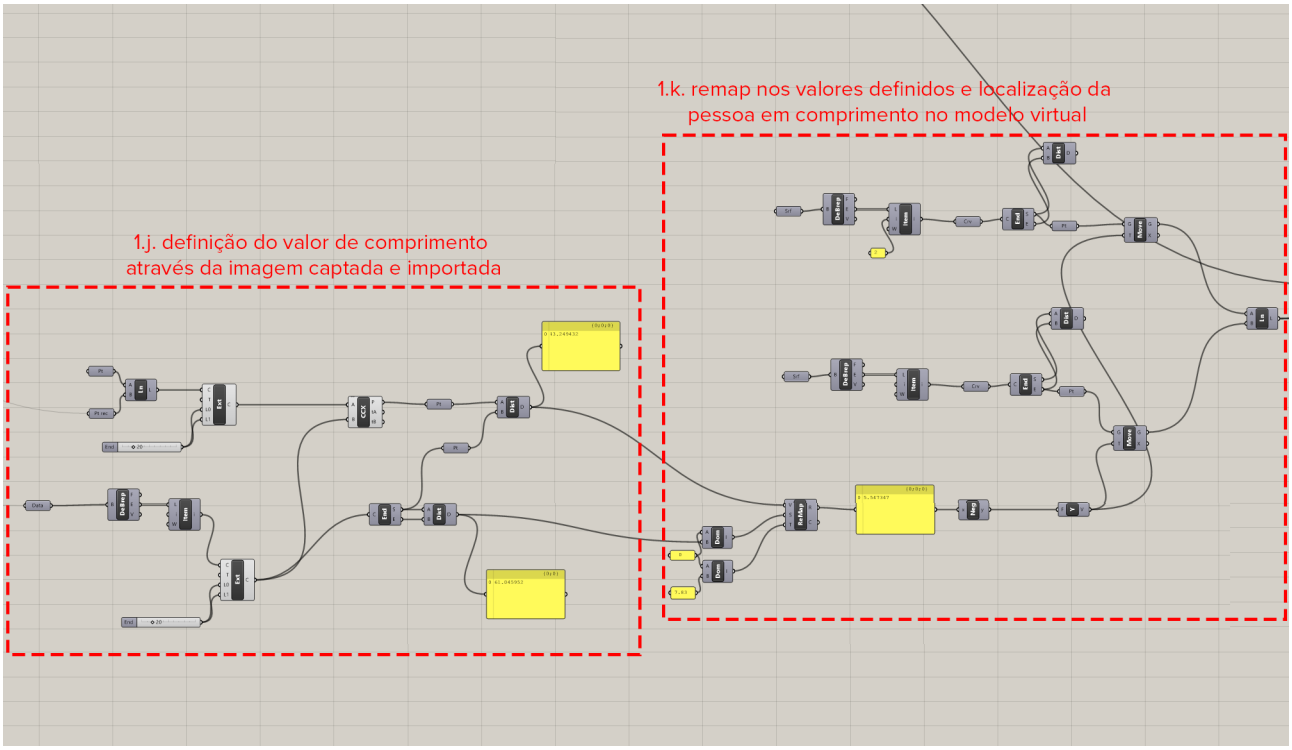
Anexo 7.1. 1º fase introdução dos dados;



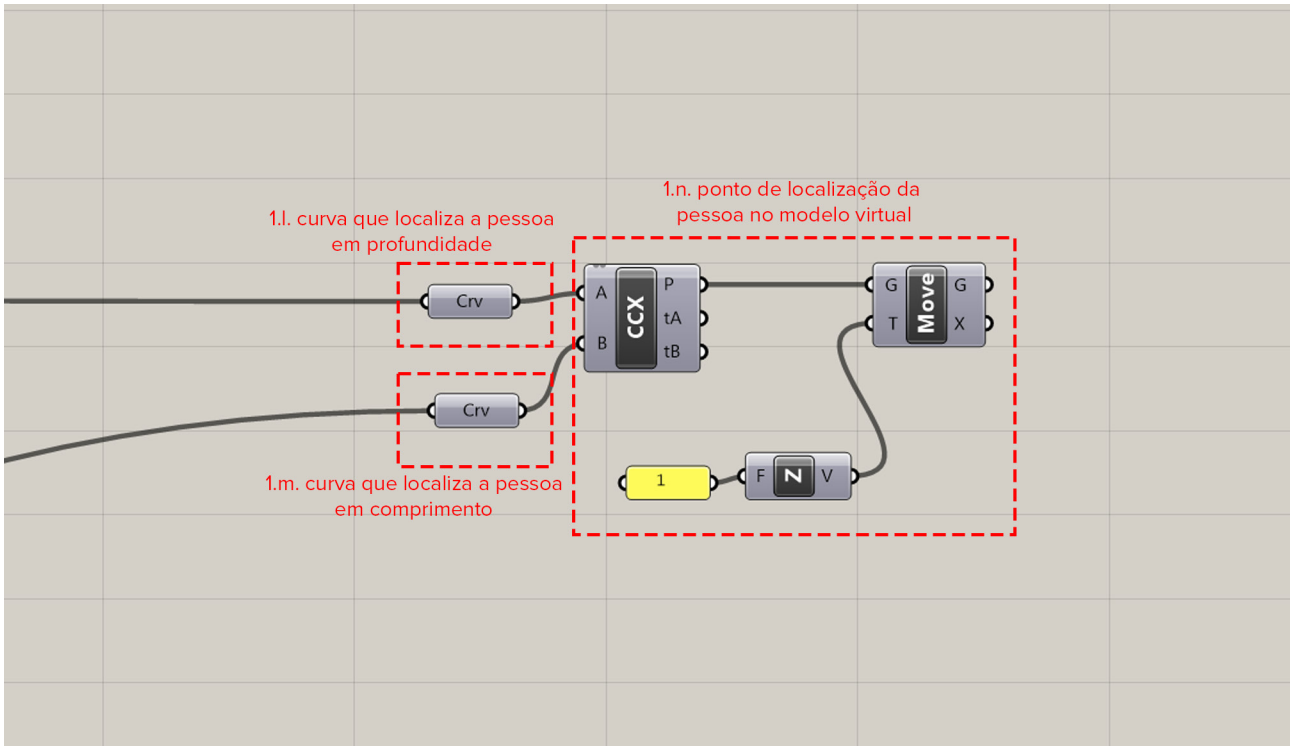
Anexo 7.2. 1º fase: localização no modelo virtual profundidade;



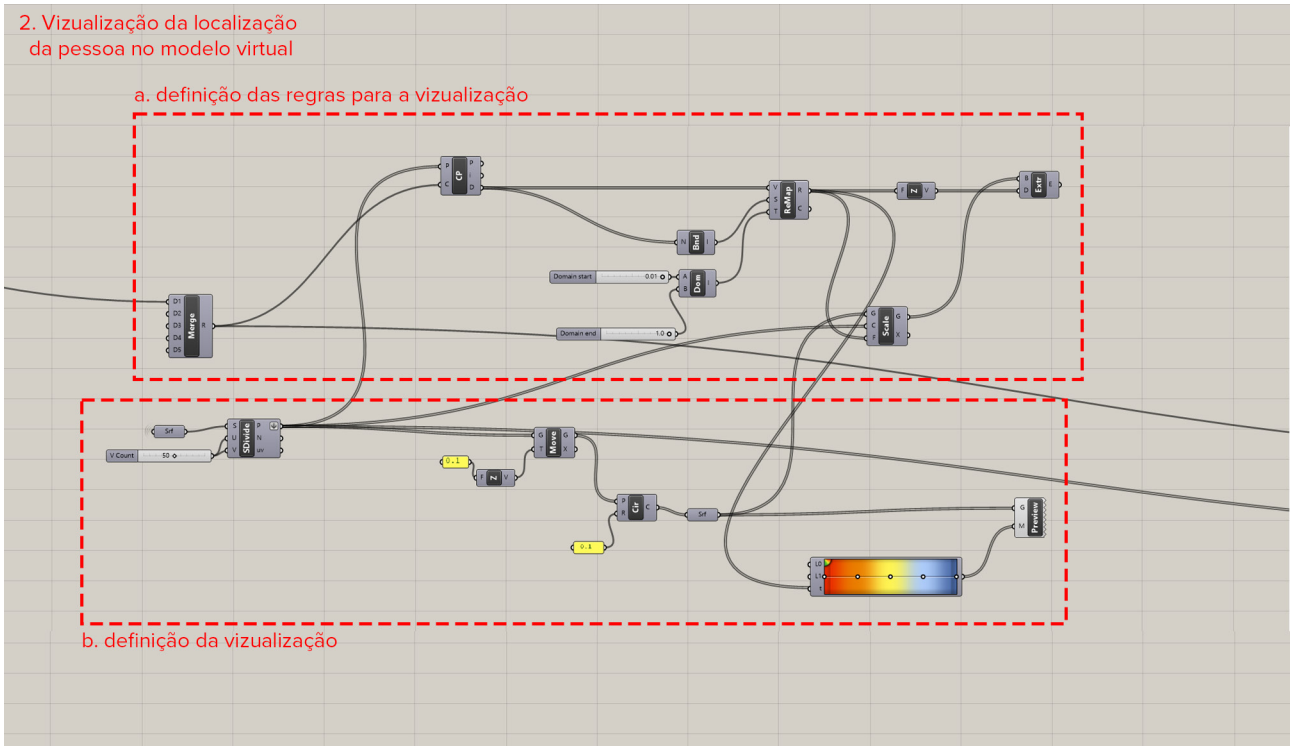
Anexo 7.3. 2º fase: localização no modelo virtual comprimento;



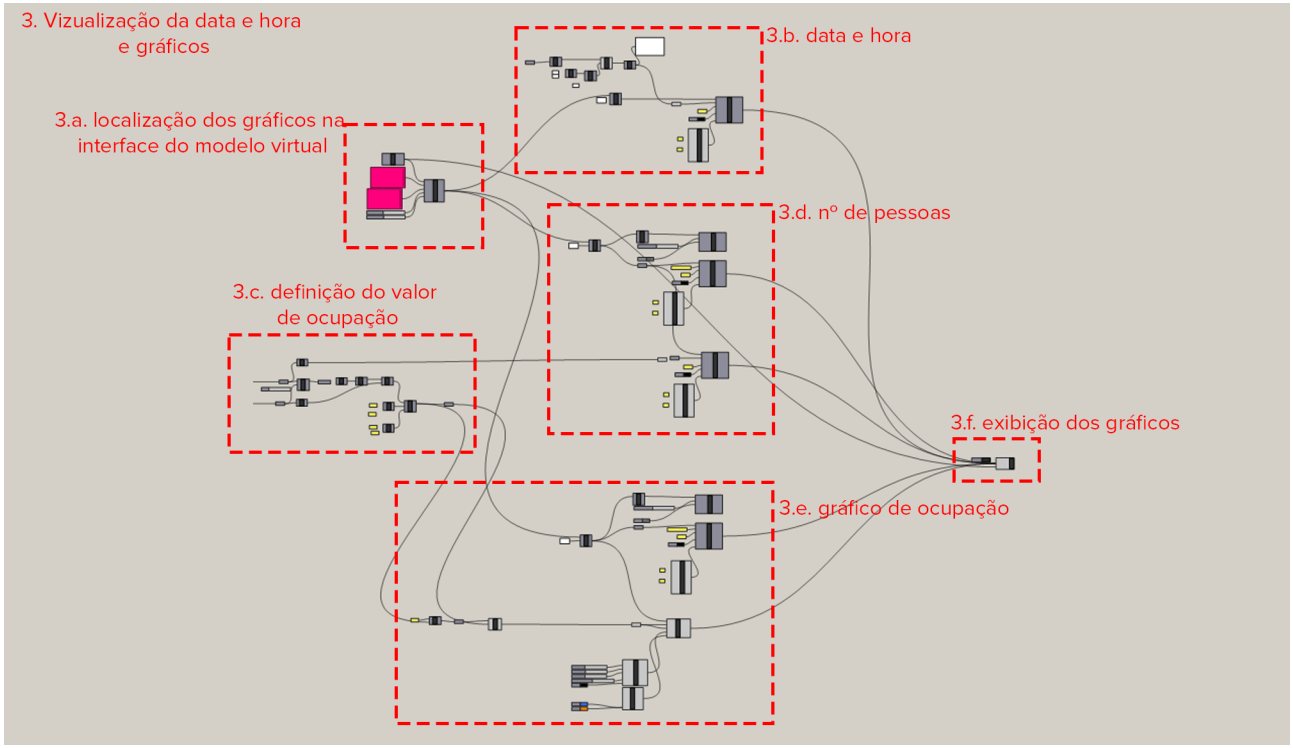
Anexo 7.4. 1º fase: ponto de localização da pessoa no modelo virtual;



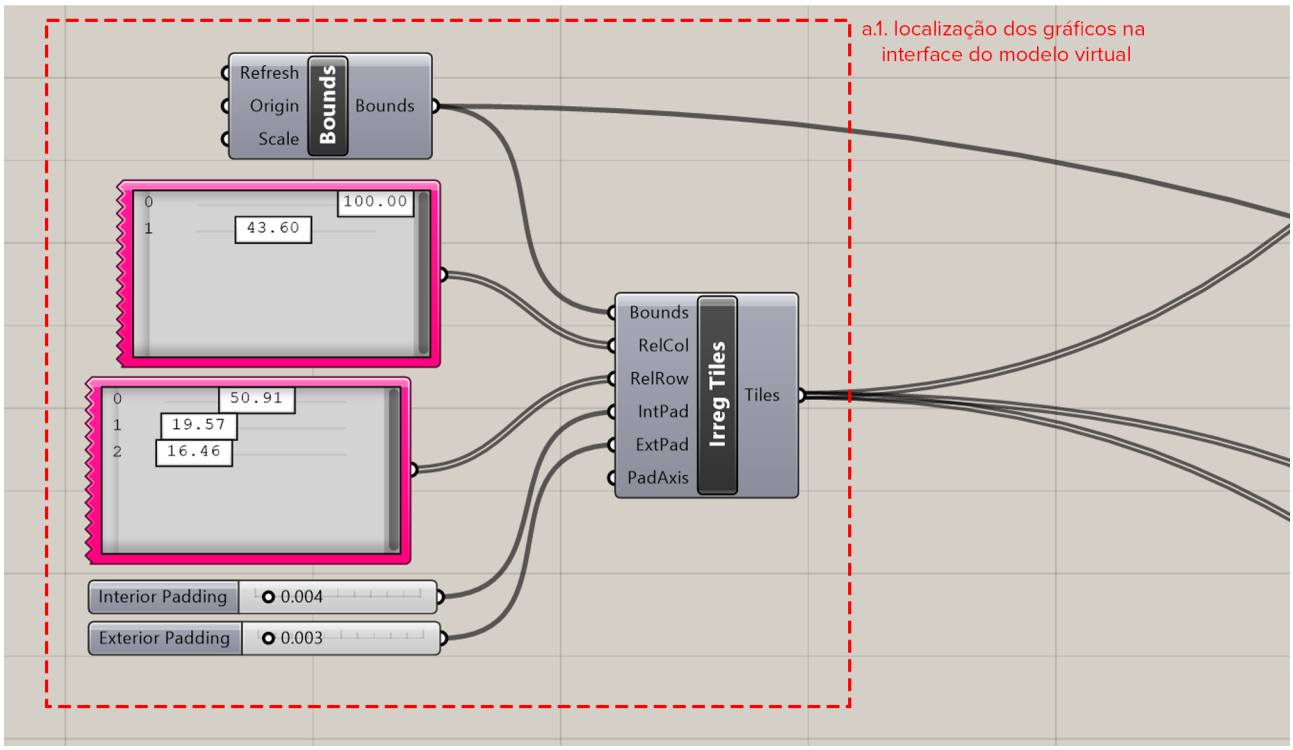
Anexo 7.5. 2º fase: definição da metodologia *attractors;*



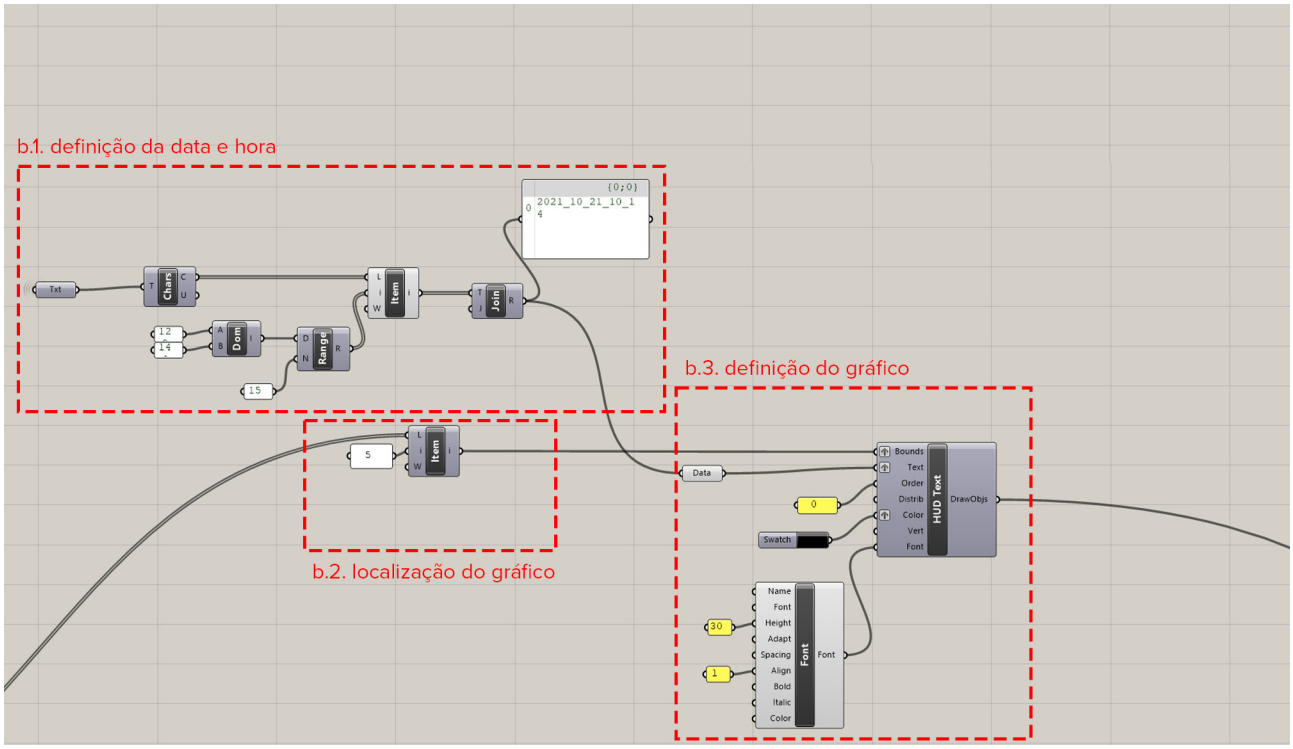
Anexo 7.6. 3º fase: definição dos gráficos;



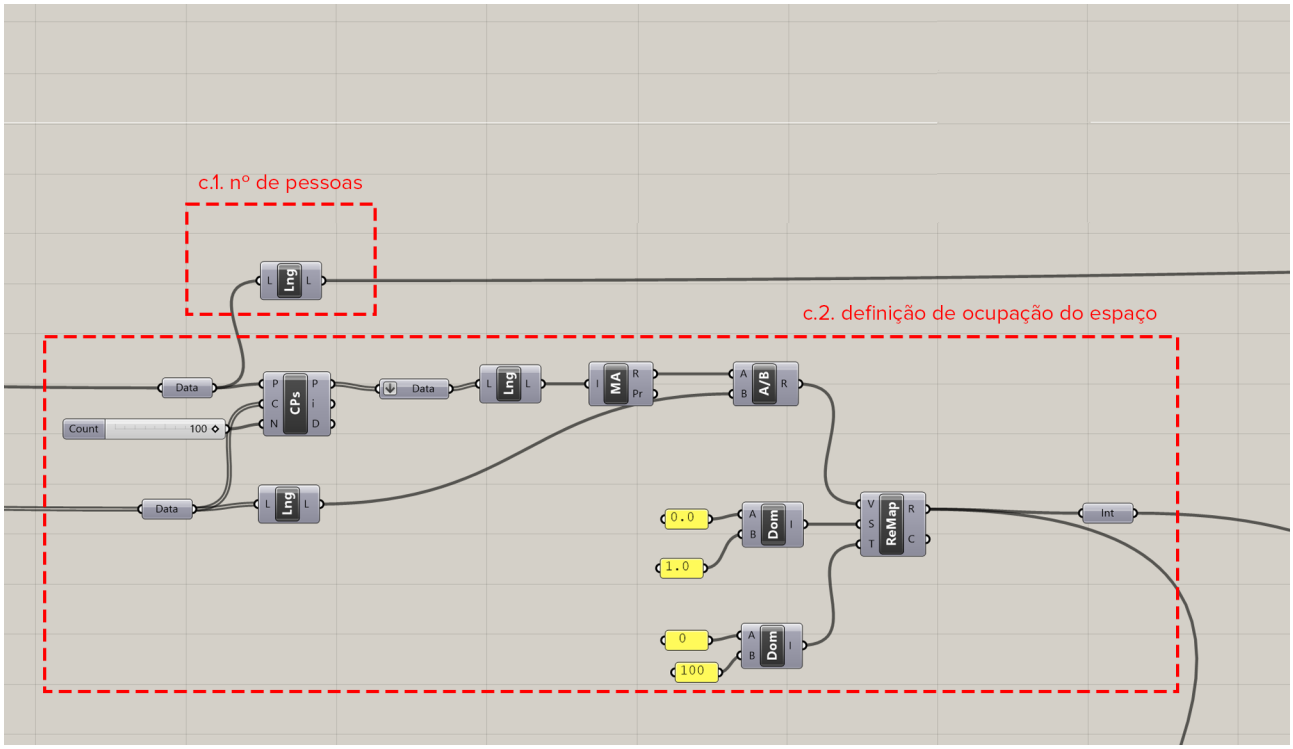
Anexo 7.6.1. 3º fase: localização dos gráficos na interface do modelo virtual;



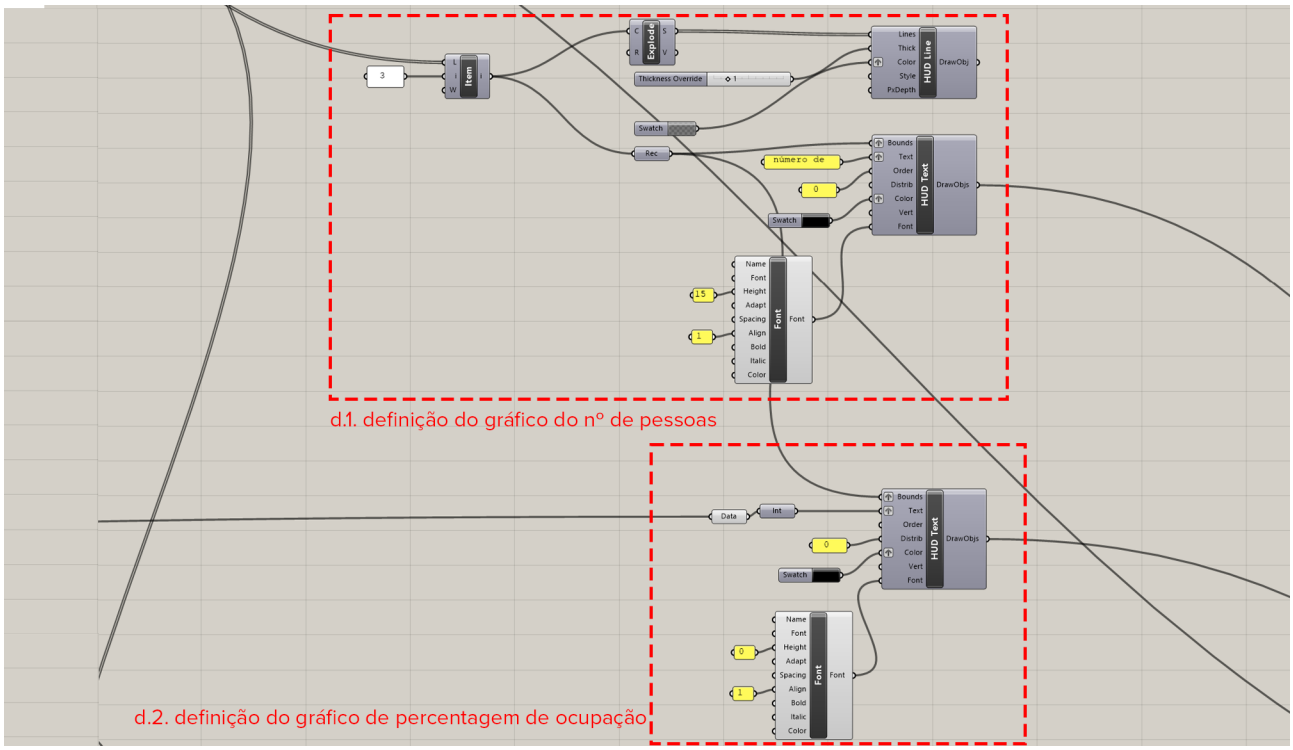
Anexo 7.6.2. 3º fase: data e hora;



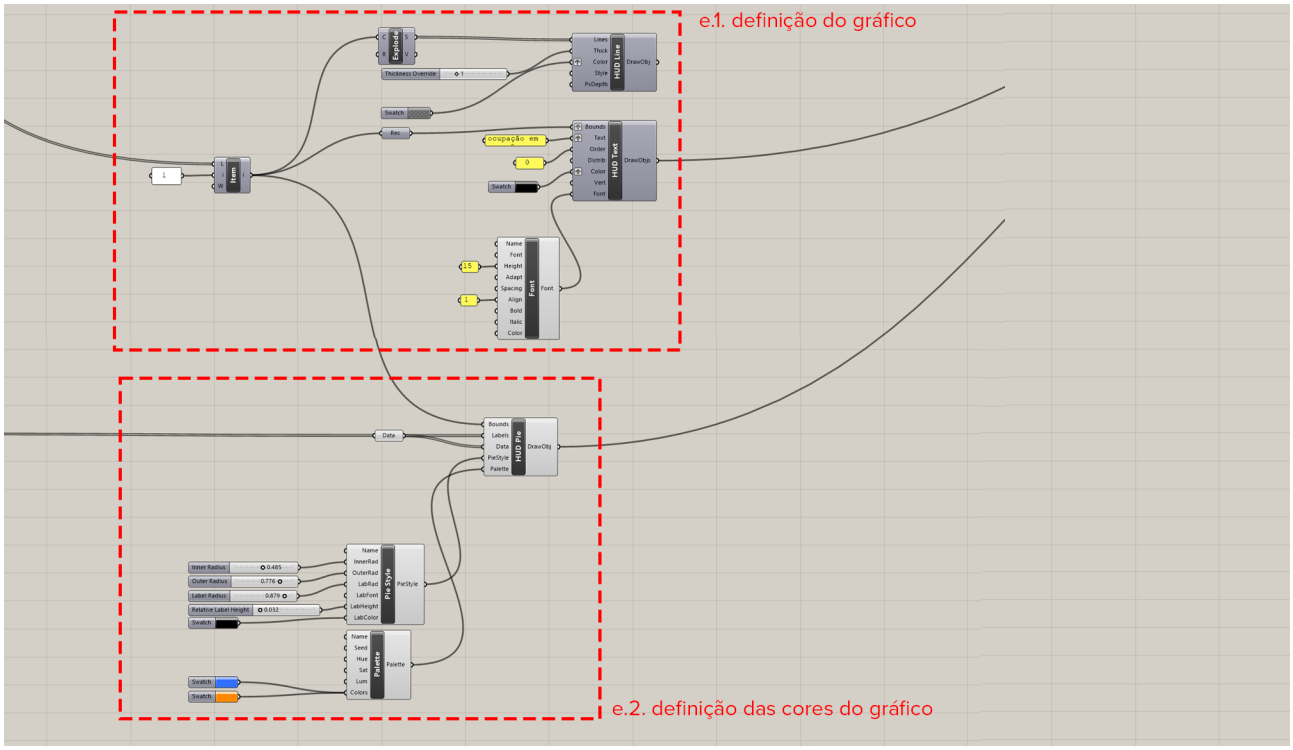
Anexo 7.6.3. 3º fase: definição do nº de pessoas e definição de ocupação dos espaços;



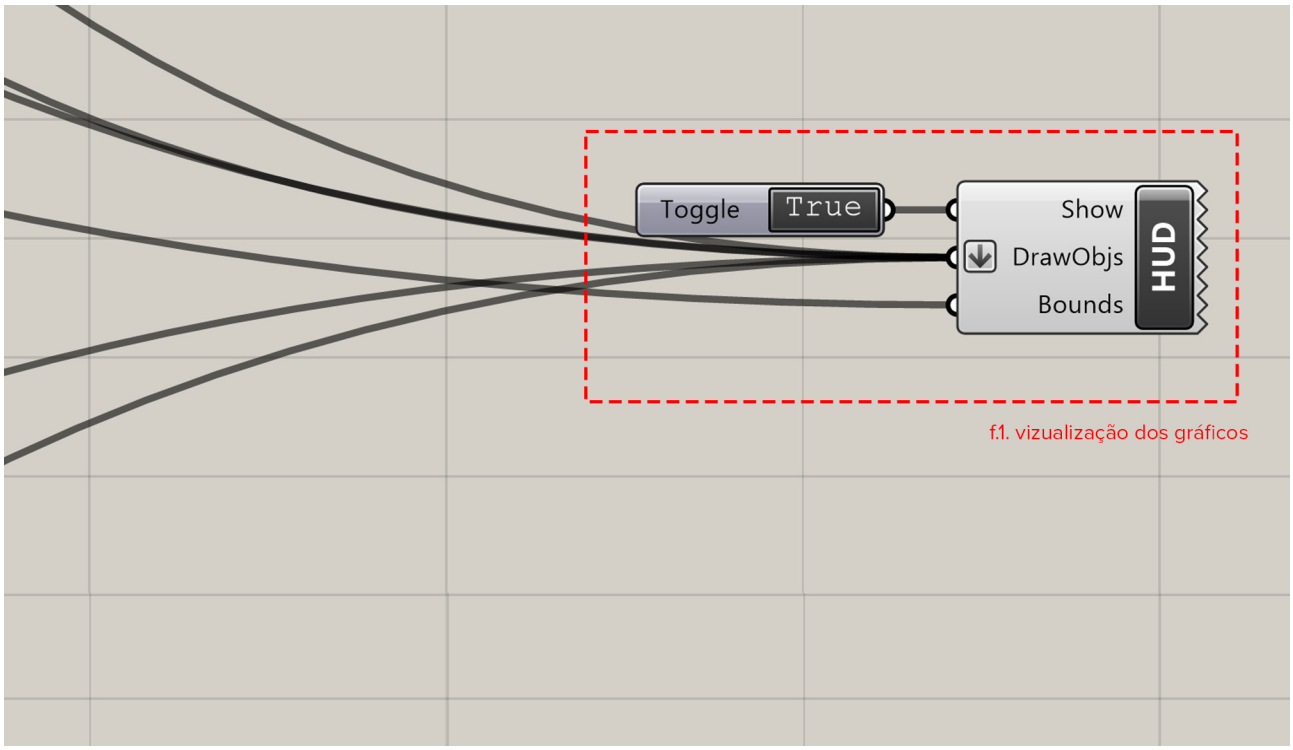
Anexo 7.6.4. 3º fase: gráfico do nº de pessoas;



Anexo 7.6.5. 3º fase: gráfico da percentagem de ocupação do espaço;

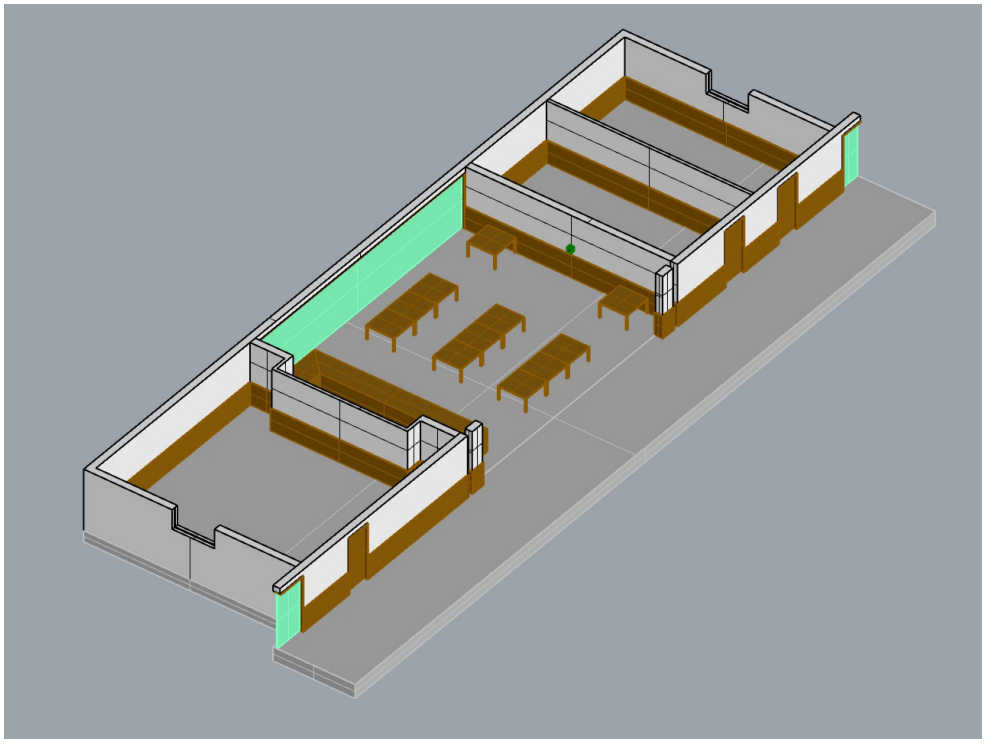


Anexo 7.6.6. 3º fase: vizualização dos gráficos;

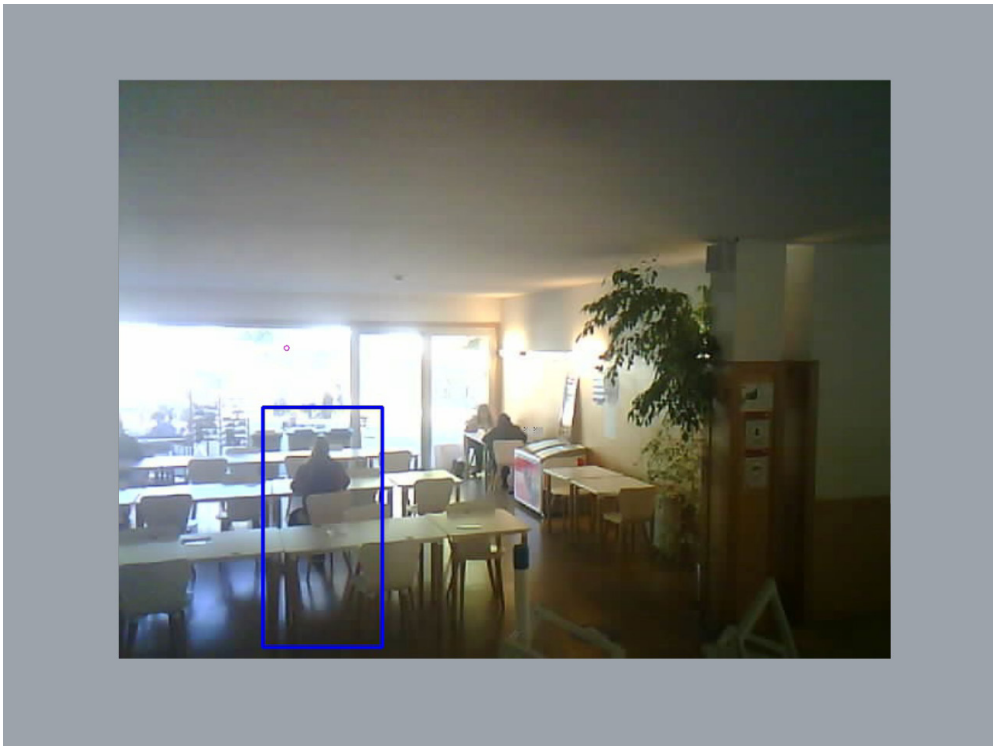


f.1. vizualização dos gráficos

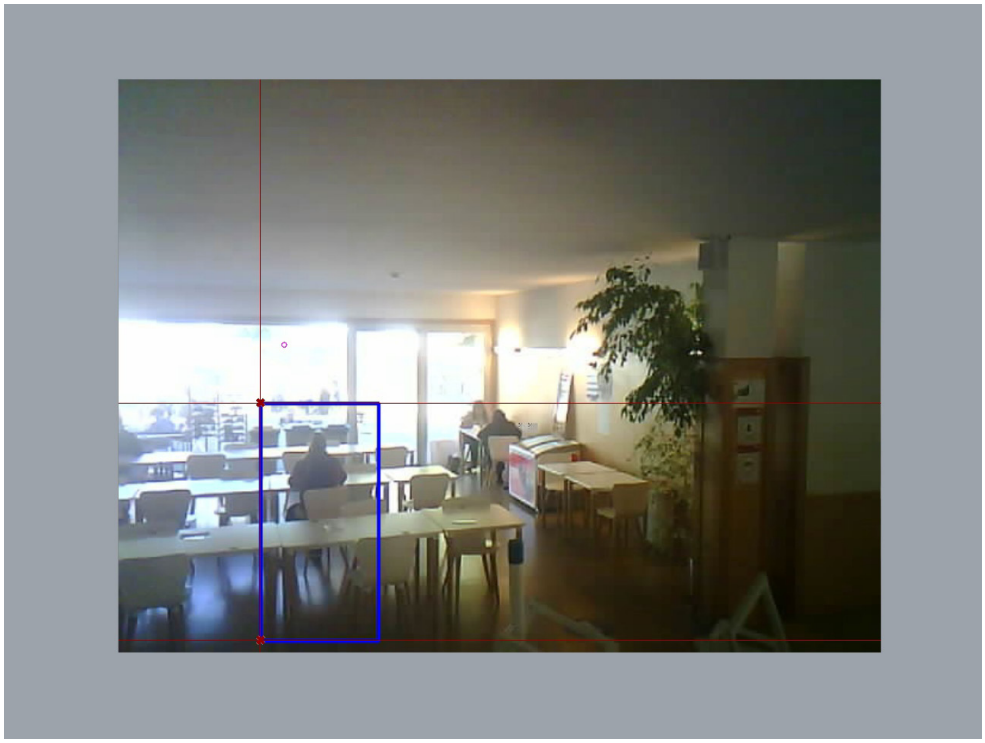
Anexo 7.7. Modelo virtual;



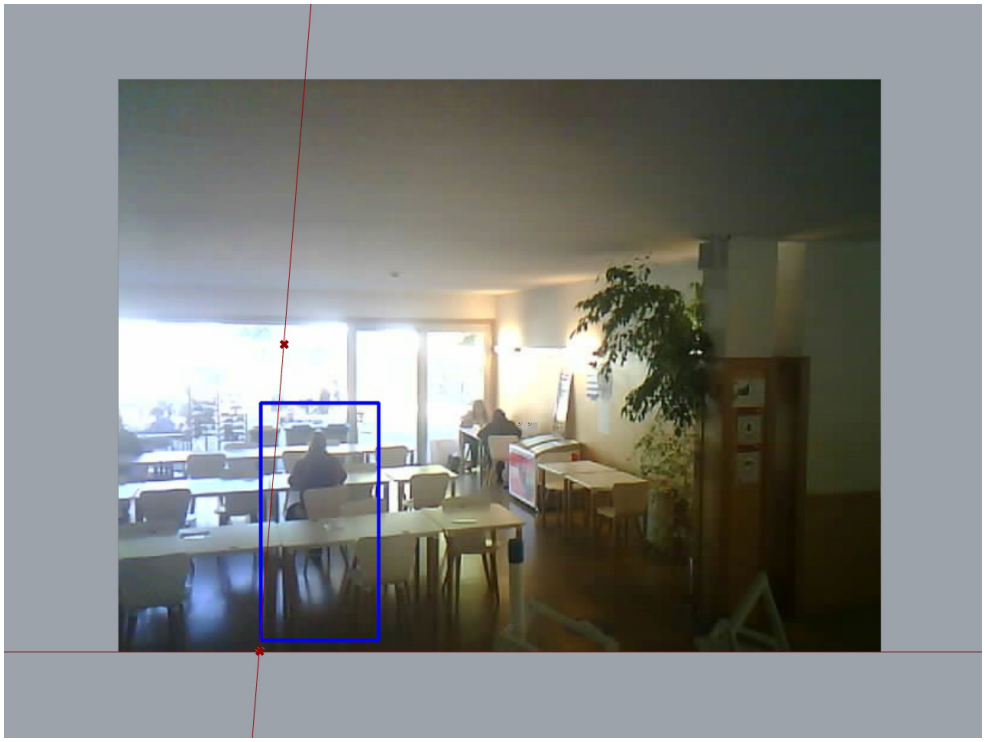
Anexo 7.8. imagem em análise;



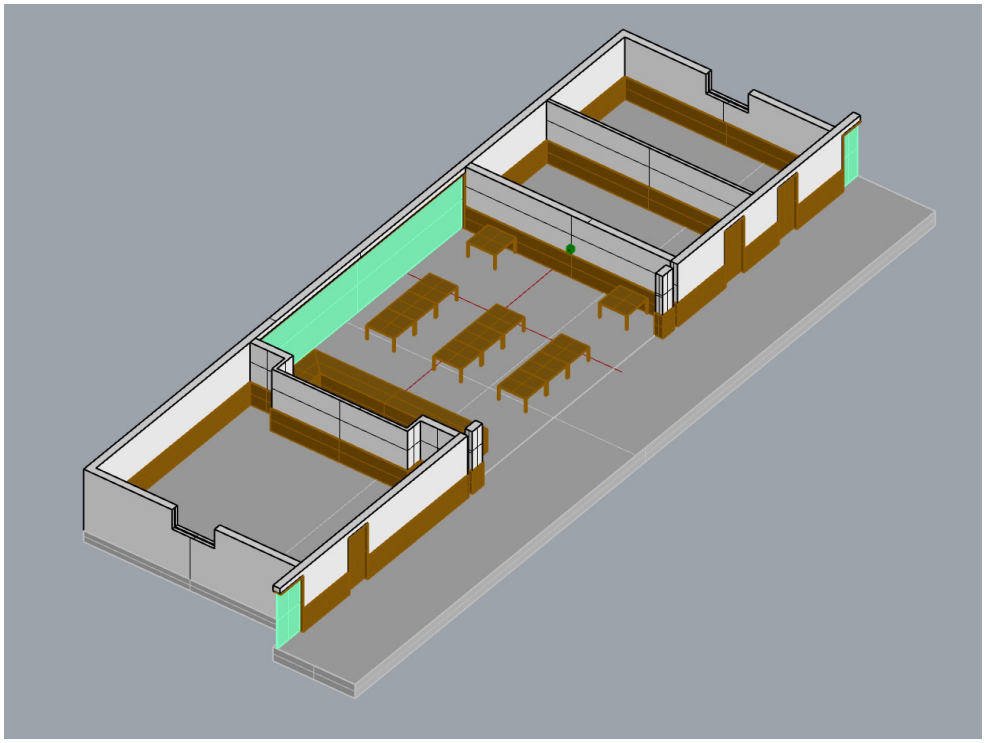
Anexo 7.9. Localização dos vêrtices do retângulo que identifica a pessoa na imagem, através da coordenadas fornecidas pelo dispositivo *ppl-D;*



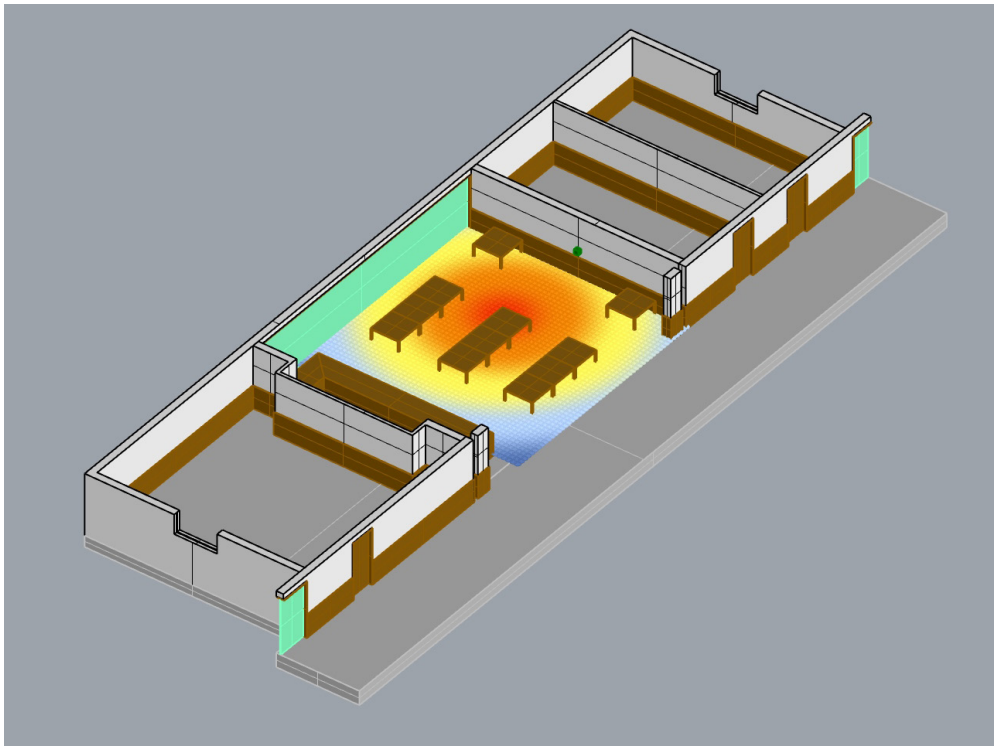
Anexo 7.10. Obtenção da Coordenadas do ponto X através da imagem;



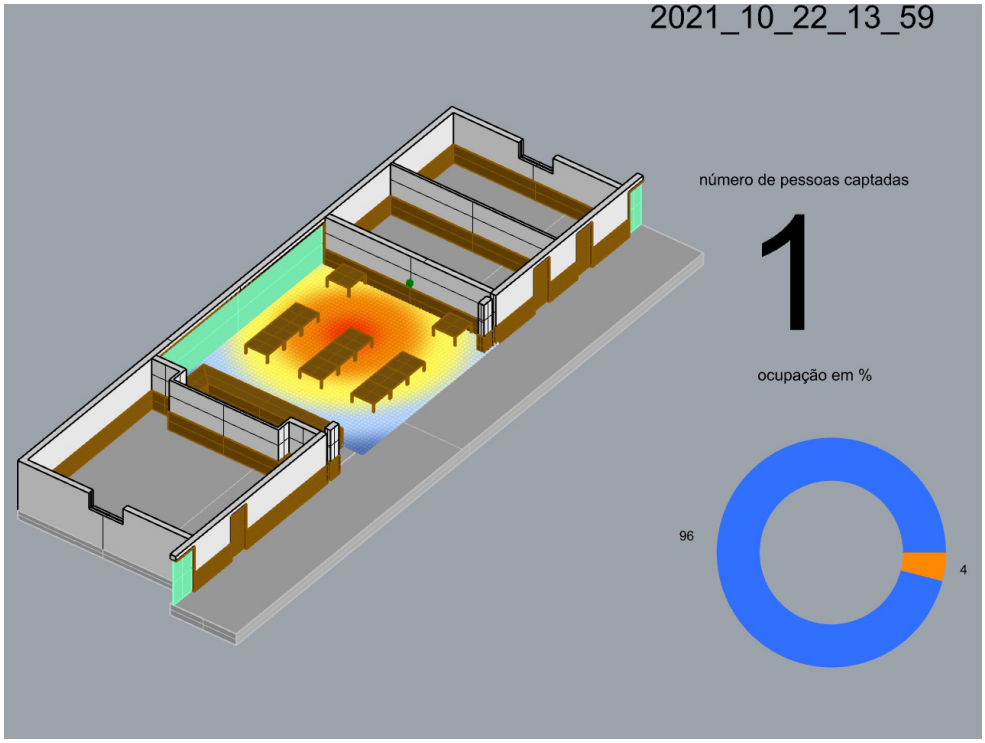
Anexo 7.11. Localização da pessoa no modelo virtual, através da coordenandas obtidas pela análise da imagem;



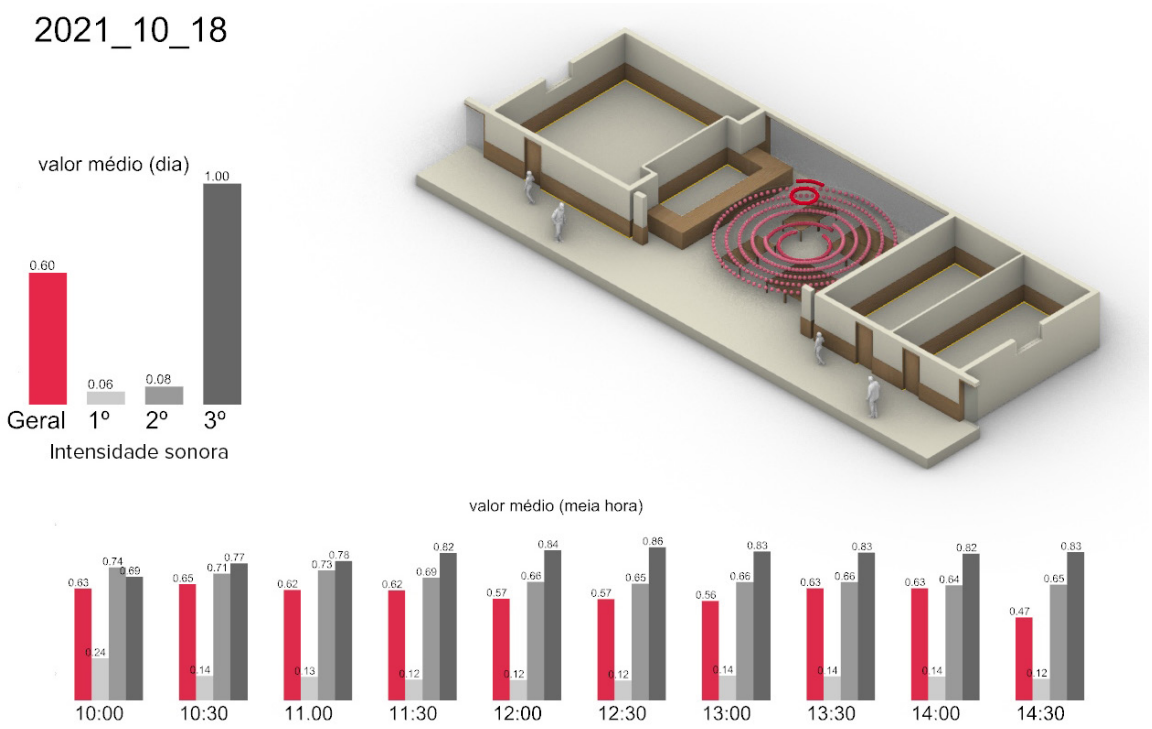
Anexo 7.12. Vizualiação da localização da pessoa no modelo virtual, através da metodologia *attractors*;



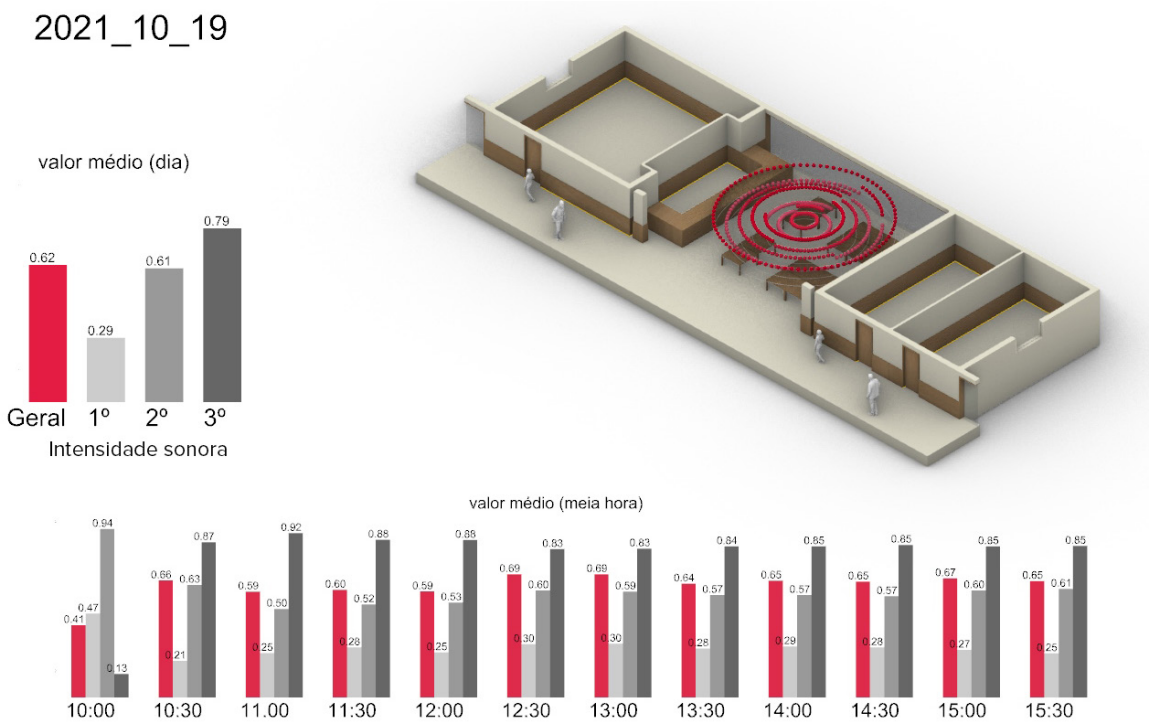
Anexo 7.13. Vizualização do gráficos;



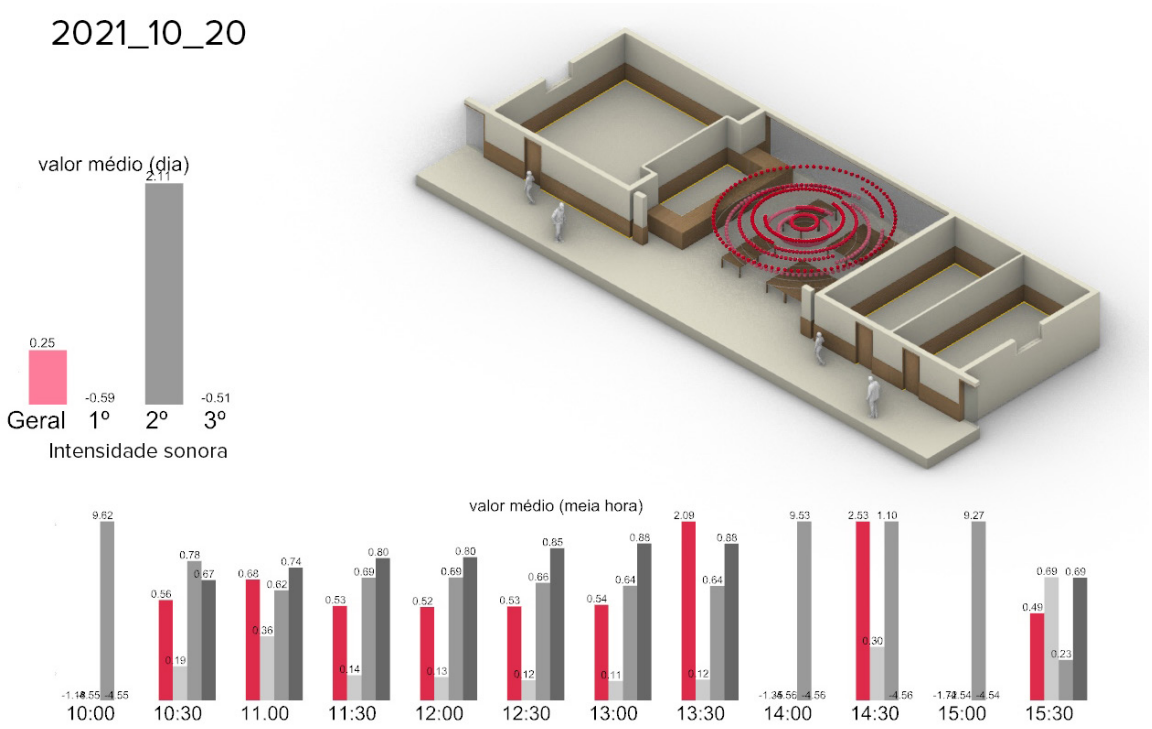
Anexo 8. Valores sonoros captados na 2º feira;



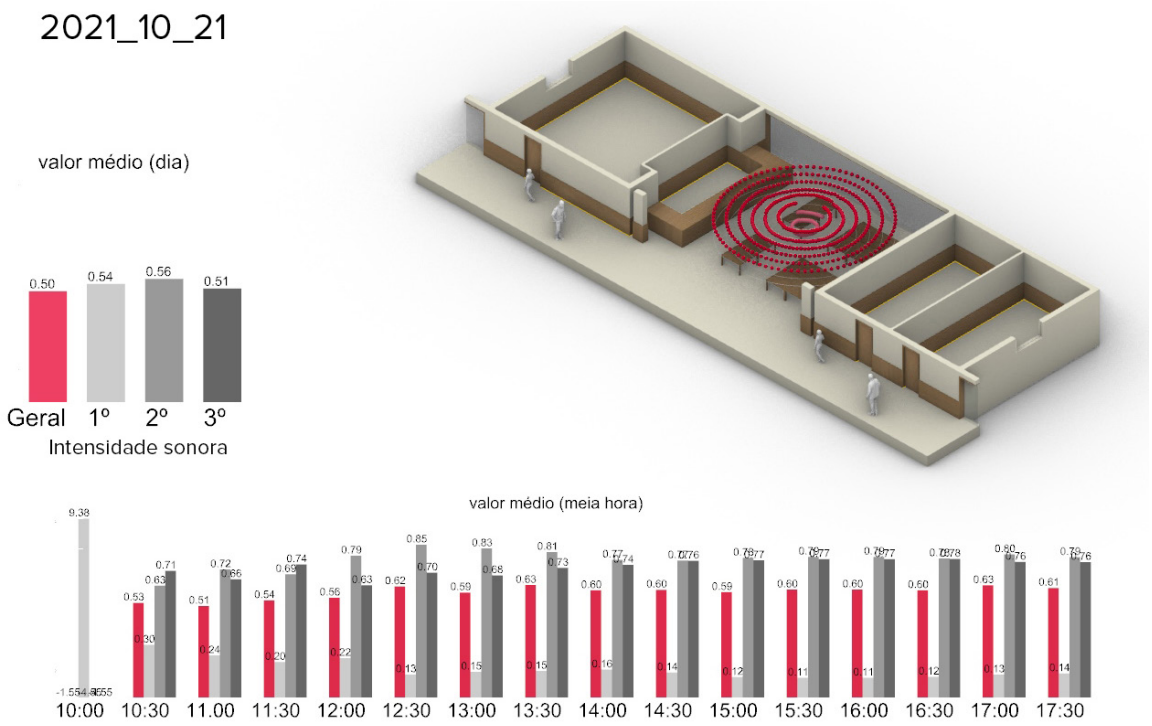
Anexo 9. Valores sonoros captados na 3º feira;



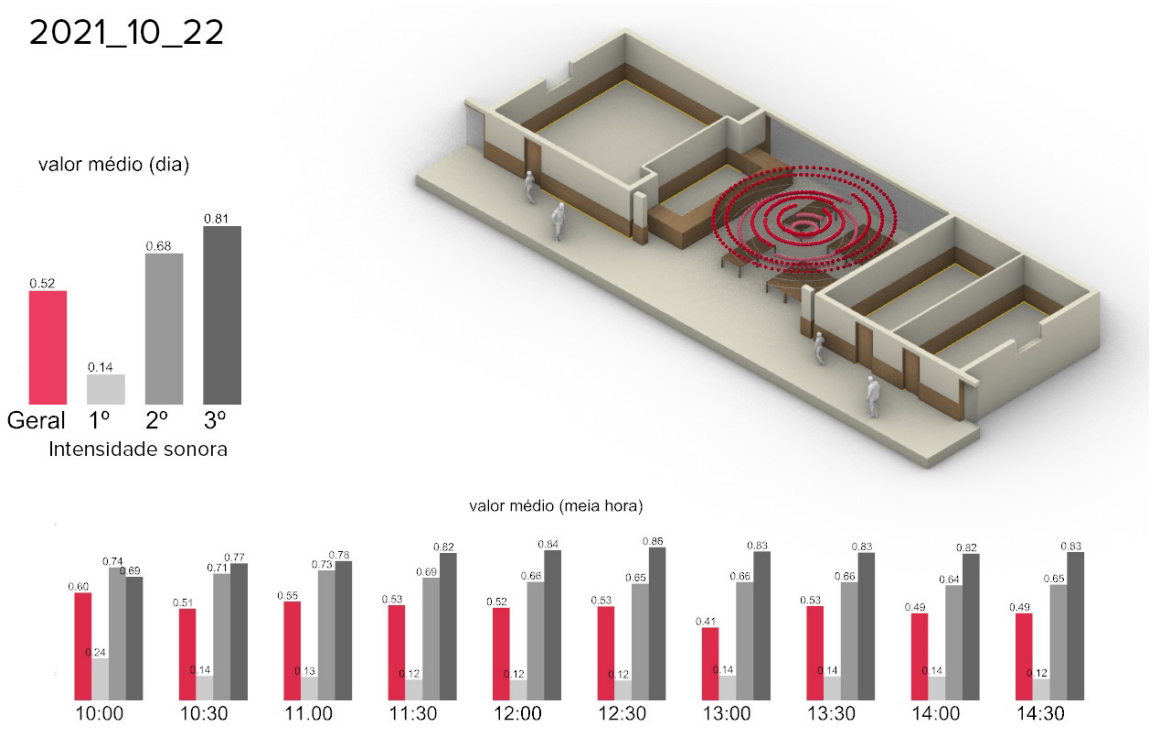
Anexo 10. Valores sonoros captados na 4º feira;



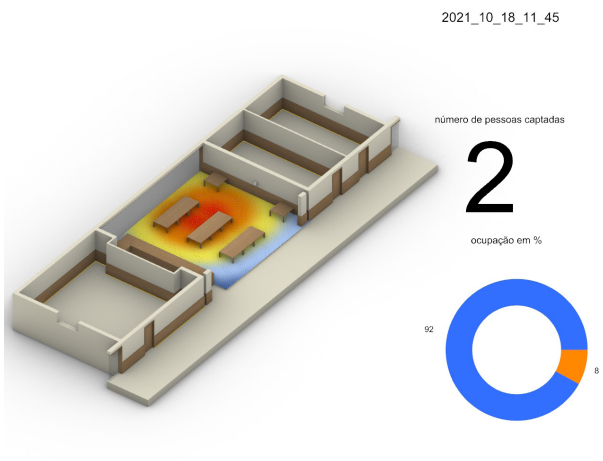
Anexo 11. Valores sonoros captados na 5º feira;

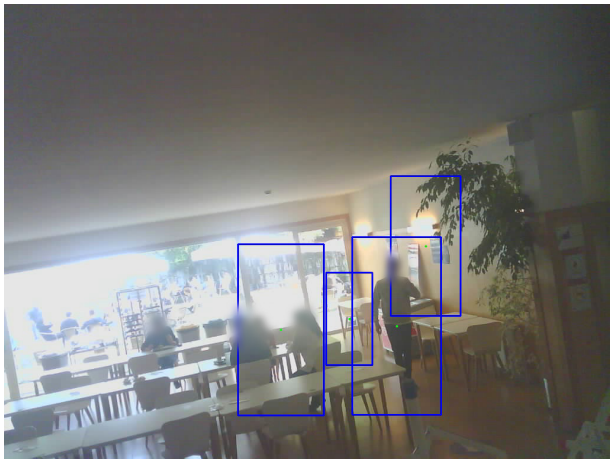


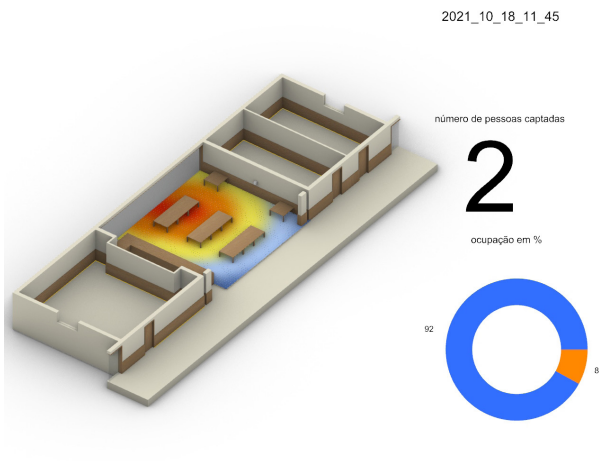
Anexo 12. Valores sonoros captados na 6º feira;

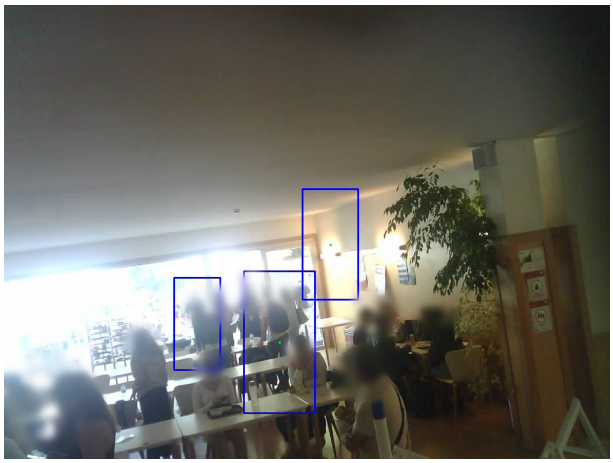


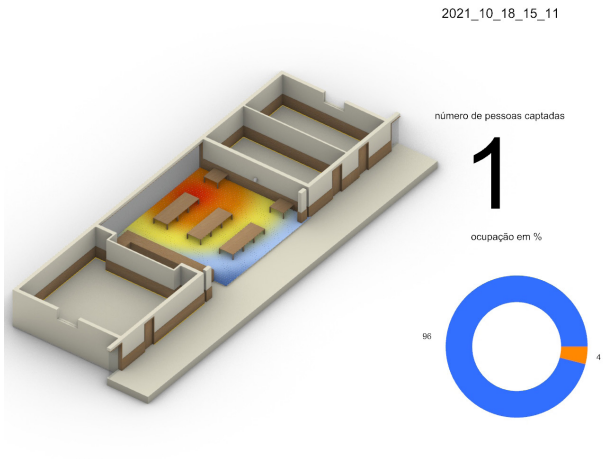
Anexo 13. Deteções feitas na 2º feira pelo dispositivo ppl-D





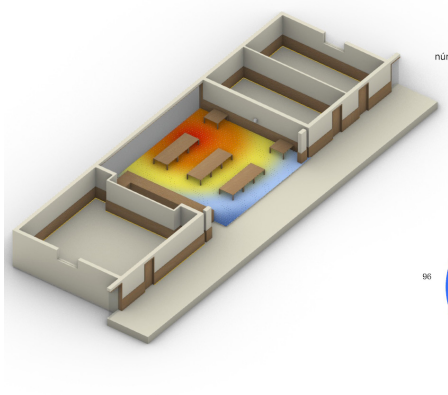








2021_10_18_15_37

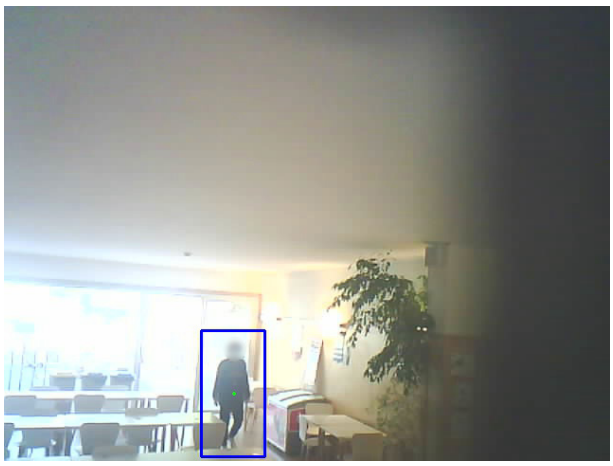


número de pessoas captadas

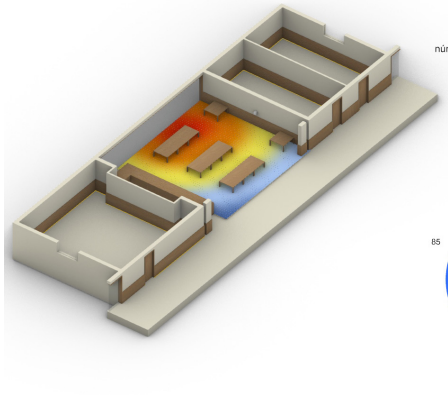
1

ocupação em %





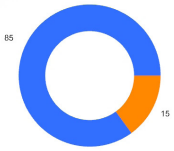
2021_10_18_16_13

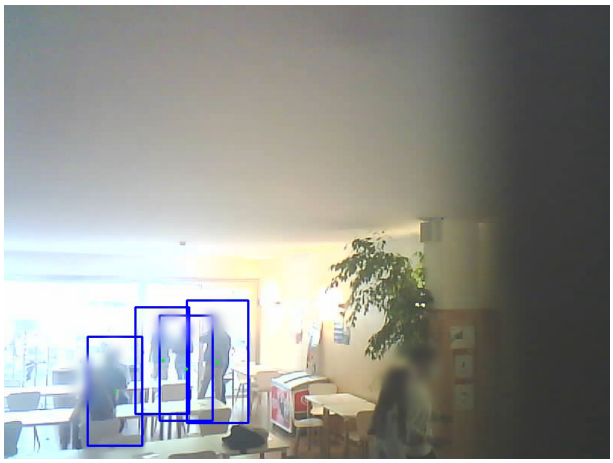


número de pessoas captadas

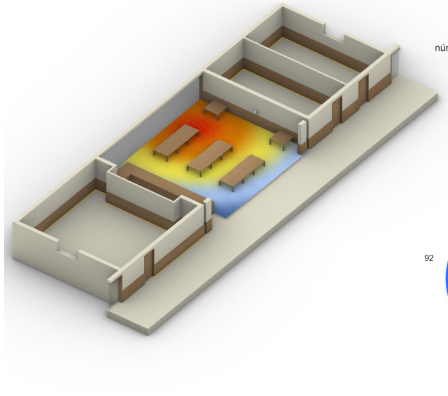
4

ocupação em %





2021_10_18_16_20



número de pessoas captadas

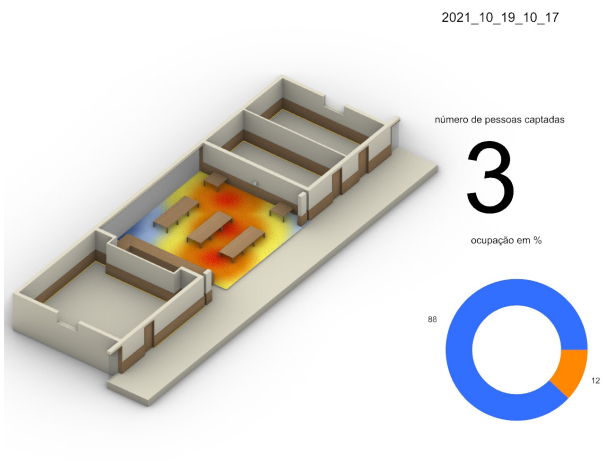
2

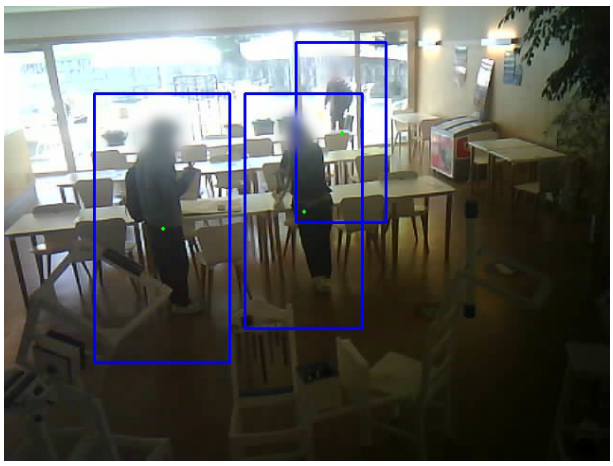
ocupação em %

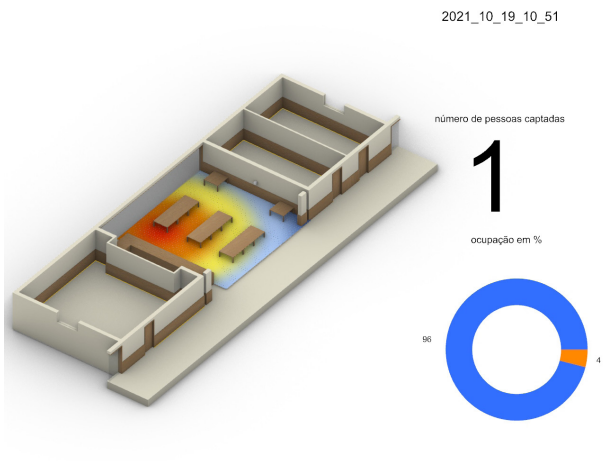




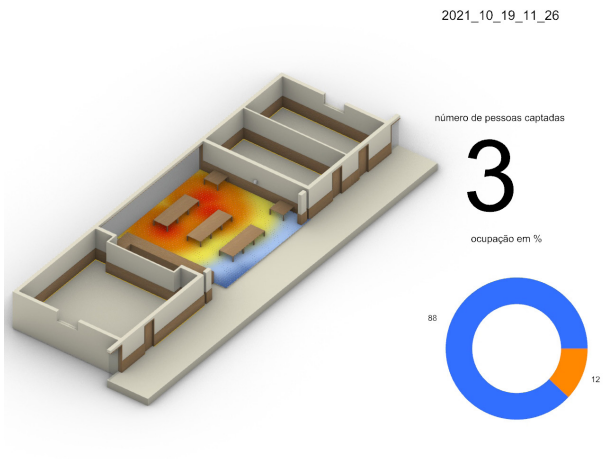
Anexo 14. Deteções feitas na 3º feira pelo dispositivo ppl-D





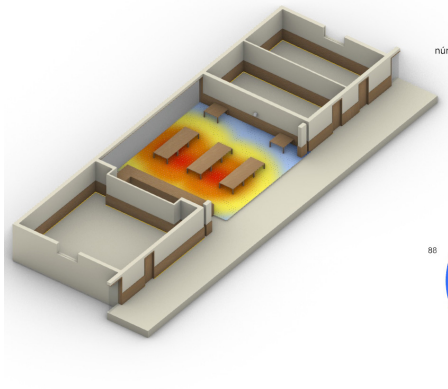








2021_10_19_11_33

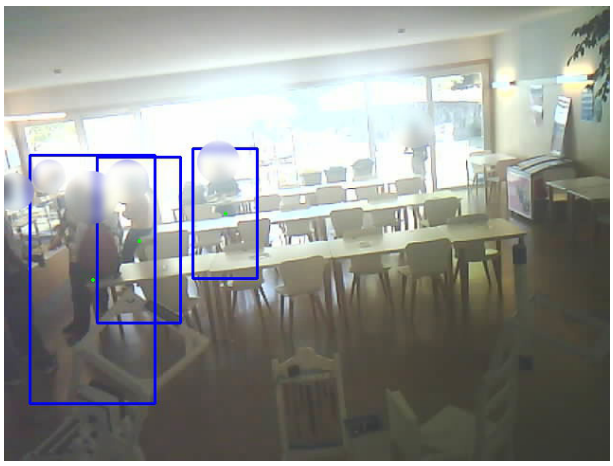


número de pessoas captadas

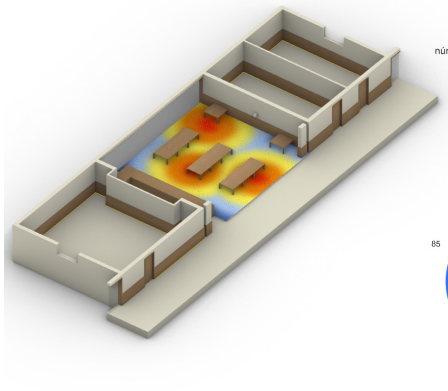
3

ocupação em %





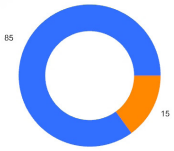
2021_10_19_12_00



número de pessoas captadas

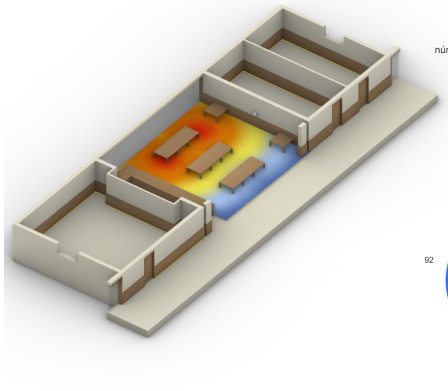
4

ocupação em %





2021_10_19_12_20

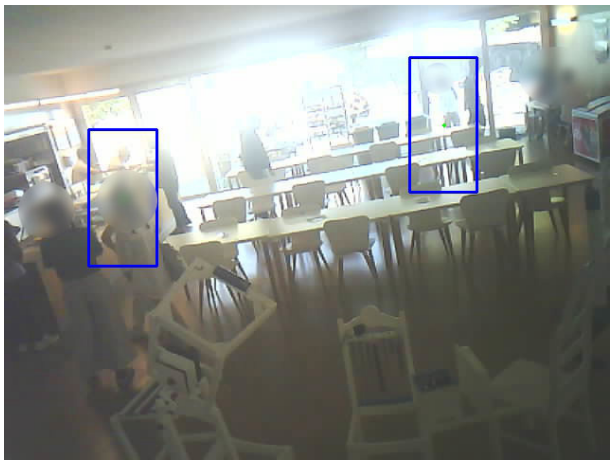


número de pessoas captadas

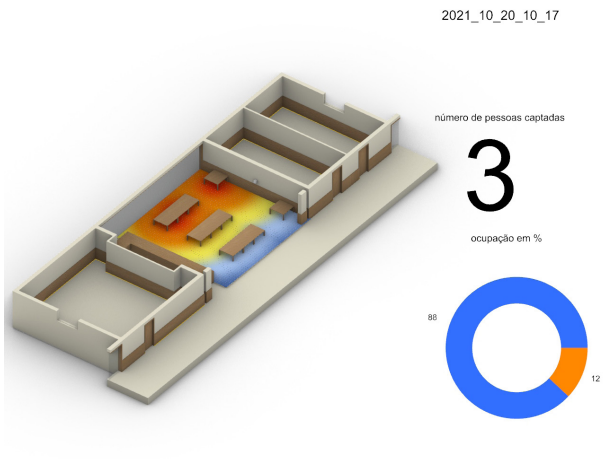
2

ocupação em %

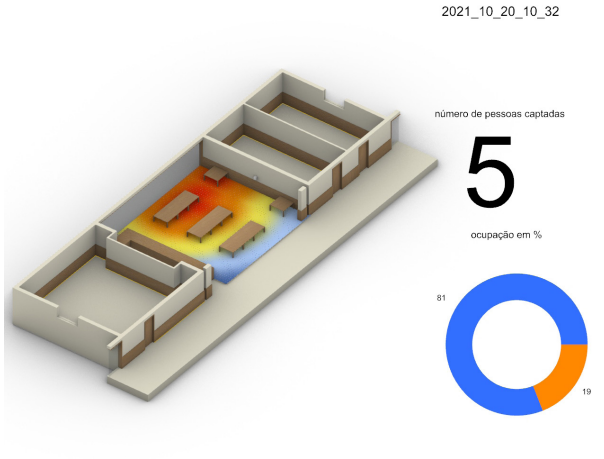




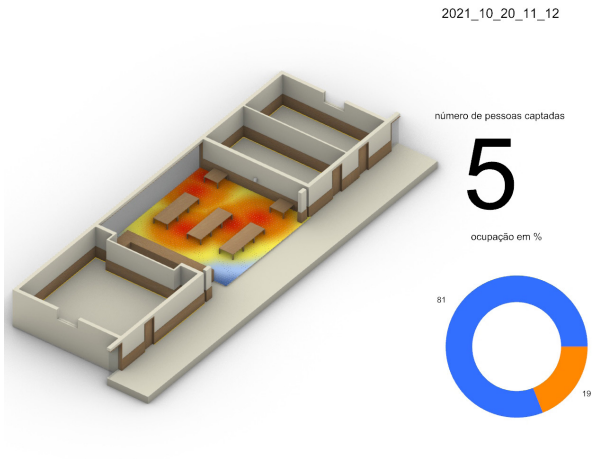
Anexo 15. Deteções feitas na 4º feira pelo dispositivo ppl-D

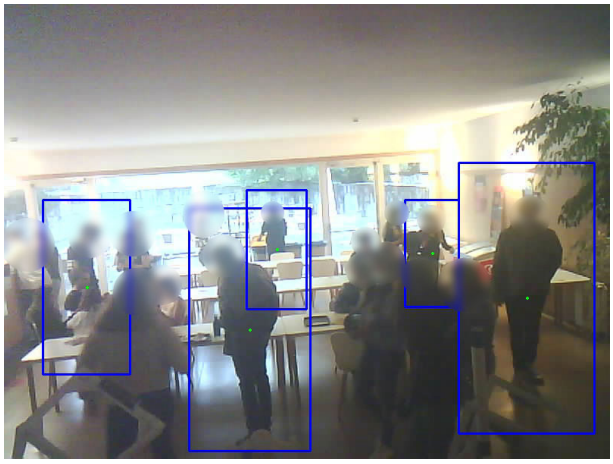




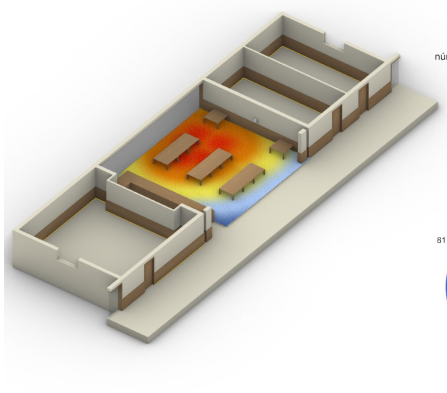








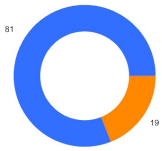
2021_10_20_11_25

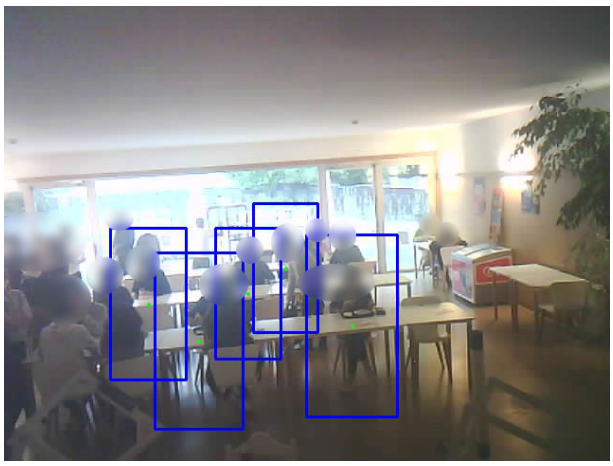


número de pessoas captadas

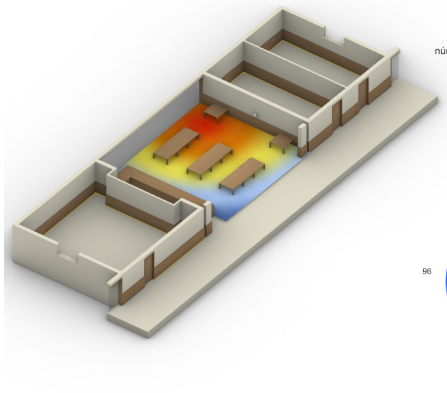
5

ocupação em %





2021_10_20_12_00



número de pessoas captadas

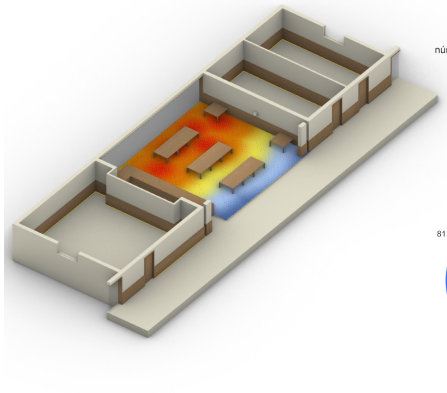
1

ocupação em %





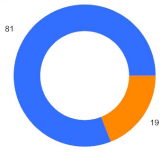
2021_10_20_12_35



número de pessoas captadas

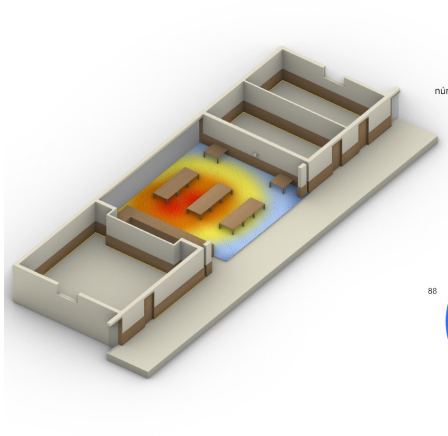
5

ocupação em %





2021_10_20_14_32



número de pessoas captadas

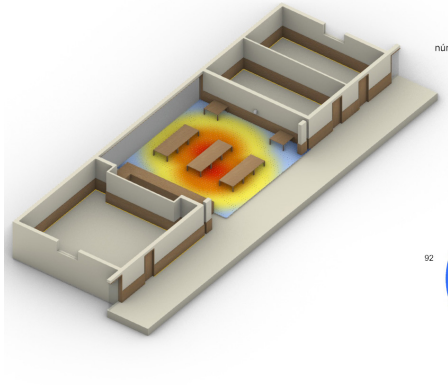
3

ocupação em %





2021_10_20_15_00



número de pessoas captadas

2

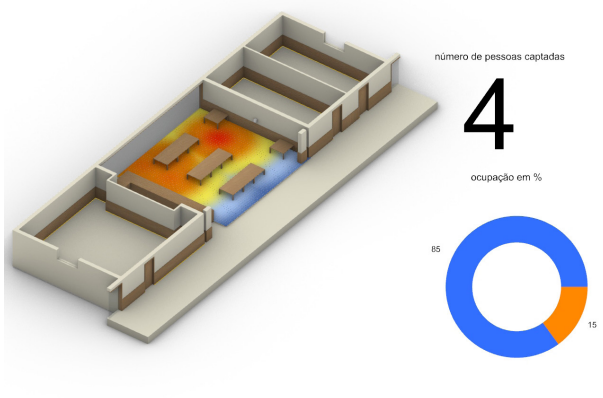
ocupação em %





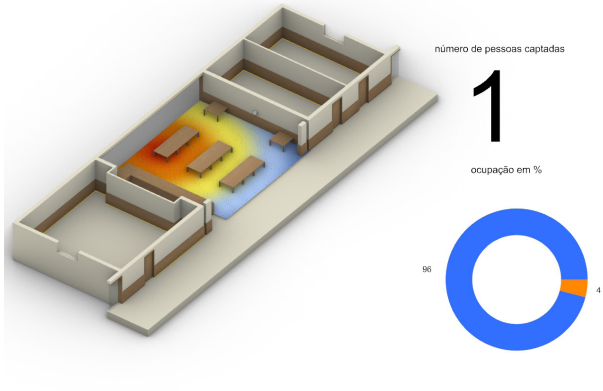
Anexo 16. Deteções feitas na 5º feira pelo dispositivo ppl-D

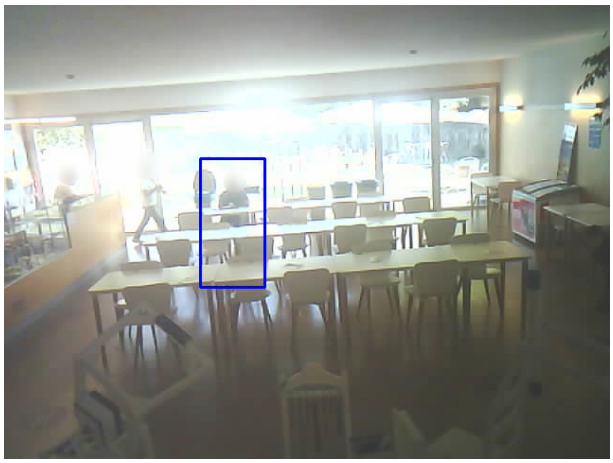
2021_10_21_10_14



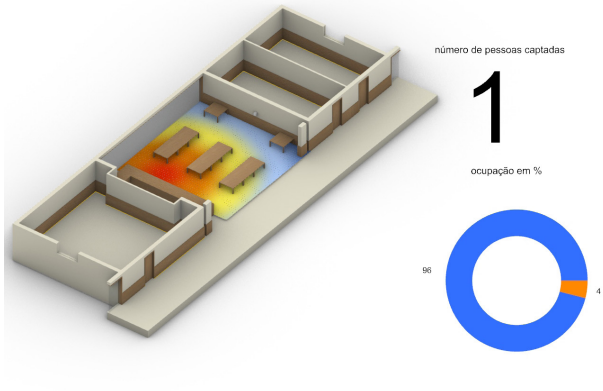


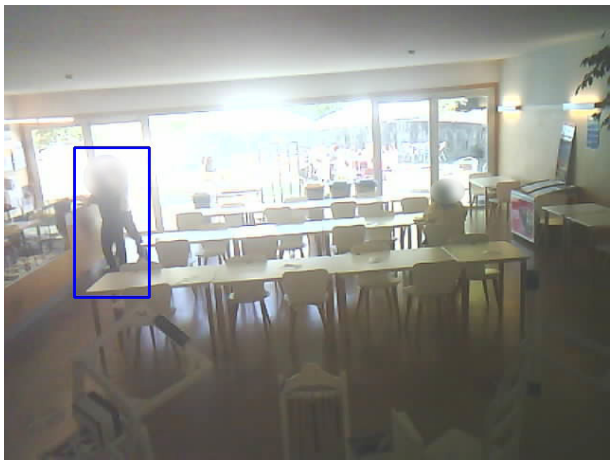
2021_10_21_10_35



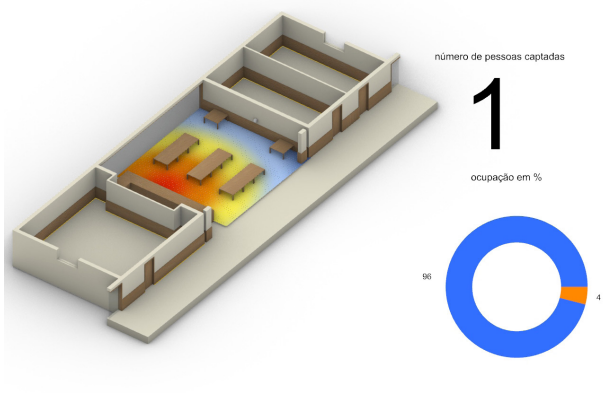


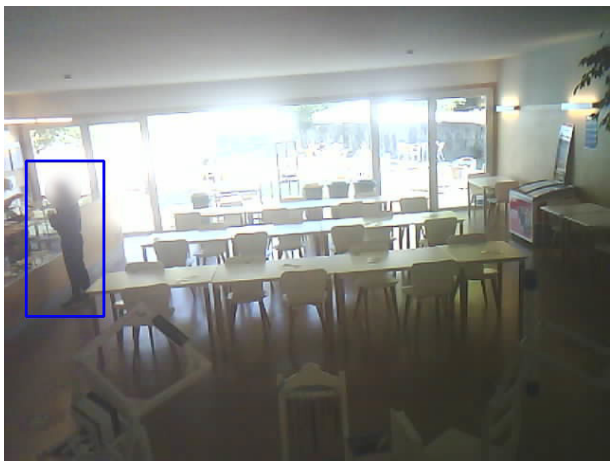
2021_10_21_11_03



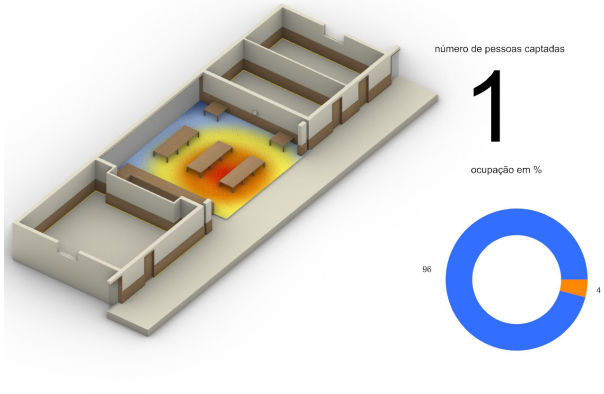


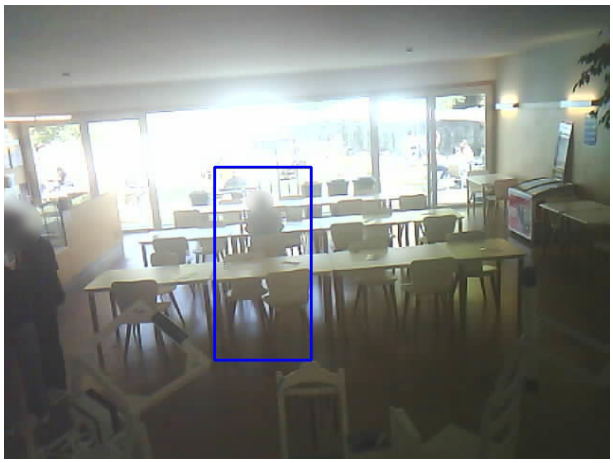
2021_10_21_11_33



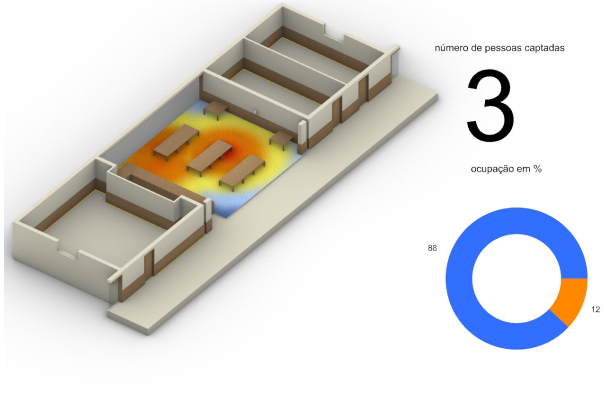


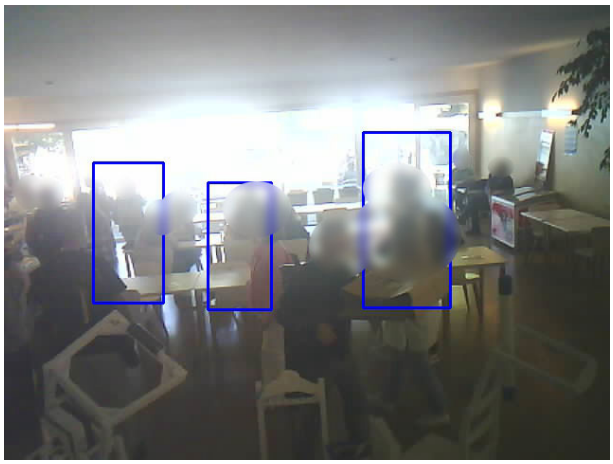
2021_10_21_11_59



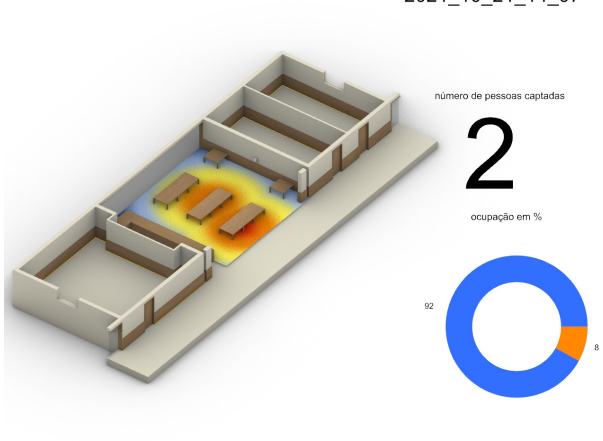


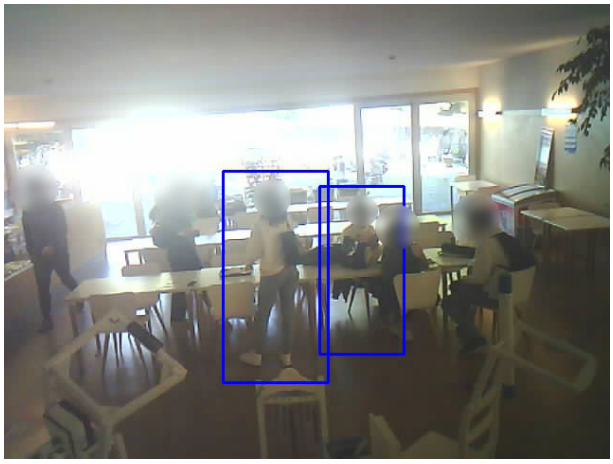
2021_10_21_13_16



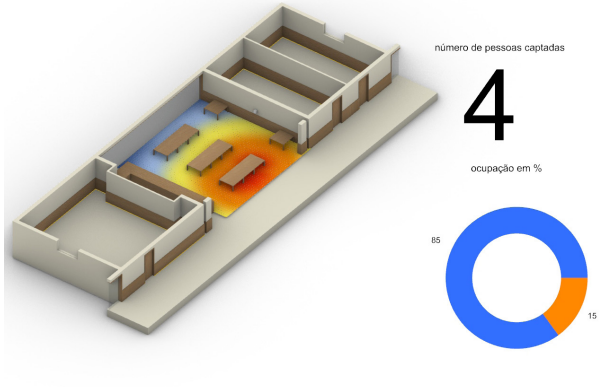


2021_10_21_14_07



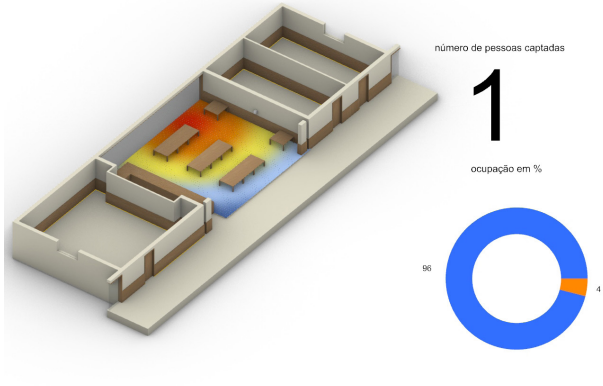


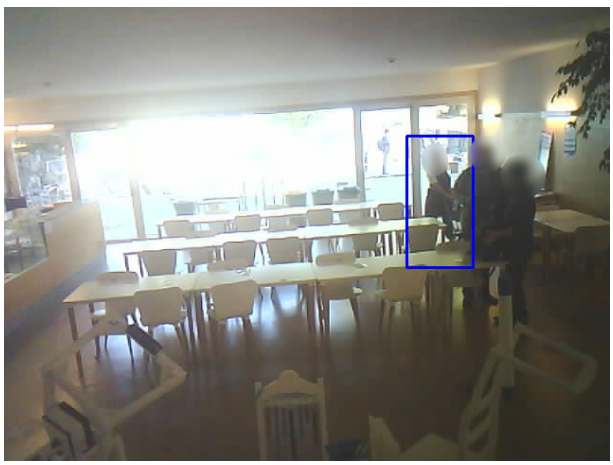
2021_10_21_14_24



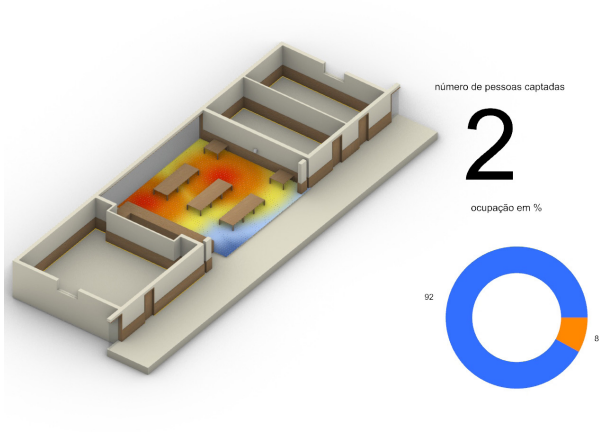


2021_10_21_15_05





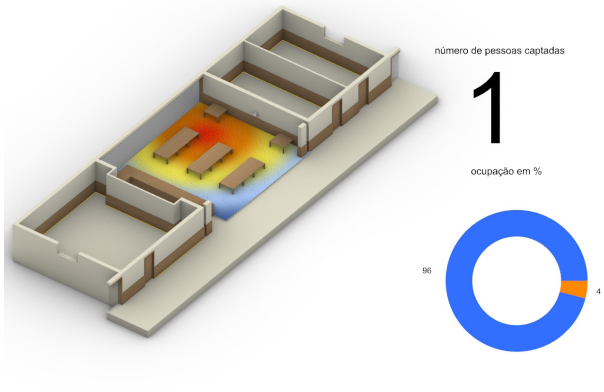
2021_10_21_15_29

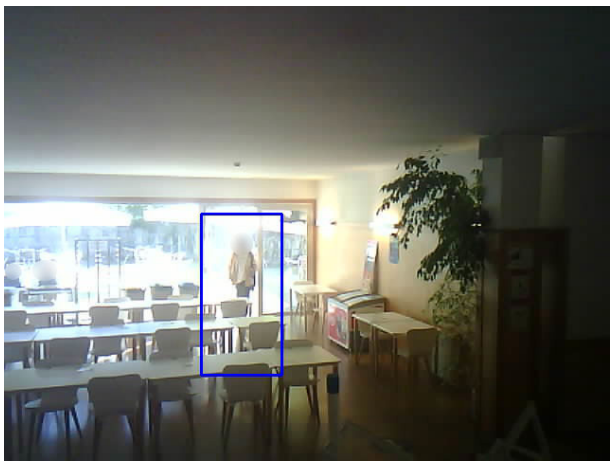




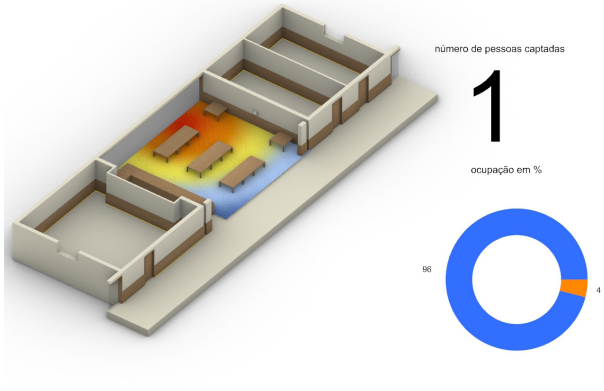
Anexo 17. Deteções feitas na 5º feira pelo dispositivo ppl-D

2021_10_22_10_01



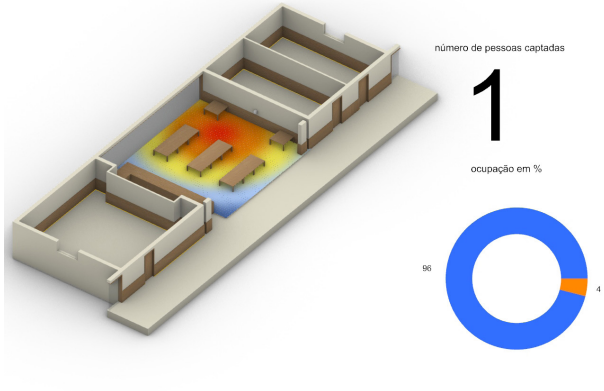


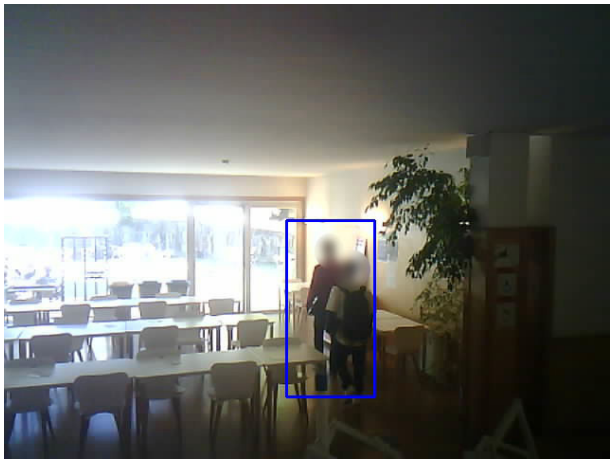
2021_10_22_10_30



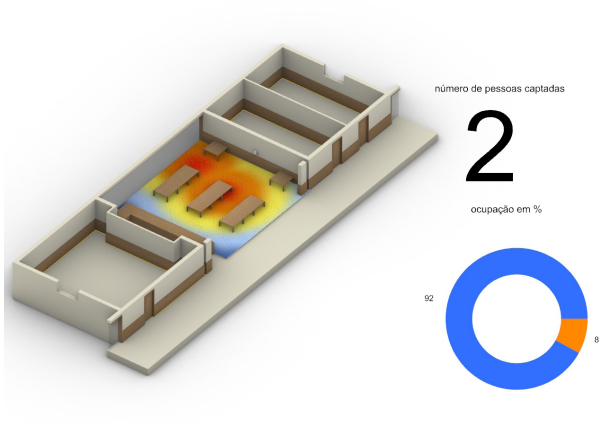


2021_10_22_11_01



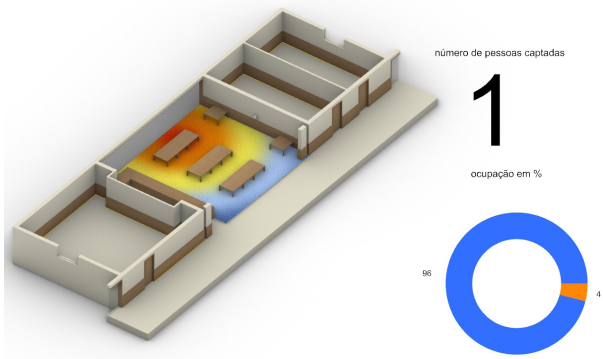


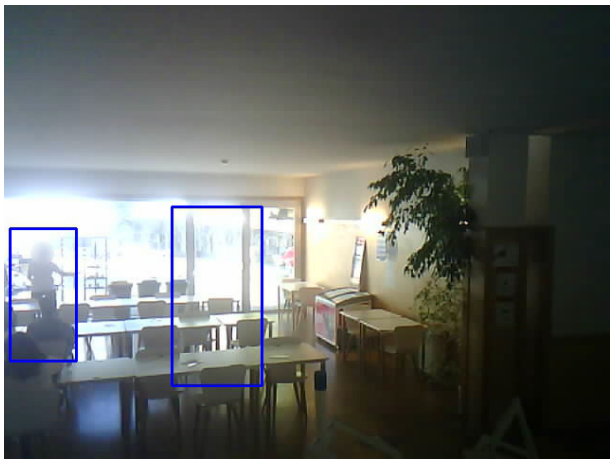
2021_10_22_11_30



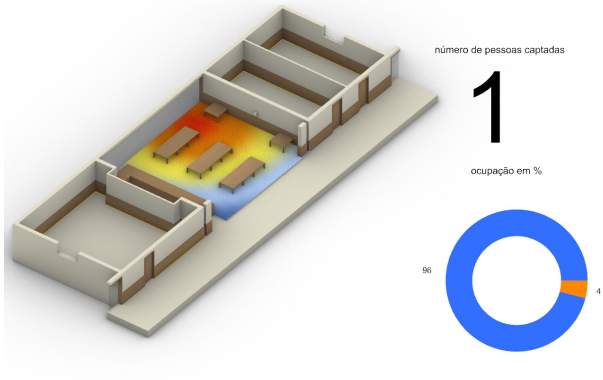


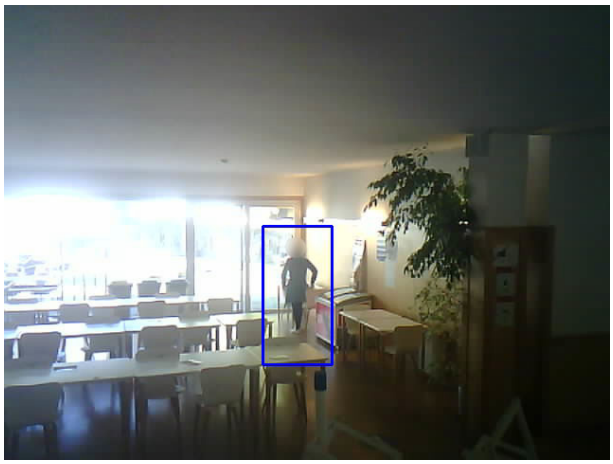
2021_10_22_12_06



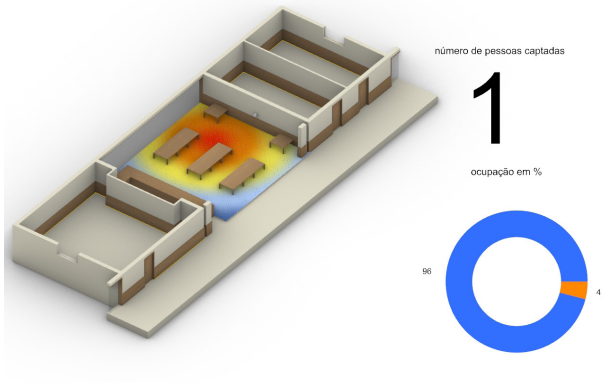


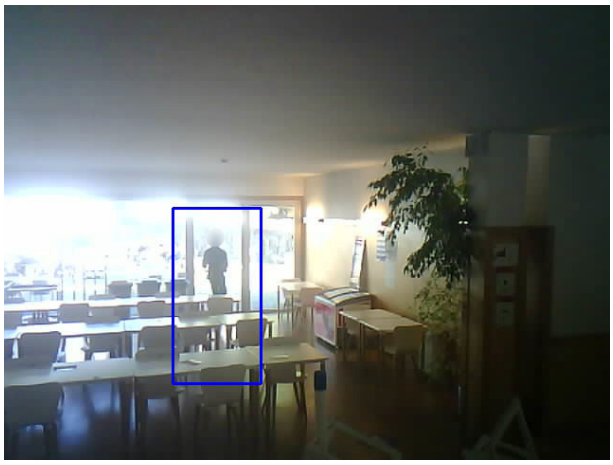
2021_10_22_12_40



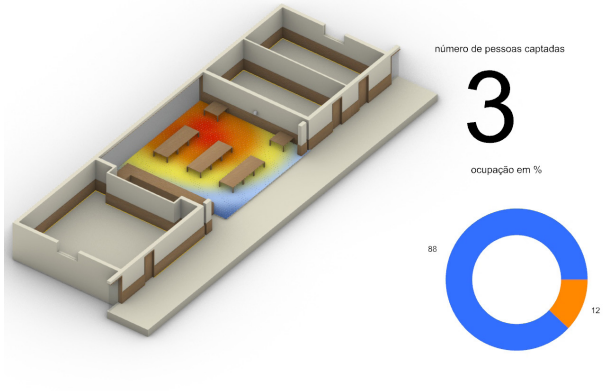


2021_10_22_13_00





2021_10_22_13_36





2021_10_22_13_59

