

# Uma Abordagem de Computação Acessível para Alavancar o Turismo Inteligente em Territórios de Baixa Densidade

João Pedro Gomes<sup>1</sup>, André Moreira<sup>2</sup>, Redney Monteiro<sup>2</sup>, Vítor Mendonça<sup>3</sup>,  
Carlos R. Cunha<sup>4</sup>

**jpgomes@ipb.pt; andre-moreira@ipb.pt; redneymonteiro@ipb.pt;**  
**mendonca@ipb.pt; crc@ipb.pt**

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Applied Management Research Unit (UNIAG), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>4</sup> Research Centre in Digitalization and Intelligent Robotics (CeDRI), SusTEC, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

**DOI: 10.17013/risti.58.81-95**

**Resumo:** Este artigo explora o conceito de Cidades Inteligentes adaptado a áreas de baixa densidade populacional, com um foco específico no turismo. É apresentado um modelo tecnológico acessível e flexível para explorar redes de sensores, utilizando tecnologias de transmissão de baixo custo e baixo consumo energético, como a LoRaWAN. É apresentado um modelo modular que integra sensores de baixo custo, redes de longa distância e plataformas de análise de dados, visando a monitorização de diversos parâmetros passíveis de utilização em diversos contextos, em particular o turístico. A abordagem de aquisição e utilização de dados de forma colaborativa fomenta a escalabilidade do sistema e promove soluções de parceria. Descreve-se o protótipo implementado para testar a viabilidade técnica e o potencial da proposta como impulsionador do desenvolvimento local. Este trabalho contribui para a expansão do conceito de região inteligente em territórios menos povoados.

**Palavras-chave:** Turismo Inteligente; Territórios de Baixa Densidade; Desenvolvimento Regional; IoT; LoRaWAN.

***An Accessible Computing Approach to Leverage Smart Tourism in Low-Density Territories***

**Abstract:** This article explores the concept of Smart Cities adapted to areas of low population density, with a specific focus on tourism. An accessible and flexible technological model is presented for exploiting sensor networks, using low-cost, low-energy transmission technologies such as LoRaWAN. A modular model is

presented that integrates low-cost sensors, long-distance networks and data analysis platforms, with a view to monitoring various parameters that can be used in different contexts, particularly tourism. The collaborative approach to data acquisition and utilization encourages system scalability and promotes partnership solutions. The prototype implemented to test the technical feasibility and potential of the proposal as a driver of local development is described. This work contributes to expanding the smart region concept to less populated territories.

**Keywords:** Smart Tourism; Low-Density Territories; Regional Development; IoT; LoRaWAN.

## 1. Introdução

A tecnologia tem alavancado a transformação da realidade em que vivemos. Neste contexto, os centros populacionais, em especial as grandes cidades, vivem um período de transformação rumo a uma noção de maior inteligência em todo o ecossistema que encerram – edificação, indústria, serviços, cidadãos residentes e visitantes – integrados por um fortíssimo conceito de cooperação, desejavelmente em tempo real.

Surgido na década de 90, o conceito de Cidade Inteligente traduzia-se, na sua génesis, segundo Hall et al. (2000), por áreas urbanas seguras, sustentáveis e eficientes, onde as infraestruturas usam materiais inovadores, sensores e sistemas integrados em redes de computadores, com bases de dados e algoritmos de decisão.

Este conceito tem percorrido um caminho de refinamento da sua visão e definição, onde, segundo Rizzon et al. (2017), diferentes terminologias surgiram para caracterizar as Cidades Inteligentes, mas que têm confluído na integração de todos os elementos de forma holística. Contudo, segundo José & Rodrigues (2024), os ecossistemas urbanos são complexos, sendo difícil aplicar de forma rápida as inovações, traduzindo-se, comparativamente a outros setores, num progresso mais lento, levando mesmo a algum sentimento de frustração com o conceito de Cidade Inteligente.

Entre os múltiplos setores onde têm sido desenvolvidos esforços para materializar as Cidades Inteligentes, encontra-se o setor do turismo e da hospitalidade e o conceito de Turismo Inteligente. Este conceito, que tem gerado bastante interesse na última década, apresenta cinco fatores-chave que o influenciam – tecnologia, inovação, sustentabilidade, acessibilidade e uma abordagem centrada no turista (Liu et al., 2024). Esta abordagem confluí para a criação de cidades turísticas inteligentes que, segundo Chung et al. (2021), integra o turismo na vida quotidiana, criando oportunidades que combinam atividades diárias com experiências de viagem.

Nas últimas décadas, o setor do turismo tem aproveitado as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para uma evolução assente na inovação dos seus produtos e serviços, onde se colocam importantes desafios e se vislumbram tendências (Moraes et al., 2016). Neste contexto, o conceito de inteligência tem sido suportado por um conjunto de tecnologias, que emergiram com novo vigor nos últimos anos, onde se destacam a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial Generativa (Suanpang & Jamjuntr, 2019; Suanpang & Pothipassa, 2024).

Segundo Buhalis & Amaranggana (2013), todo este potencial tecnológico a ser incorporado em todas as organizações e entidades dos destinos turísticos torna possível

a exploração de sinergias que apoiem o enriquecimento das experiências turísticas, materializando um novo conceito de Destinos Turísticos Inteligentes (DTI).

Esta transformação dos espaços populacionais para espaços inteligentes, onde o setor do turismo tem beneficiado, materializando o conceito de DTI, tem representado um desenvolvimento territorial assimétrico. De facto, o próprio conceito de Cidade Inteligente, pelos seus elevados custos de planeamento, implementação e gestão, não parece adequar-se aos territórios de baixa densidade, atendendo a uma análise de custo-benefício, considerando as soluções tecnológicas que são implementadas nas grandes cidades.

Segundo Toste et al. (2022), são as grandes cidades que estão a percorrer o caminho para se tornarem espaços inteligentes e DTI. Ainda segundo Correia et al. (2023) e Dias (2018), tem sido dada pouca importância e atenção às pequenas cidades, existindo uma menor atenção, compreensão e interesse nas iniciativas que estas têm levado a cabo para se tornarem mais inteligentes. Contudo, acreditamos que a democratização da criação de espaços inteligentes é mandatária, sob pena do fenómeno de criação de Cidades Inteligentes se tornar num fator de criação de assimetrias e exponenciar a falta de coesão territorial.

Este trabalho propõe um modelo conceitual e tecnológico de um sistema inteligente mais adequado para implementar Cidades Inteligentes em territórios de baixa densidade, com foco na vertente do turismo e na criação de DTI. Neste contexto, são privilegiadas soluções de mais fácil implementação e de menor custo, tornando a análise de custo-benefício mais sustentável para as características destes territórios. A acompanhar o modelo conceitual e tecnológico é apresentado um protótipo, que tem servido de espaço de testes na cidade portuguesa de Mirandela – pequena cidade situada no nordeste de Portugal.

## 2. Revisão da Literatura

De entre os vários setores económicos que podem beneficiar da implementação de Cidades Inteligentes encontra-se o setor do turismo. O turismo é um sector emergente na sociedade e um importante ator económico onde os turistas utilizam cada vez mais meios tecnológicos para desfrutar plenamente da sua viagem, e onde a IoT é cada vez mais umas das principais tecnologias de suporte primário para o desenvolvimento dos DTI (Morais et al., 2022).

A implementação de espaços inteligentes alimenta-se do uso de diversas tecnologias, que permitem medir um vasto e diversificado conjunto de parâmetros, os quais suportam serviços que alimentam sistemas de apoio à decisão. De entre o conjunto dessas tecnologias destacam-se a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, Redes 5G e Computação em Nuvem (CN) (Jiang et al., 2023).

A IoT tem tido um profundo impacto nas aldeias inteligentes, melhorando as características rurais tradicionais através da revolução digital, capacitando-as, promovendo o seu desenvolvimento sustentável e colmatando a divisão rural-urbana (Sinha et al., 2024).

Os dispositivos de IoT geram enormes quantidades de dados tornando a IA muito interessante no campo das Cidades Inteligentes, em especial pela capacidade de permitir

a criação de dispositivos e sistemas que podem aprender com as experiências anteriores (Inclezan & Prádanos, 2017). Segundo Lukita et al. (2023), a integração da IA e IoT oferece uma oportunidade para revolucionar diversos aspectos do turismo, tais como a criação de sistemas de recomendação personalizadas e a recolha de dados em tempo real, que podem enriquecer a experiência do viajante e melhorar a gestão dos destinos turísticos.

A CN é uma tecnologia cada vez mais reconhecida por empresas e indivíduos, pela sua capacidade em armazenar quantidades massivas de dados, que são recolhidos por milhares de dispositivos de IoT que compõem as cidades inteligentes, enquanto fornecem formas ágeis de trocar dados entre diferentes sistemas (Dener, 2019).

Segundo Tan et al. (2021), também a tecnologia 5G está na base das cidades inteligentes e são uma tendência inevitável no seu desenvolvimento, sendo que os terminais 5G vão tornar-se a principal forma de obtenção de diversos serviços nas cidades inteligentes.

A literatura apresenta diversos trabalhos que espelham o que tem sido feito na área das Cidades Inteligentes e DTI. Em Mdegela et al. (2023) é usado IoT para monitorizar o nível da água do rio Kikuletwa na Tanzânia com o objetivo de alertar para enchentes através do uso de sensores de distância ultrassónicos. Já em Dahir et al. (2024), IoT e Machine Learning (ML) são combinados para monitorizar o consumo de eletricidade em casas da Somália através da análise de dados em tempo real.

Também relativo ao consumo de eletricidade, Zhou (2024) foca-se em otimizar a rede elétrica relativamente aos postos públicos de carregamento de carros elétricos, usando IoT para construir um modelo do tráfego da rede rodoviária, com objetivo de analisar as rotas usadas e o tempo de viagem. Por outro lado, Huang & Zhu (2024) faz uso de IoT e ML para reduzir o congestionamento de tráfego assim como a exaustão dos veículos, com particular destaque para a diminuição da emissão de gases poluentes.

Ma (2024), promove o conceito de *Smart Tourism* através da combinação de IoT com ML, sendo dada especial atenção ao seu uso como solução para o problema recorrente de congestionamento de visitantes em pontos turísticos, bem como à criação de um sistema de recomendação que fornece sugestões de rotas de viagem e outras. Similarmente, em Bi & Liu (2022) também são usados IoT e ML para prevenir tais congestionamentos através da previsão do comportamento dos visitantes, com o objetivo de informar previamente potenciais visitantes.

Ainda relativo ao setor do turismo, Lin (2020) propõe o uso combinado de IoT, IA e visão por computador para detetar anomalias em pontos turísticos, tais como conflitos entre pessoas, com o objetivo de garantir a segurança dos turistas. Já em Ronoh et al. (2022), combina-se ML com o serviço de mensagens curtas (SMS) para promover a segurança da população que reside perto de pontos turísticos com vida selvagem, tais como parques ou reservas naturais. O uso de IoT através de sensores que detetam assinaturas de calor, entre outros, funciona como um gatilho para ativar o modelo de ML, permitindo reduzir os recursos necessários.

A criação de espaços inteligentes, independentemente da densidade populacional de cada espaço, parte de um mesmo princípio de base, alicerçado na sustentabilidade

dos territórios e na disponibilização de serviços melhores, mais personalizados e mais eficientes aos seus cidadãos ou visitantes. Contudo, a verdade é que o ponto de partida e as condições no terreno podem ser muito diferentes quando comparados os territórios. Esta questão pode ser analisada em Doerr et al. (2018), onde são avaliadas soluções digitais inovadoras, especificamente focadas nas pessoas que vivem em zonas rurais, cujas necessidades são peculiares e diferentes das pessoas que vivem em áreas urbanas.

No capítulo seguinte é apresentada uma proposta de modelo conceitual e tecnológico, para suportar espaços inteligentes capazes de suportar DTI, pensado, na sua abordagem, escolha de tecnologias e custos, para espaços de baixa densidade populacional.

### **3. Modelo Conceitual e Tecnológico**

A implementação de redes de sensores em áreas de baixa densidade populacional apresenta, tipicamente, alguns desafios particulares que não costumam ser preocupantes em ambiente urbano.

A infraestrutura existente é limitada, nomeadamente ao nível das comunicações e da rede elétrica. Uma possível solução é a utilização de tecnologias de comunicação de grande alcance e baixo consumo energético, como é o caso da LoRaWAN e da Sigfox. No entanto, a implementação deste tipo de tecnologias pode trazer outros desafios, sendo o relevo frequentemente um obstáculo à transmissão dos sinais eletromagnéticos, bem como à colocação e manutenção dos sensores.

Os custos de implementação também tendem a ser mais elevados, tanto pela falta de infraestruturas pré-existentes como pela dificuldade de acesso aos locais. O retorno do investimento poderá ser limitado, pois o número de utilizadores que irão usufruir da rede será reduzido. O mais usual é este tipo de projetos ser financiado por fundos públicos.

Os dados também são mais escassos do que em ambiente urbano, tornando-se mais difícil a sua agregação e a sua análise. Não só pela menor quantidade de sensores disponíveis, mas também pelas baixas larguras de banda disponibilizada pelas tecnologias de comunicação de longo alcance e baixo consumo energético já referidas. Além disso, dada a maior dificuldade em implementar sistemas redundantes, a avaria de algum equipamento de transmissão poderá implicar falhas de comunicação por algum tempo.

O modelo aqui proposto (Figura 1) pretende contribuir para a promoção do turismo inteligente em zonas de baixa densidade populacional, através da disponibilização de diversos tipos de dados, obtidos através de uma infraestrutura de sensores de baixo custo e de baixo consumo energético. Os dados seriam úteis não apenas aos turistas, mas também aos agentes turísticos e às autoridades locais.

Embora o turismo seja o foco principal, o sistema deverá ser encarado de forma holística, com flexibilidade e potencial para ser aproveitado por múltiplos setores e intervenientes de âmbito económico, ambiental e académico, entre outros.

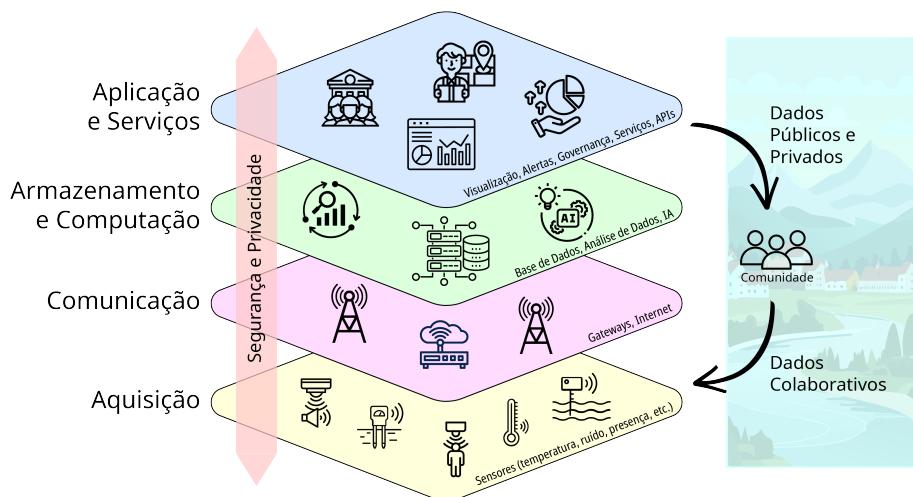


Figura 1 – Modelo conceitual e tecnológico de um sistema inteligente e colaborativo, potenciador de turismo em territórios de baixa densidade

### 3.1. Componentes

O modelo conceitual do sistema é dividido em quatro camadas de base: Aquisição, Comunicação, Armazenamento e Computação, e Aplicação e Serviços.

A comunidade poderá contribuir para o sistema, alimentando-o com os seus próprios dados. Os dados armazenados e as análises obtidas poderão ser de acesso aberto ou restritos a determinadas entidades.

#### 3.1.1. Camada de Aquisição de Dados

No cerne do sistema está a camada de aquisição de dados constituída por um conjunto de sensores distribuídos pela região, nomeadamente em locais de interesse turístico. Cada nó sensor estará equipada com baterias que permita o seu funcionamento por um longo período, eventualmente podendo ser alimentado através de fontes renováveis como painéis solares. Alguns sensores típicos a usar seriam sensores de monitorização ambiental, medindo a temperatura, humidade relativa, qualidade do ar, radiação ultravioleta, luz ambiente, pluviosidade e nevoeiro. Isso permitiria dar a conhecer ao turista o estado do tempo em diversas partes da região, sendo também de utilidade para algumas atividades económicas locais. Outros sensores a explorar de interesse no turismo seriam os detetores de movimento e de presença, dando uma indicação da atividade em zonas determinadas.

Nos nossos sensores é de considerar a utilização de computação de borda, que permitiria minimizar o número de transmissões de dados, um dos eventos que mais energia consome num nó sensor, e não desperdiçar a largura de banda que é limitada neste tipo de redes de sensores.

Na colocação de sensores também deverá ser considerado e minimizado o impacto ambiental.

### 3.1.2. Camada de Comunicação

A tecnologia usada na transmissão dos dados (camada de comunicação) dependeria de vários fatores, mas em zonas mais remotas e com menos infraestruturas seria vantajoso a utilização de tecnologias de baixo consumo de energia e com um razoável alcance de transmissão.

Um bom candidato é a tecnologia LoRaWAN, que às características anteriores junta o baixo custo. A comunicação dos nós sensores é feita com gateways que, por sua vez, encaminham os dados para um servidor de rede. Esta tecnologia permite alcançar até 15 Km em ambiente rural e, em caso de necessidade de abranger áreas maiores, a sua arquitetura de rede em estrela estendida garante escalabilidade, permitindo espalhar vários gateways na região o que não só aumentaria a área onde se poderiam colocar sensores como também promoveria redundância das comunicações dos sensores nas zonas cobertas por múltiplos gateways (Figura 2).

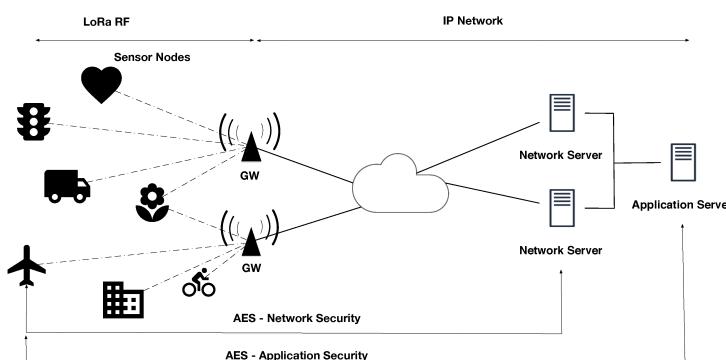


Figura 2 – Arquitetura LoRaWAN (Ertürk et al., 2019)

Uma análise SWOT sintética à tecnologia LoRaWAN mostra como forças a boa cobertura disponibilizada, o baixo consumo de energia, o custo reduzido, a escalabilidade e a boa capacidade de penetração em edifícios. A sua maior fraqueza é a largura de banda muito limitada e a latência não desprezável, a que se junta a possibilidade de interferências, pelo facto de usar frequências não licenciadas, e a possibilidade de diferenças de implementação entre fabricantes. Como oportunidades apontam-se o crescimento de soluções de IoT em diversas áreas de aplicação, podendo a tecnologia dar um contributo importante, as possibilidades de colaboração e inovação promovidas pelo facto de ser um padrão aberto, e a expansão da infraestrutura existente ao nível dos gateways instalados. Algumas ameaças são a segurança, apesar dos mecanismos de cifragem e autenticação da tecnologia, a concorrência de outras tecnologias de comunicação, como o NB-IoT ou a Sigfox, e as alterações à regulamentação do espetro usado pela tecnologia.

### **3.1.3. Camada de Armazenamento e Computação**

Uma rede de sensores gera, inevitavelmente, uma quantidade significativa de dados em bruto, que terão de ser armazenados, organizados, processados e analisados para produzir resultados de interesse. No modelo que propomos, estas funções de armazenamento e computação serão agregadas nesta camada.

O armazenamento em nuvem ajuda na gestão centralizada dos dados e na sua integração e partilha com outros sistemas. No entanto, a conetividade limitada em zonas remotas pode justificar a conjugação com armazenamento local, próximo dos sensores, minimizando a largura de banda necessária e possibilitando tomadas de decisão em tempo real, ou numa lógica de armazenamento distribuído.

Num cenário deste tipo, é usual o interesse no acesso aos dados por um longo período, permitindo a análise da evolução ao longo dos anos, pelo que se torna crítico um sistema de arquivo robusto.

Tal como já mencionado, poderá haver pré-processamento de dados de borda, mas o seu processamento centralizado permitirá análises mais complexas, com recurso a técnicas de inteligência artificial e modelos preditivos. Por exemplo, analisando os padrões comportamentais dos turistas, permitindo perceber os locais e horários com maior frequência de visitantes.

### **3.1.4. Camada de Aplicação e Serviços**

O acesso à infraestrutura inteligente e aos seus dados e análises deverá ser facultado aos diversos atores interessados, como turistas e outros utilizadores finais, autoridades locais, operadores turísticos ou associações ambientais.

O suporte à integração e partilha de dados com outros sistemas será essencial para o desenvolvimento de aplicações serviços, através da disponibilização de APIs. Através delas, será possível a disponibilização de aplicações móveis ou web, painéis de controlo e visualização, mapas interativos ou alertas e notificações, bem como plataformas de gestão, com utilidade em múltiplos setores.

### **31.5. Segurança e Privacidade**

A segurança e a privacidade são preocupações que deverão ser asseguradas em todas as camadas da solução.

A colocação de sensores em áreas remotas levanta algumas preocupações, nomeadamente na possibilidade de acesso físico por parte de terceiros, devendo ser acautelada a proteção da sua integridade física. Os sensores deverão possibilitar a atualização do seu *firmware* remotamente (*over-the-air*), de forma cifrada e autenticada. Havendo dados pessoais ou que possam identificar os turistas ou outras pessoas, estes deverão ser anonimizados, de preferência logo na origem.

Todo o processo de comunicação deve assegurar a confidencialidade e integridade dos dados, implementando cifragem fim-a-fim dos dados, mecanismos de autenticação e autorização dos dispositivos envolvidos (sensores, gateways e servidores), e protocolos de comunicação seguros. Os dados deverão ser também armazenados de forma cifrada,

com acesso controlado, e deverão ser estabelecidas políticas de retenção e respeitada a legislação relativa à privacidade dos dados, como o RGPD, se aplicável no país.

As aplicações e serviços devem recorrer a APIs seguras e os servidores protegidos. Os turistas e outros utilizadores deverão ser informados da forma como os seus dados vão ser usados e dada a possibilidade de negarem a sua utilização, e os dados partilhados entre entidades deverão, sempre que possível, serem anonimizados.

### 3.1.6. Modelo Colaborativo

Um aspeto de salientar no sistema que propomos é a ideia de promover o envolvimento da comunidade, permitindo que indivíduos, empresas e organizações contribuam com dados dos seus próprios dispositivos, seja um simples telemóvel ou sistemas de sensores. Esta perspetiva colaborativa permitiria escalar a quantidade de dados disponíveis e a diversidade das fontes. Os dados seriam classificados como de acesso público ou privado, dependendo do tipo e do interesse dos proprietários.

Por exemplo, um agricultor local que tenha instalado um conjunto de sensores ambientais poderia partilhar os dados publicamente com o sistema, que os usaria para indicar o estado ambiental naquela localização e fazer previsões. Ou um turista que vá percorrer um trilho poderia partilhar dados do seu telemóvel, anonimizados, como tempos, percurso, e sítios onde parou algum tempo, para ajudar a perceber padrões de interesse.

## 4. Protótipo

Para avaliar a exequibilidade do sistema proposto foi desenvolvido e implementado o protótipo representado Figura 3.

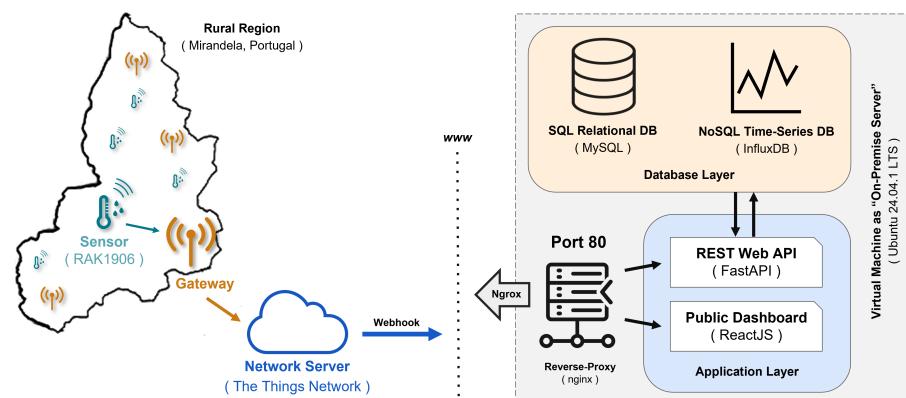


Figura 3 – Diagrama do protótipo implementado

O protótipo envolvia um nó sensor ambiental, um gateway LoRaWAN, o servidor de rede The Things Network, duas bases de dados (SQL e NoSQL) e um servidor aplicacional para visualização dos dados.

#### 4.1. Nô Sensor

Para o nó sensor pretendia-se uma solução de baixo custo, baixo consumo, versátil e de fácil implementação (Figura 4-a). Optou-se pelo RAK5005-O, uma placa que permite a integração fácil de diversos módulos, onde instalamos dois módulos, um módulo microcontrolador RAK4631, com capacidade de transmissão LoRaWAN, com transmissão na banda dos 868 MHz usada na Europa, e ainda o módulo RAK1906, um sensor ambiental compacto, capaz de medir temperatura, umidade, pressão atmosférica e concentração de gás para monitorização da qualidade do ar, este último baseado do circuito integrado Bosch BME680. A programação do nó sensor foi feita usando o Arduino IDE.

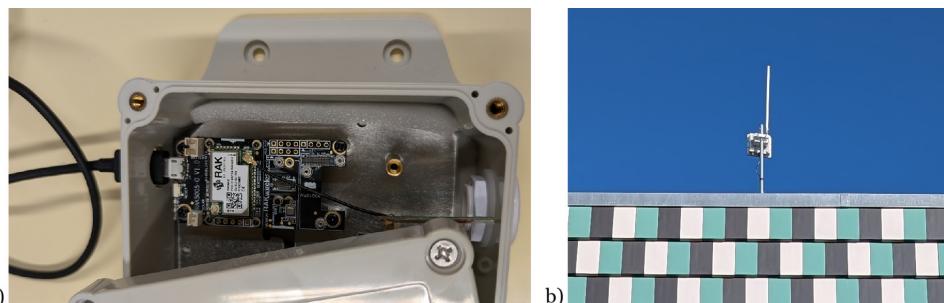


Figura 4 – Nô sensor RAK, com microcontrolador RAK4631 e sensor ambiental RAK1906 (a) e Gateway LoRaWAN RAK7289 (b)

O nó sensor foi colocado junto a um parque de lazer e a uma praia fluvial, local de afluência turística habitual.

#### 4.2. Gateway LoRaWAN

O nó sensor comunica com um gateway LoRaWAN, o RAK7289, com suporte para 16 canais LoRa, ligado por Ethernet à LAN do edifício onde está instalado e alimentado por PoE. A sua configuração é simples, através de uma plataforma web disponibilizada pelo próprio equipamento. O equipamento foi configurado para ter como servidor de rede a plataforma The Things Network, que fará a gestão da comunicação entre o gateway e o servidor aplicacional.

O gateway foi implementado no topo de um edifício (Figura 4-b), a cerca de 1,3 Km do nó sensor sem linha de vista, em ambiente urbano com edifícios e pequena colina pelo meio. A sua localização não é a ideal, mas mostrou a potencialidade do sistema, e a sua implementação em local mais estratégico permitiria alcançar uma um raio de alcance razoável, mesmo em ambiente urbano.

#### 4.3. Servidor de Rede

Para fazer a interface entre os nós LoRaWAN e o servidor aplicacional é usado um servidor de rede. No protótipo implementado foi usado como servidor de rede o The Things Network (TTN), uma plataforma de utilização gratuita. Esta plataforma promove

a participação de comunidades locais para a instalação de gateways, promovendo a expansão da rede de forma colaborativa e com custos reduzidos.

#### 4.4. Servidor local

O servidor local foi implementado numa máquina virtual (MV), servindo como ambiente de desenvolvimento mais seguro e controlável. Para simplificar o processo de comunicação com a Internet foi usado o ngrok, que cria um túnel da MV para a rede pública, expondo assim as componentes da camada de aplicação e serviços, sendo usado *Reverse-Proxy* para encaminhar as solicitações de URL do utilizador, permitindo assim também futuro uso de balanceamento de carga.

Na componente de aplicação e serviços é disponibilizado o acesso público a um painel de visualização, desenvolvido em ReactJS com Bootstrap, para que habitantes locais ou turistas possam aceder livremente aos dados adquiridos pelos sensores, entre outros. Estes dados por sua vez são adquiridos através de *Web Requests* a uma Web API desenvolvida em Python com FastAPI. A criação de uma Web API visa expandir a possibilidade de integração com outros serviços ou aplicações externas, promovendo assim a política de partilha de dados.

Na componente de armazenamento, encontram-se as duas Bases de Dados (BD) usadas, uma BD Relacional (MySQL) e uma BD de Séries Temporais (InfluxDB). A BD relacional (MySQL) é usada com o propósito de guardar dados informativos relativos aos sensores e gateways, tais como a sua localização ou quais as gradezes sensoriais medidas (e.g., temperatura). Por outro lado, a BD NoSQL (InfluxDB) é otimizada para guardar dados temporais, tais como valores de ações e dados de sensores, sendo assim usada para guardar os dados capturados pelos sensores. A ligação entre as duas BDs, mais especificamente, entre o sensor e os seus dados temporais é feita através da atribuição de um UUID partilhado pelas duas BDs.

#### 4.5. Plataforma de visualização de dados

Embora vários componentes sejam usados para adquirir e gerir os dados capturados pelos sensores, estes não são facilmente acessíveis ou interpretados pelo utilizador final. Torna-se, assim, necessário o desenvolvimento duma plataforma de visualização de dados, tendo-se optado por uma solução baseada na web.

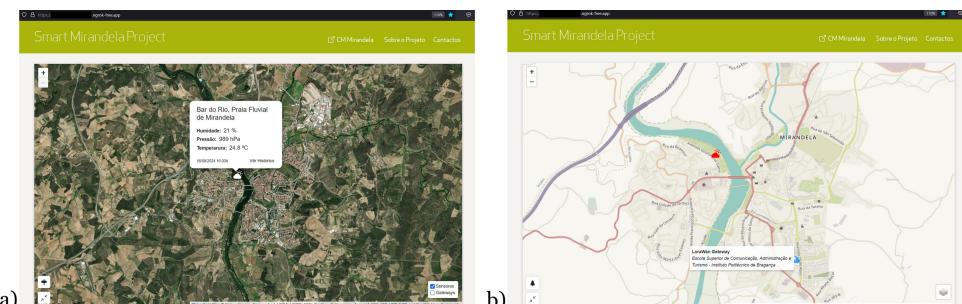


Figura 5 – Mapa dos Sensores em Modo Satélite, com pop-up e dados (a), e em Modo Terreno, com a camada Gateways selecionada (b).

Na Figura 5-a é apresentado o mapa, em modo satélite, centrado em Mirandela (Portugal) e com a localização dos sensores, adquirida do MySQL, tendo-se optado nesta fase de desenvolvimento pela colocação do nó sensor na Praia Fluvial de Mirandela como exemplificação de caso de uso. Neste mapa, é possível ver também os dados mais recentes capturados pelo sensor - e guardados no InfluxDB (Figura 6-b) - através do uso de um pop-up que aparece ao clicar no sensor em questão, sendo possível ver mais informações relativas a este clicar em “Ver Histórico”. O utilizador pode também manipular o mapa com zoom e arrastar até certos limites, neste caso o limite da cidade, assim como alterar o modo do mapa (Satélite/Terreno) ou selecionar as camadas a serem visualizadas.

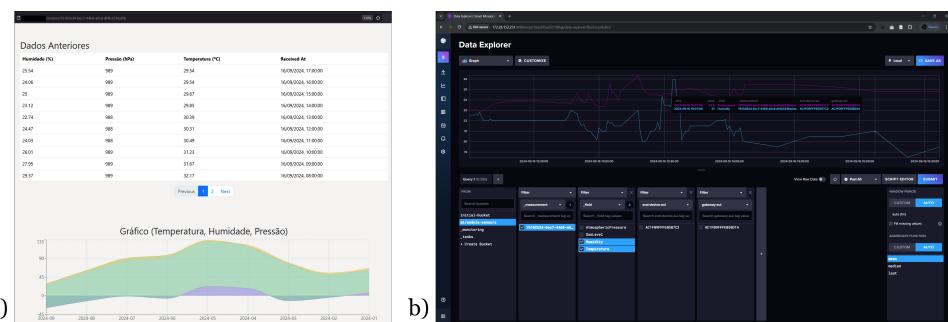


Figura 6 – Página de Visualização de Dados com Listagem e Gráfico (a) e Interface de Administração do InfluxDB (b).

Relativamente à Figura 5-b, a informação é similar, no entanto é apresentado o mapa em modo terreno, sendo possível ver os *gateways* ao selecionar a camada “Gateways”. Ao clicar em “Ver Histórico” o utilizador é direcionado a outra página onde são apresentados os dados adquiridos até ao momento (Figura 6-a).

Os dados mostrados na figura são de teste, com objetivo de melhor explorar as possibilidades de visualização de dados. Para além de dados temporais, onde o utilizador pode filtrar o intervalo de tempo (e.g., últimas 24 horas, semana, mês, ano) ou espaço temporal específico (e.g., nas duas primeiras semanas de julho de 2022), está também planeado apresentar informações relativas ao sensor em questão, de forma a conscientizar o utilizador para as tecnologias IoT, assim como promover a sua adaptação por infraestruturas (e.g., hotéis, museus, escolas).

## 5. Conclusões

A criação de cidades inteligentes tem emergido um pouco por todo o mundo. A evolução deste processo tem sido suportada e cadenciada por um conjunto de tecnologias consolidadas, ainda que com diferentes estágios de maturidade. A existência das condições mais entusiasmantes para se criarem espaços inteligentes, e uma análise custo-benefício, tem favorecido os territórios com alta densidade populacional – as grandes cidades – que se relevam ambientes complexos e altamente interligados.

Contudo, a gestão dos países exige a implementação de estratégias que promovam a coesão territorial e a justiça social. Neste contexto, urge pensar nos territórios de baixa densidade, implementando nestes os mesmos conceitos base das cidades inteligentes, obviamente adaptados à diferente realidade que estes últimos apresentam. Caminhar neste sentido, exige a criação de soluções à medida da realidade e necessidades dos territórios de baixa densidade, que sejam capazes de um maior pragmatismo na sustentabilidade dessas soluções.

Este trabalho apresenta um modelo conceitual e tecnológico para uma região inteligente, tendo por base soluções tecnológicas ajustadas ao cenário de uma pequena cidade, e sendo prototipado num espaço de testes que permitirá consolidar o caminho a percorrer para que o conceito de espaço inteligente seja transversal a todos os territórios, de uma forma equitativa.

A implementação de soluções tecnológicas em territórios de baixa densidade são, tipicamente, desafiantes, apresentando custos elevados e enfrentando limitações na infraestrutura de comunicação. Os custos iniciais de implementação de um sistema inteligente em zonas com população reduzida dificultam a sua viabilidade económica e a dificuldade na obtenção de financiamento. O protótipo implementado testa uma solução global de custo reduzido, um fator decisivo para a sua aceitação, baseada numa infraestrutura de comunicação também de baixo custo e de baixo consumo energético, fundamental em zonas remotas e de mais difícil acesso. O cariz colaborativo do modelo proposto será relevante para permitir a escalabilidade sustentada do sistema com base na participação comunitária e a democratização no acesso aos dados e permitem a otimização dos recursos existentes bem como a distribuição dos custos de manutenção.

## Agradecimentos

Este trabalho foi suportado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC): UNIAG, UIDB/04752/2020 (DOI 10.54499/UIDB/04752/2020) e UIDP/04752/2020 (DOI 10.54499/UIDP/04752/2020).

Os autores gostariam de agradecer à Câmara Municipal de Mirandela, Portugal, por toda a colaboração e apoio prestado a este trabalho.

## Referências

- Bi, F., & Liu, H. (2022). Machine learning-based cloud IOT platform for intelligent tourism information services. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2022(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-022-02138-y>
- Buhalis, D., & Amaranggana, A. (2013). Smart Tourism Destinations. In Z. Xiang & I. Tussyadiah (Eds.), *Information and Communication Technologies in Tourism 2014* (pp. 553–564). Springer International Publishing.
- Chung, N., Lee, H., Ham, J., & Koo, C. (2021). Smart Tourism Cities' Competitiveness Index: A Conceptual Model. In W. Wörndl, C. Koo, & J. L. Stienmetz (Eds.), *Information and Communication Technologies in Tourism 2021* (pp. 433–438). Springer International Publishing.

- Correia, D., Marques, J. L., & Teixeira, L. (2023). Assessing and Ranking EU Cities Based on the Development Phase of the Smart City Concept. *Sustainability*, 15(18), 13675.
- Dahir, U. M., Hashi, A. O., Abdirahman, A. A., Elmi, M. A., & Rodriguez, O. E. R. (2024). Using IoT and Machine Learning for Enhanced Home Energy Management in Somalia. *SSRG International Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 11(6), 108–116. <https://doi.org/10.14445/23488379/IJEEE-V11I6P112>
- Dener, M. (2019). The role of cloud computing in smart cities. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 7, 39–43.
- Dias, G. P. (2018). Smart cities research in Portugal and Spain: An exploratory bibliometric analysis. In *2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–6.
- Doerr, J., Hess, A., & Koch, M. (2018). RE and society-a perspective on RE in times of smart cities and smart rural areas. In *2018 IEEE 26th International Requirements Engineering Conference (RE)*, 100–111.
- Ertürk, M. A., Aydin, M. A., Büyükkaktaşlar, M. T., & Evirgen, H. (2019). A Survey on LoRaWAN Architecture, Protocol and Technologies. *Future Internet*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/fi11100216>
- Hall, R. E., Bowerman, B., Braverman, J., Taylor, J., Todosow, H., & Von Wimmersperg, U. (2000). The vision of a smart city. Brookhaven National Lab.(BNL).
- Huang, K., & Zhu, J. (2024). A Novel Method for Reducing Vehicle Emissions Utilizing IoT-Based IS-APCPSO Algorithm. *Applied Artificial Intelligence*, 38(1). <https://doi.org/10.1080/08839514.2024.2344144>
- Incezan, D., & Prádanos, L. I. (2017). A critical view on smart cities and AI. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 60, 681–686.
- Jiang, H., Geertman, S., & Witte, P. (2023). The contextualization of smart city technologies: An international comparison. *Journal of Urban Management*, 12(1), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.09.001>
- José, R., & Rodrigues, H. (2024). A Review on Key Innovation Challenges for Smart City Initiatives. *Smart Cities*, 7(1), 141–162. <https://doi.org/10.3390/smartcities7010006>
- Lin, Y. (2020). Automatic recognition of image of abnormal situation in scenic spots based on Internet of things. *Image and Vision Computing*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2020.103908>
- Liu, J., Hall, C. M., Zhu, C., & Ting Pong Cheng, V. (2024). Redefining the concept of smart tourism in tourism and hospitality. *Anatolia*, 35(3), 566–578.
- Lukita, C., Pangilinan, G. A., Chakim, M. H. R., & Saputra, D. B. (2023). Examining the impact of artificial intelligence and internet of things on smart tourism destinations: A comprehensive study. *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, 5(2sp), 135–145.

- Ma, H. (2024). Development of a smart tourism service system based on the Internet of Things and machine learning. *Journal of Supercomputing*, 80(5), 6725–6745. <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05719-w>
- Mdegela, L., De Bock, Y., Luhanga, E., Leo, J., & Mannens, E. (2023). Monitoring Kikuletwa river levels in northern Tanzania: A data set unlocking insights for effective flood early warning systems. *Data in Brief*, 49, 109395. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109395>
- Morais, E. P., Cunha, C. R., & Mendonça, V. (2022). Tourism and Internet of Things: A Bibliometric Analysis of Scientific Production from the Scopus Database. *Communications in Computer and Information Science*, 1676 CCIS, 244–255. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20316-9\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20316-9_19)
- Morais, E. P., Cunha, C. R., Sousa, J. P., & Dos Santos, A. C. (2016). Information and communication technologies in tourism: Challenges and trends. *Proceedings of the 27th International Business Information Management Association Conference - Innovation Management and Education Excellence Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth*, IBIMA 2016, 1381–1388. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84984620720&partnerID=40&md5=27de6fa06bcc08293f77a9cad6b70644>
- Rizzon, F., Bertelli, J., Matte, J., Graebin, R. E., & Macke, J. (2017). Smart City: um conceito em construção. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, 7(3), 123–142.
- Ronoh, E. K., Mirau, S., & Dida, M. A. (2022). Human-Wildlife Conflict Early Warning System Using the Internet of Things and Short Message Service. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 12(2), 8273–8277. <https://doi.org/10.48084/etasr.4662>
- Sinha, P. K., Akhtar, M. A. K., & Kumar, A. (2024). Impact of Internet of Things Applications in Smart Villages.
- Suanpang, P., & Jamjuntr, P. (2019). A smart farm prototype with an Internet of Things (IoT) case study: Thailand. *Technology*, 5(12), 15.
- Suanpang, P., & Pothipassa, P. (2024). Integrating Generative AI and IoT for Sustainable Smart Tourism Destinations. *Sustainability*, 16(17), 7435.
- Tan, L., Xiao, H., Yu, K., Aloqaily, M., & Jararweh, Y. (2021). A blockchain-empowered crowdsourcing system for 5G-enabled smart cities. *Computer Standards & Interfaces*, 76, 103517. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csi.2021.103517>
- Toste, A. A., Moura, D. C. M. C., & Aguiar, L. (2022). Smart Cities: How Can Low-Density Territory Populations Be Smart Tourist Destinations? The Case of Guarda. In *Implementing Automation Initiatives in Companies to Create Better-Connected Experiences* (pp. 233–258). IGI Global.
- Zhou, Y. (2024). Dynamic load prediction of charging piles for energy storage electric vehicles based on Space-time constraints in the internet of things environment. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 26(1). <https://doi.org/10.1515/ijeepls-2023-0323>