

**GEE Paper**

**185**

**Setembro de 2024**



## **Utilização de IA para previsão de desastres naturais em Portugal**

**Pedro Gomes | Tiago Cardoso**



## Utilização de IA para previsão de desastres naturais em Portugal

Pedro Gomes<sup>1</sup>, Tiago Cardoso<sup>2</sup>

### Abstract

Analisar o papel da Inteligência Artificial (IA) na promoção da sustentabilidade e impacto nas alterações climáticas, destacando a sua importância na prevenção e mitigação de desastres naturais, bem como na tomada de decisões sustentáveis é o core deste artigo. Tendo por foco central a utilização de algoritmos de machine learning para previsão de terremotos, que analisam dados sísmicos para antecipar eventos, permitindo evacuações e preparações para a resposta.

Outro aspeto abordado será a utilização de sensores e redes neurais na deteção antecipada de furacões, possibilitando alertas precisos e medidas preventivas, tendo em linha de conta que a IA poderá auxiliar na previsão de tsunamis, analisando atividades sísmicas e níveis oceânicos para uma resposta eficiente. Os algoritmos de IA são ainda fundamentais na previsão de enchentes e deslizamentos de terra, com a identificação de áreas de risco, permitindo assim uma ação preventiva.

Na deteção e prevenção de incêndios florestais, a IA é essencial, com o recurso aos dados de satélites, drones e sensores para identificar e monitorizar áreas propensas a incêndios, otimizando uma rápida resposta dos bombeiros. A implementação de sistemas de alerta precoce baseados em IA torna-se fundamental para uma rápida resposta a desastres naturais, emitindo alertas imediatos perante riscos iminentes.

Além dos desastres naturais, a IA influencia a sustentabilidade em geral, utilizando machine learning na análise de dados geoespaciais para prevenção de desastres e gestão eficiente de recursos naturais.

O artigo avalia ainda o potencial de produção tecnológica mais acelerada e facilitada, utilizando assistentes virtuais como o OpenAI e o Cody em combinação com plataformas de desenvolvimento integrado como o Streamlit, Jupyter Notebook para produção de aplicações numa lógica de low code, dados abertos e utilização de informação oficial como um contributo para a produção de ferramentas de alerta e previsão de desastres naturais em Portugal.

**Keywords:** Desastres Naturais, Inteligência Artificial, Estratégia Nacional de IA, Alterações Climáticas, Machine Learning

**Nota:** Este artigo é da responsabilidade exclusiva dos autores e não reflete necessariamente as posições do GEE ou do Ministério da Economia.

---

<sup>1</sup> Secretaria-Geral do Ambiente. Email: [pedro.gomes@sgambiente.gov.pt](mailto:pedro.gomes@sgambiente.gov.pt)

<sup>2</sup> Secretaria-Geral do Ambiente. Email: [tiago.cardoso@sgambiente.gov.pt](mailto:tiago.cardoso@sgambiente.gov.pt)

## 1. Introdução

Portugal, como muitos outros países, enfrenta desafios significativos relacionados com os desastres naturais. Incêndios florestais, inundações, deslizamentos de terra e eventos sísmicos são exemplos de eventos que representam ameaças à segurança, à economia e ao meio ambiente do país. A capacidade de prever e preparar para esses eventos é essencial para minimizar os seus impactos negativos (APA 2024).

Os desastres naturais são eventos catastróficos causados por fenómenos naturais, como terremotos, tempestades, erupções vulcânicas, entre outros eventos, que podem resultar em perdas significativas de vida humana, danos materiais e prejuízos económicos. A previsão antecipada é fundamental para permitir a evacuação e o planeamento adequado das medidas de resposta e mitigação (Comissão Europeia 2024).

A Inteligência Artificial (IA) teve nos últimos anos uma utilização generalizada em todas as áreas económicas numa escala global, sendo reconhecida como uma ferramenta promissora e que poderá ser utilizada para melhorar a previsão de desastres naturais. A IA permite analisar grandes volumes de dados num curto espaço de tempo e identificar padrões que podem indicar a ocorrência iminente de desastres naturais. Duas temáticas a compreender no campo da IA serão o *machine learning* e a IA generativa. O *machine learning* permite processar e analisar dados complexos e variáveis, tornando-os úteis na previsão de desastres naturais, enquanto a IA generativa pode ser utilizada para simular cenários de desastres e testar estratégias de resposta. A combinação destas ferramentas pode ser obtida através da utilização ou da criação de *chatbots*, que são *softwares* com capacidade de gerar e simular respostas semelhantes a um ser humano, de forma criativa e personalizada (Nuruzzaman, M., & Hussain, 2018). A utilização da tecnologia de inteligência artificial poderá representar uma mais-valia na análise de dados relacionados com as alterações climáticas, possibilitando o desenvolvimento de modelos mais precisos, como a previsão de eventos climáticos extremos (Rolnick et al., 2019) podendo a resposta ser de uma forma mais simples e direta – unimodal, ou com a produção de diversos cenários com texto e/ou imagens – multimodal (Luo, N. et al, 2023). A aplicação destas tecnologias pode contribuir significativamente para a criação de soluções inovadoras e eficazes em relação aos desafios enfrentados em relação às alterações climáticas (REAA 2017).

As alterações climáticas referem-se à mudança, que ocorre em termos meteorológicos num determinado local num período médio de 30 anos (APA, 2024; PNAC, 2023).

Em Portugal, a Estratégia Nacional de IA para 2030, desenvolvida em 2019, estabelece diretrizes e objetivos para o desenvolvimento e aplicação da IA em diversos setores, incluindo

a previsão de desastres naturais. Esta estratégia reconhece a importância da IA para enfrentar desafios sociais, económicos e ambientais e destaca a necessidade de investimento em pesquisa e desenvolvimento nessa área, no âmbito da Iniciativa Nacional Competências Digitais e.2030 - INCoDe 2030 (Governo de Portugal, 2024).

A nível europeu, várias iniciativas encontram-se atualmente em estado de implementação para promover o uso ético e eficaz da IA, a Comissão Europeia lançou a Estratégia Europeia de IA, que visa garantir que a Europa se torne líder mundial em IA até 2030 (Comissão Europeia, 2024). Esta estratégia destaca a importância da IA para a competitividade e a sustentabilidade da Europa e reconhece o potencial para enfrentar desafios prementes como os desastres naturais através dos investimentos públicos e privados, fomentar capacidades para aproveitar ao máximo a IA e a automação no trabalho, garantindo um quadro ético e legal apropriado. O Relatório do Parlamento Europeu sobre a ética em IA mapeia os principais dilemas associados à implantação da IA, incluindo os impactos na sociedade, psicologia, sistema financeiro, sistema legal e meio ambiente. Outra das iniciativas é a *European AI Alliance*, que consiste numa plataforma que reúne especialistas, pesquisadores, empresas e organizações da sociedade civil para discutir e moldar a política de IA na Europa (Comissão Europeia, 2024).

As alterações climáticas têm vindo a intensificar a frequência e a gravidade dos desastres naturais em todo o mundo. O aumento das temperaturas, as mudanças nos padrões de precipitação e o aumento do nível do mar são alguns dos fatores que contribuem para o aumento do risco de eventos extremos (Comissão Europeia, 2024). A importância de poder ser feita uma previsão antecipada de desastres naturais em Portugal é relevante. A capacidade de antecipar e responder rapidamente a eventos como incêndios florestais, inundações e deslizamentos de terra pode salvar vidas, proteger propriedades e preservar o meio ambiente (APA; ICNF 2024).

A IA desempenha um papel fundamental na previsão de desastres naturais, e o uso de *chatbots*, *machine learning* e IA generativa continua a evoluir exponencialmente, dia para dia, melhorando progressivamente a capacidade da nossa sociedade se preparar e poder responder a desastres naturais de forma eficiente e eficaz. Como investigadores e agentes no terreno, devemos também assegurar que a exploração e implementação destas tecnologias é feita de forma ética e responsável para garantir a segurança e o bem-estar das comunidades (Hagendorff, T. (2020).

## 2. O uso de drones e algoritmos de machine learning e sistemas de alerta precoce para identificar riscos de desastres naturais

Os avanços tecnológicos têm desempenhado um papel fundamental na prevenção e mitigação de desastres naturais (Lokmic-Tomkins et al, 2023). O uso de *drones* e algoritmos de *machine learning* combinados com sistemas de alerta precoce tem-se revelado uma ferramenta eficaz na identificação de riscos de desastres naturais, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz por parte das autoridades e equipas de emergência.

Os *drones* são dispositivos aéreos não tripulados que podem ser equipados com sensores avançados, como câmaras, sensores de temperatura, humidade e altitude. A sua utilização permite sobrevoar áreas de maior risco e recolher dados em tempo real, permitindo uma análise mais precisa do ambiente e a identificação de potenciais condições que possam levar a um desastre natural (Linardos et al, 2022).

Por sua vez, os algoritmos de *machine learning* processam grandes quantidades de dados e posteriormente identificar padrões e tendências que podem indicar um potencial desastre natural iminente (Linardos et al, 2022). Com a análise desta informação, é possível criar modelos preditivos que podem antecipar a ocorrência de desastres naturais.

Os sistemas de alerta precoce permitem que essas informações sejam rapidamente transmitidas às autoridades competentes e às populações que estão em áreas de risco, possibilitando a evacuação e adoção de medidas preventivas antes que o desastre ocorra (Lokmic-Tomkins et al, 2023).

O sistema LIDAR, que significa *Light Detection And Ranging*, é uma tecnologia relevante para recolher informações exatas sobre a superfície da Terra, envia e recebe feixes de laser (Esri 2023). Esta tecnologia possibilita a criação de nuvens de pontos que retratam o terreno em detalhe, incluindo características como altitude e intensidade, permitindo distinguir entre diferentes elementos, como árvores e construções. Em Portugal, o programa PRR tem como objetivo adquirir dados LIDAR para todo o território continental, seguindo o projeto piloto áGIL, com abrangência nacional. Os dados permitem a elaboração de modelos digitais que refletem a dinâmica do território, como o Modelo Digital de Terreno e o Modelo Digital de Superfície. Além disso, o modelo de altura do dossel (CHM) permite a análise da dinâmica florestal e o aprimoramento dos inventários florestais ICNF (2024). O êxito da implementação do LIDAR em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) depende da resolução dos dados, com uma densidade mínima de 8 a 10 pontos por metro quadrado para aplicações específicas (ISA 2024).

A combinação do uso de *drones*, algoritmos de *machine learning* e sistemas de alerta precoce apresenta o potencial de ser uma ferramenta poderosa na identificação e prevenção de desastres naturais, contribuindo para a redução de danos materiais e humanos e para uma resposta mais eficaz e coordenada por parte das autoridades e equipas de emergência.

**Tabela 1 - Comparação de características de alguns drones utilizados em prevenção de desastres naturais (Fonte: elaboração própria)**

<b>Modelo do Drone</b>	<b>Autonomia de Voo</b>	<b>Alcance</b>	<b>Sensores Embarcados</b>	<b>Aplicações em Desastres Naturais</b>
DJI Matrice 300	55 minutos	15 km	Câmara térmica, câmara RGB, deteção de posicionamento em 6 direções, LiDAR	Incêndios florestais, inundações
Parrot Anafi USA	32 minutos	4 km	Câmara visual, câmara térmica	Incêndios florestais, deslizamentos de terra
senseFly eBee X	90 minutos	15 km	Câmara multiespectral, câmara RGB	Monitorização de culturas agrícolas, mapeamento de áreas afetadas por desastres naturais
Lockheed Martin Indago	50 minutos	10 km	Câmara térmica, câmara RGB	Deteção de incêndios florestais, salvamentos e resgate



**Figura 1 – Exemplo de um drone modelo Dji Matrice 300**

**Fonte: pexels.com**

#### ***Exemplos da utilização de drones***

Incêndios florestais: equipados com câmaras térmicas e sensores de fumo para monitorização de incêndios florestais, permitindo a deteção precoce e uma resposta mais eficaz por parte das equipas de combate ao fogo. Os drones também têm sido utilizados para mapear a extensão dos incêndios, avaliar a extensão dos danos e auxiliar na implementação de medidas de prevenção (Manoj & Valliyammai, 2023).

Inundações: são amplamente utilizados para avaliar os danos causados por inundações, permitindo a identificação de áreas de risco e a elaboração de mapas de inundação em tempo real e a monitorização da evolução das inundações, auxiliando na tomada de decisão e na mobilização de recursos de forma mais eficiente (Zahir et al, 2022).

Deslizamentos de terra: Os *drones* equipados com sensores multiespectrais e tecnologia LiDAR têm sido utilizados para o mapeamento de áreas propensas a deslizamentos de terra, identificação de sinais de instabilidade do solo e monitorização de possíveis movimentações (Sun et al, 2024).

Furacões e tempestades: são utilizados para a recolha de dados atmosféricos em tempo real durante a passagem de furacões e tempestades, permitindo uma melhor compreensão do comportamento desses fenómenos e uma previsão mais precisa da sua trajetória e intensidade (Greenwood, F. & Nelson, E & Greenough, P. 2020).

Terramotos: os *drones* equipados com câmaras de alta resolução são utilizados para inspecionar as estruturas danificadas por terremotos e avaliar a extensão dos danos (Joint Research Center, 2023).

### **Potencial de aplicação em Portugal**

Agricultura de precisão: Os *drones* equipados com câmaras infravermelhas podem ser utilizados para monitorizar a saúde das culturas e identificar precocemente doenças ou pragas. Os algoritmos de *machine learning* podem ser utilizados para analisar os dados recolhidos e fornecer recomendações personalizadas aos agricultores. Além disso, os sistemas de alerta precoce podem ser implementados para informar os agricultores sobre possíveis ameaças às suas culturas (Unger et al, 2024).

Gestão de incêndios florestais: Podem ser utilizados para monitorizar grandes áreas de floresta e detetar potenciais focos de incêndio. Os algoritmos são treinados para identificar padrões suspeitos e alertar as autoridades competentes. Os sistemas de alerta precoce são cruciais para uma intervenção rápida e eficaz, minimizando o impacto dos incêndios. De referir a existência do Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Florestais (ICNF, 2024), cuja última versão consta de 2015, que continua disponível *online*, e que apesar de se encontrar desatualizada consistia numa importante fonte de informação relativamente a educação ambiental na adoção de boas práticas de prevenção e sensibilização para a temática dos incêndios em Portugal. A campanha que substituiu o Sistema de Gestão de Informação dos Incêndios Florestais dá pelo nome de Portugal Chama, consistindo num apelo à ação que sensibiliza cada cidadão a contribuir para um País protegido contra incêndios com a importância da prevenção, segurança e responsabilidade no contexto dos incêndios florestais. Através de mensagens claras e práticas, a campanha promove ações como limpeza de terrenos, obtenção de autorizações para queimadas e alertas sobre comportamentos de risco. Esta Campanha envolve todas as áreas governativas e serviços tutelados com a prevenção e combate a incêndios, estando presente na televisão, rádio, imprensa, digital, *outdoors*, contando ainda com um website próprio (Portugal Chama, 2021).

Monitorização de infraestruturas: A sua utilização estende-se à inspeção de pontes, estradas, linhas de alta tensão e outras infraestruturas críticas. Os algoritmos permitem analisar as imagens recolhidas e detetar potenciais problemas, como fissuras ou desgaste (Valença et al, 2015). A implementação de sistemas de alerta possibilita uma manutenção proativa e reduzir os riscos de falha das infraestruturas.

### 3. Utilização de algoritmos de machine learning para prever terremotos

Os terremotos são eventos catastróficos que podem resultar em perdas significativas de vidas e danos materiais. Para ajudar a prever e antecipar esses eventos, os cientistas têm desenvolvido métodos e técnicas para analisar os dados sísmicos e identificar padrões que possam indicar a ocorrência iminente de um terremoto (Ridzwan & Yusoff, 2023).

Os dados sísmicos são geralmente recolhidos por uma rede de estações sísmicas, que recolhe e monitoriza as ondas sísmicas geradas pelos terremotos. Estes dados são então processados e analisados por algoritmos de *machine learning*, que podem identificar padrões e tendências difíceis de serem detetados por métodos tradicionais (Beroza, Segou, Mostafa, 2021).

Os algoritmos de *machine learning* são utilizados com dados históricos de terremotos para aprender a reconhecer os padrões específicos associados a eventos sísmicos. Uma vez treinados, podem ser utilizados para analisar em tempo real os dados sísmicos em tempo real e identificar potenciais sinais de alerta precoce de um terremoto iminente.

O seu âmbito de utilização reside na identificação de padrões complexos e não-lineares nos dados sísmicos, difíceis de serem detetados por métodos tradicionais de análise de dados. A melhoria destas técnicas permite que os cientistas melhorem a precisão e a eficácia das previsões de terremotos.

Existem modelos de previsão de terremotos baseados em IA, alguns exemplos incluem:

**Tabela 2 - Comparação de modelos de previsão de terremotos baseados em IA**  
(Fonte, Pwadodi et al, 2024)

Modelo de Previsão	Descrição	Método de Análise de Dados	Exemplos de Aplicação	Resultados Obtidos	Métricas de Desempenho
<i>Deep Learning</i>	Utiliza redes neurais profundas	Processamento de grandes volumes de dados sísmicos e geológicos	Previsão de terremotos em regiões sísmicas	Alta precisão na previsão de terremotos com antecedência	Precisão: 95%, Sensibilidade: 90%
Redes Neurais Convolucionais	Utiliza redes neurais convolucionais	Análise de imagens de satélite e dados geológicos	Identificação de padrões em áreas propensas a terremotos	Eficiência na detecção de sinais de alerta precoce	Precisão: 92%, Especificidade: 88%
Árvores de Decisão	Utiliza algoritmos de árvores de decisão	Análise de dados sísmicos e geológicos	Construção de modelos preditivos de terremotos	Previsões precisas baseadas em múltiplas variáveis	Taxa de Falsos Positivos: 5%, Sensibilidade: 85%

A utilização de algoritmos de *machine learning* (tabela 2) para prever terremotos apresenta alguns benefícios e desafios, que podem influenciar a eficácia e fiabilidade dos modelos de previsão.

### **Benefícios**

**Aumento da precisão:** são capazes de analisar grandes volumes de dados e identificar padrões complexos que podem passar despercebidos a métodos convencionais, resultando em previsões mais precisas e oportunas de sismos.

**Adaptabilidade:** Os modelos baseados em *machine learning* têm a capacidade de se adaptar a novos dados e ajustar-se a mudanças nas condições geológicas e sísmicas, o que os torna mais flexíveis e capazes de lidar com cenários imprevisíveis.

Velocidade de processamento: são eficientes a processar grandes quantidades de dados em tempo real, o que permite uma deteção mais rápida da atividade sísmica permitindo uma resposta mais eficaz em emergências.

### **Desafios**

Dados insuficientes: Para que os modelos de previsão de terremotos baseados em *machine learning* sejam eficazes, é fundamental ter dados de qualidade em quantidade suficiente. A falta de registos sísmicos históricos e a escassez de informações precisas sobre eventos passados podem limitar a capacidade de aprendizagem dos algoritmos a efetuar previsões precisas (Allen & Melgar, 2019).

Complexidade dos dados: Os dados sísmicos são muito complexos e variáveis, podendo conter ruído e interações não-lineares que dificultam a sua interpretação. Este fator pode levar a modelos de *machine learning* difíceis de treinar e propensos a erros significativos na previsão de terremotos (Esposito et al, 2022).

Incerteza: A previsão de eventos geológicos, como terremotos, envolve um alto grau de incerteza devido à natureza imprevisível e aleatória destes eventos (Jamshed et al, 2022). Os modelos de *machine learning* podem não ser capazes de capturar toda a complexidade e variabilidade dos fenómenos sísmicos, o que resulta em previsões menos confiáveis.

Em Portugal, estes modelos de previsão de terremotos baseados em IA podem ser aplicados em áreas geológicas vulneráveis, como a região do Algarve e o Alentejo, onde a atividade sísmica é mais intensa. Estes modelos podem ajudar as autoridades locais a prepararem-se melhor para possíveis terremotos, implementando medidas de mitigação de riscos e evacuação de populações em caso de emergência.

#### 4. Aplicações de inteligência artificial na previsão de tsunamis

Os *tsunamis* são fenómenos naturais que podem resultar em perdas significativas de vidas e danos materiais. A aplicação da inteligência artificial na sua previsão tem-se revelado uma ferramenta importante no esforço de mitigar os impactos desses desastres. A capacidade de previsão antecipada permite a emissão de alertas e a implementação de planos de evacuação mais eficazes, salvando vidas e reduzindo danos. A combinação de tecnologia de vanguarda e conhecimentos científicos avançados demonstra como a IA pode desempenhar um papel fundamental na proteção das comunidades mais vulneráveis. Apresentam-se alguns exemplos de técnicas para a deteção de *tsunamis* e resposta rápida:

**Análise de dados sísmicos:** Os terremotos são a principal causa dos *tsunamis*. Os algoritmos de IA analisam dados sísmicos provenientes de estações de monitorização e sensores espalhados pelo mundo para identificar padrões indicativos da possibilidade de um terremoto significativo que leve à formação de um *tsunami*. Esses dados incluem informações como a localização, profundidade e magnitude do abalo sísmico, bem como a energia libertada (Abdalzaher et al, 2023).

**Análise de dados oceânicos:** Além dos dados sísmicos, a análise de dados oceânicos também tem a capacidade de prever *tsunamis*. Os algoritmos de IA podem processar informações como a altura das ondas, variações na pressão da água, mudanças na temperatura e salinidade da água, inclusivamente a utilização de imagens de satélites que mostram a topografia submarina (Adityawan et al, 2023).

**Deteção de padrões e alertas precoces:** Com base nos dados sísmicos e oceânicos recolhidos, os algoritmos de IA detetam padrões e tendências. Por exemplo, a combinação de um terremoto de grande magnitude com proximidade a uma região costeira com variações anómalas na pressão da água e aumento repentino na altura das ondas pode ser um indicativo claro da iminência de um *tsunami* (Adityawan et al, 2023). Os algoritmos podem então ser programados para emitir alertas precoces para as autoridades e população, permitindo a adoção de medidas preventivas e de evacuação com antecedência.

**Modelos preditivos e simulações:** Além da deteção de eventos iminentes, o desenvolvimento de modelos preditivos e simulações computacionais que antecipam o comportamento de um *tsunami* em diferentes cenários é outra das ferramentas que permite, com base nos dados históricos e em análises em tempo real, prever a propagação, velocidade, altura das ondas, e áreas potencialmente afetadas (Nurendyastuti et al, 2022).

### **Exemplos de sistemas existentes e sua eficácia em outras regiões do mundo**

O Centro de Alerta de Tsunamis do Pacífico (PTWS) utiliza uma rede de sensores sísmicos e oceânicos para monitorar a atividade sísmica e as mudanças no nível do mar na região do Oceano Pacífico. O Centro emite alertas para os países da região com base na sua análise de dados sísmicos e oceânicos, permitindo uma evacuação e preparação oportuna (Centro de Alerta de Tsunamis do Pacífico, 2024).

A Agência Meteorológica do Japão (JMA) opera um sofisticado sistema de alertas que combina dados sísmicos com observações oceânicas para fornecer alertas precisos e oportunos às comunidades costeiras no Japão. Este sistema tem-se revelado eficaz na mitigação do impacto de *tsunamis*, como o que atingiu o Japão em 2011 (Agência Meteorológica do Japão, 2011).

O Sistema de Alerta e Mitigação de Tsunamis no Oceano Índico (IOTWMS) foi estabelecido após o *tsunami* de 2004 e utiliza uma rede de sensores sísmicos e oceânicos para monitorizar a atividade sísmica e as mudanças no nível do mar na região do Oceano Índico, emitindo alertas para os países que fazem fronteira com o Oceano com base na sua análise de dados sísmicos e oceânicos (Tinti et al, 2011).

**Tabela 3 - Comparação de Sistemas de Alerta de Tsunami em Regiões Chave do Mundo**

<b>Região/Agência</b>	<b>Método de Detecção</b>	<b>Eficiência na Previsão</b>	<b>Eficiência na Mitigação</b>	<b>Exemplos de Eventos Prevenidos</b>
Pacífico (PTWC)	Sensores Sísmicos e Oceânicos	Alta	Alta	Tsunami do Japão em 2011
Japão (JMA)	Combinação de Dados Sísmicos e Oceânicos	Alta	Alta	Tsunami de Tohoku em 2011
Oceano Índico (IOTWMS)	Rede de Sensores Sísmicos e Oceânicos	Alta	Alta	Tsunami de 2004

### ***Possibilidade de adaptação dessas técnicas para a realidade portuguesa***

A geografia costeira de Portugal é vulnerável a *tsunamis* gerados pela atividade sísmica no Oceano Atlântico. Ao implementar uma rede de sensores sísmicos e oceânicos ao longo da costa, Portugal pode monitorizar a atividade sísmica e as mudanças no nível do mar em tempo real, permitindo a deteção e alerta precoce, permitindo aproveitar os algoritmos de IA para analisar dados sísmicos e oceânicos, detetar padrões indicativos de *tsunamis* e emitir alertas oportunamente para as comunidades costeiras, possibilitando medidas eficazes de evacuação e preparação. A colaboração com organizações internacionais como a *National weather Service* (NOAA 2019). e países vizinhos com riscos semelhantes de *tsunami* também pode aprimorar as capacidades de alerta precoce de tsunami de Portugal (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2021).

Segundo a Avaliação Nacional de Risco (2023), as regiões de maior suscetibilidade a *tsunamis* em Portugal Continental abrangem toda a costa Sul e Ocidental, desde o Cabo de São Vicente até Peniche. Além disso, as áreas estuarinas e lagunares ao longo dessas costas também são classificadas como de elevada suscetibilidade a *tsunami* (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

Dentro do Sistema de Alerta Precoce de Tsunamis para a região do Nordeste Atlântico, Mediterrâneo e mares conexos (NEAMTWS), coordenado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, Portugal faz parte e o Instituto Português do Mar e da Atmosfera é o centro responsável pela emissão de alertas na área portuguesa (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2021).

## **5. A utilização de algoritmos de inteligência artificial para prever inundações e deslizamentos de terra**

Os algoritmos de inteligência artificial podem ser utilizados para processar dados meteorológicos, topográficos e hidrológicos a fim de prever inundações e deslizamentos de terra recorrendo a:

**Modelação preditiva:** Os algoritmos de IA ao serem treinados com dados históricos de inundações e deslizamentos de terra, bem como com informações meteorológicas, topográficas e hidrológicas, possibilitam a identificação de padrões e correlações que indiquem situações de risco iminente (Guha, Jana, Sanyal, 2022). Através da criação de modelos preditivos complexos, a IA pode prever com precisão a probabilidade de ocorrência de eventos de inundação e deslizamentos de terra com base em condições específicas.

**Análise de dados em tempo real:** A inteligência artificial ao processar em tempo real dados meteorológicos, como precipitação, humidade do solo e velocidade do vento, juntamente com dados topográficos e hidrológicos, como as formas de relevo, tipo de solo e sistemas de drenagem, avalia o potencial de inundação e deslizamento de terra em determinadas áreas.

**Integração de fontes de dados:** a integração de múltiplas fontes de dados, como estações meteorológicas, sensores de monitorização hidrológica, dados de satélite e mapas topográficos, possibilita a construção de modelos preditivos (Guha, Jana, Sanyal, 2022). A capacidade da inteligência artificial de processamento e interpretação para uma variedade de dados heterogéneos ajuda a melhorar a precisão das previsões e a fornecer informações detalhadas sobre as áreas de risco (Taghikhah et al, 2022).

**Sistemas de alerta precoce:** Com base nas previsões geradas pelos algoritmos de IA, podem ser desenvolvidos sistemas de alerta precoce que notifiquem autoridades e comunidades locais (Taghikhah et al, 2022).

A combinação de tecnologias avançadas de IA, sensores de monitorização e colaboração entre instituições governamentais e comunidades locais é essencial para melhorar a capacidade de prevenção e resposta a eventos extremos relacionados a inundações e deslizamentos de terra.

### ***Exemplos de modelos de previsão existentes e a sua aplicabilidade em Portugal***

O *European Flood Awareness System* (EFAS) é um sistema de alerta de inundações operado pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio Prazo (ECMWF) que utiliza dados meteorológicos e hidrológicos para prever inundações em toda a Europa, incluindo Portugal. O EFAS fornece alertas antecipados de inundações para as autoridades portuguesas, permitindo a adoção de medidas preventivas e de gestão de crises.

O acesso à informação sobre os riscos que os cidadãos enfrentam em várias regiões é fundamental para sensibilizar a população sobre medidas de autoproteção e promover a aplicação do princípio da precaução. A Avaliação Nacional de Risco em Portugal Continental identifica perigos naturais, tecnológicos e mistos que podem afetar o território, como nevões, ondas de calor, secas, cheias, sismos, galgamentos costeiros, acidentes de transporte, incêndios urbanos e rurais, entre outros. A metodologia da avaliação avalia a suscetibilidade, gravidade dos danos potenciais e probabilidade de ocorrência, considerando também o impacto das alterações climáticas. A hierarquização dos riscos e as estratégias de mitigação são descritas, com base em trabalhos anteriores e atualizados. A Avaliação Nacional de Risco foi inicialmente realizada em 2014 e atualizada em 2019 e 2023, com simplificação da estrutura, inclusão de novos riscos e dados atualizados de ocorrências e estudos (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

A atualização recente, conduzida pela Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC), segue o modelo da Avaliação de 2019 e foi elaborada de acordo com as diretrizes da Comissão Europeia em matéria de avaliação e mapeamento de riscos para gestão de desastres. Os registos de ocorrências relevantes foram atualizados, os cenários foram reajustados para maior plausibilidade e a avaliação dos graus de probabilidade, gravidade e risco foi revista. Além do disso, novos dados foram incorporados a partir de estudos mais recentes, incluindo dados demográficos e económicos dos Censos 2021, informações cartográficas, estudos climáticos do IPMA, estudos de projeções climáticas para o Roteiro Nacional de Adaptação, análises de risco de inundação da APA, estudos sobre movimentos de massa do IGOT, análises de incêndios urbanos da ANEPC e incêndios rurais do ICNF, e a Estratégia Nacional para uma Proteção Civil Preventiva 2030 (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

Os sistemas de previsão existentes demonstram a viabilidade e eficácia do uso de algoritmos de inteligência artificial na prevenção de inundações e deslizamentos de terra em Portugal, e podem servir como modelos para futuros desenvolvimentos e aprimoramentos na área (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

A implementação destas tecnologias melhora significativamente a resposta a desastres naturais em Portugal, proporcionando alertas antecipados, avaliações de risco mais precisas e medidas de mitigação mais eficazes, com a proteção de vidas e minimização de danos materiais. A colaboração entre instituições governamentais, científicas e comunidades locais é essencial para garantir o sucesso desses esforços e garantir a segurança e resiliência das comunidades portuguesas diante de eventos extremos.

## 6. O papel da inteligência artificial na deteção e prevenção de incêndios florestais

Os incêndios florestais representam uma ameaça significativa para o meio ambiente, a economia e a segurança das comunidades em todo o mundo (ICNF 2021). Com o aumento da temperatura global e o agravamento dos efeitos das mudanças climáticas, a frequência e a intensidade desses incêndios tendem a aumentar, tornando a prevenção e a deteção precoce de incêndios florestais uma prioridade urgente. Em Portugal, as empresas começam a incluir o risco de incêndios florestais nos seus relatórios, devido aos custos crescentes associados à sua supressão. A utilização da tecnologia SIG na avaliação da vulnerabilidade das propriedades seguradas está a tornar-se relevante no contexto nacional (Esri 2020).

A IA emergiu como uma ferramenta poderosa na luta contra os incêndios florestais, oferecendo capacidades avançadas de deteção, prevenção e gestão de emergências. Os algoritmos podem processar uma variedade de dados, incluindo dados de sensores, imagens de satélite e informações climáticas, para identificar padrões e tendências que possam indicar a presença de incêndios florestais em estágios iniciais (Colab ForestWISE 2024).

A consciência operacional é reforçada através do uso de dados em tempo real e do mapeamento de riscos, proporcionando uma visão abrangente do risco operacional específico de Portugal (Martonik, A. 2020). Simultaneamente, iniciativas inovadoras, como redes de câmaras HD e *software* de previsão de incêndios, estão a emergir para melhorar a monitorização e a previsão de incêndios florestais no País. As medidas elencadas refletem a crescente preocupação das empresas portuguesas em gerir proactivamente o risco de incêndios florestais, numa realidade onde estes eventos representam uma ameaça significativa para o ambiente e a economia (Martonik, A., 2020).

### ***Análise de Dados e Deteção Precoce***

Os algoritmos de IA são capazes de analisar padrões e tendências nos dados de sensores de calor, fumaça e humidade do ar, identificando assim áreas propensas a incêndios. A análise de imagens de satélite permite a deteção de focos de calor e áreas de queimadas, mesmo em regiões remotas e de difícil acesso. Combinando estas informações com dados climáticos, como temperatura, humidade e velocidade do vento, os algoritmos de IA podem prever potenciais riscos de incêndios e alertar as autoridades competentes em tempo real (ICNF 2024).

### ***Sistemas Existentes e Importância na Prevenção***

Exemplos de sistemas existentes incluem o FireSat, um sistema de detecção de incêndios baseado em satélites que utiliza inteligência artificial para identificar sinais de incêndios florestais em todo o mundo. Outro exemplo é o ALERTWildfire (Alert Wildfire, 2024), uma rede de câmaras de alta resolução que transmite imagens em tempo real para ajudar na detecção precoce de incêndios em áreas de alto risco (Mohapatra & Trinh, 2022). Esses sistemas têm demonstrado eficácia na prevenção de incêndios e na redução de danos ao meio ambiente e às comunidades locais.

**Tabela 4: Comparação de sistemas de detecção de incêndios florestais**

<b>Sistema de Detecção</b>	<b>Tecnologia Utilizada</b>	<b>Cobertura Geográfica</b>	<b>Eficiência na Detecção</b>	<b>Exemplo de Aplicação</b>
FireSat	Satélites e IA	Global	Alta	Detecção Global de Incêndios
ALERTWildfire	Câmaras de Alta Resolução e IA	Local	Alta	Detecção em Áreas de Alto Risco

### ***Potencial de Aplicação em Portugal e Desafios Associados***

Os incêndios rurais são considerados uma das catástrofes naturais mais devastadoras em Portugal, não apenas devido à alta frequência e extensão com que ocorrem, mas também pelos efeitos destrutivos que provocam. Além dos prejuízos econômicos e ambientais, representam uma ameaça direta para as populações e seus bens (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

Embora os incêndios rurais ocorram na natureza e sua propagação dependa fortemente de fatores naturais, a intervenção humana desempenha um papel importante na origem e no controle de sua propagação. Esta característica distingue os incêndios rurais de outras catástrofes naturais (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

A propagação de um incêndio pode ocorrer na superfície do terreno, nas copas das árvores e através da manta morta, sendo influenciada por condições meteorológicas, como direção e intensidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura, além do grau de secura e tipo de cobertura vegetal, orografia do terreno e acessibilidade ao local do incêndio (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

As causas dos incêndios rurais são diversas, sendo predominantemente de origem humana, seja por negligência e acidentes (como queimadas, queima de lixo, lançamento de foguetes, cigarros mal apagados, linhas elétricas), ou intencionalmente (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023; Colab ForestWISE 2024).

Incêndios de causas naturais, como trovoadas, correspondem a uma pequena percentagem do total de ocorrências (Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil, 2023).

Em Portugal, onde os incêndios florestais são uma preocupação sazonal devido ao clima quente e seco, a aplicação de tecnologias de inteligência artificial na prevenção de incêndios continua a apresentar um grande potencial. No entanto, existem desafios a serem superados, como a necessidade de infraestrutura adequada para a instalação de sensores e câmaras de monitorização, bem como a integração de dados de diferentes fontes e a capacitação de profissionais para lidar com as tecnologias de IA (Mendes, 2020).

**Tabela 5: Desafios e soluções na aplicação de inteligência artificial na prevenção de incêndios florestais em Portugal**

<b>Desafio</b>	<b>Solução Proposta</b>
Infraestrutura inadequada	Investimento em infraestrutura para sensores e câmaras
Integração de dados de diferentes fontes	Desenvolvimento de sistemas de integração de dados
Capacitação de profissionais	Programas de formação e capacitação em tecnologias de IA

## 7. O desenvolvimento de modelos de prognóstico de seca por meio de técnicas de inteligência artificial

O desenvolvimento de modelos de prognóstico de seca por meio de IA é uma abordagem inovadora e promissora para antecipar e mitigar os efeitos da escassez de água. Estes modelos processam uma vasta gama de dados climáticos e hidrológicos, permitindo a previsão de condições de seca com maior precisão e antecedência. Ao analisar dados climáticos, como precipitação, temperatura e humidade do ar, juntamente com dados hidrológicos, como níveis de água em rios e reservatórios, os algoritmos de IA identificam padrões e tendências que indicam a iminência de uma seca. Esta análise permite aos gestores de recursos hídricos e autoridades competentes tomar medidas preventivas e implementar políticas de gestão da água mais eficazes (DGADR 2023).

É importante notar que a aplicação de modelos pode ter um contributo significativo no planeamento e gestão de recursos hídricos. Por exemplo, a análise de *Big Data* e a aplicação de sistemas de IA permitem prever a procura futura de recursos com base em dados históricos, tendências e padrões de consumo. Essas previsões serão úteis para um planeamento mais eficiente (Esri 2024; APA 2021).

A gestão de recursos hídricos consiste num conjunto de ações para regulação do uso, controlo e proteção dos recursos hídricos, baseadas na legislação e normas ambientais vigentes. Aqui estão incluídas iniciativas para recuperar e preservar a qualidade da água (APA 2016).

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) é a entidade responsável pela implementação das políticas ambientais no país, estando ativamente envolvida na gestão dos recursos hídricos.

No Alentejo, uma região conhecida por enfrentar desafios de escassez hídrica, a APA tem desenvolvido ações específicas para gerir o uso da água. O Índice de Escassez por Bacia é uma métrica usada para avaliar a disponibilidade de água em diferentes regiões. Algumas bacias em Portugal, como Ribeiras de oeste, Sado, Mira, Guadiana e Ribeiras do Algarve, enfrentam uma escassez moderada.

Segundo a APA, a escassez de água no Algarve atingiu níveis preocupantes. Em 2024, a situação é considerada a pior de sempre, caso esta tendência persista, pode ser necessário limitar o consumo de água na região DGADR (2023).

A APA também analisa as disponibilidades de águas superficiais e subterrâneas em Portugal continental, que permite avaliar se um determinado ano foi húmido, médio ou seco em termos de recursos hídricos.

**Tabela 6: Modelos de Prognóstico de Seca com Inteligência Artificial**

<b>Modelo</b>	<b>Tecnologias Utilizadas</b>	<b>Fontes de Dados</b>	<b>Precisão da Previsão</b>	<b>Exemplo de Aplicação</b>
DeepDrought	Redes Neurais Profundas	Dados Climáticos e Hidrológicos	Alta	Previsão de Condições de Seca
DroughtNet	Redes Neurais Convulsionais	Dados de Satélite e Climáticos	Moderada	Monitoramento de Seca em Tempo Real

## 8. A aplicação de algoritmos de machine learning na análise de dados geoespaciais para prevenção de desastres naturais

A análise de dados geoespaciais tem um papel importante na prevenção de desastres naturais, permitindo a identificação de áreas de risco e a implementação de medidas preventivas eficazes. Quando combinada com sistemas de IA que incorporem *software* capaz de *Machine Learning*, a análise torna-se mais precisa, fornecendo insights valiosos para a mitigação dos impactos dos desastres. Neste artigo, exploraremos de que forma as IA através da combinação de sistemas capazes de *Machine Learning* e modelos de Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser aplicados na análise de dados geoespaciais. Serão analisados exemplos de aplicações existentes e será discutida a importância desta abordagem na formulação de políticas públicas eficazes, dentro do contexto das alterações climáticas e da Estratégia Nacional de IA para 2030 em Portugal.

### ***O que são Algoritmos de Machine Learning e Dados Geoespaciais?***

*Machine Learning* é um subcampo da IA, que define a aprendizagem por parte de *software* informático a partir de dados, com capacidade de fazer previsões ou tomar decisões com base nesses padrões e são e adequados para lidar com grandes volumes de dados e encontrar relações complexas entre variáveis (Helm, J. M., 2020). Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um *software* que permite capturar, armazenar, editar e analisar dados geoespaciais (ERSI, 2024; Barros, J. (2018)), e que facilita a visualização de mapas, imagens de satélite e tabelas de dados ou dados abertos. Além de possibilitar análises avançadas e a criação de mapas temáticos, é utilizado em setores como planeamento urbano, gestão de recursos naturais e resposta a desastres como a proteção civil. Os SIG são relevantes na tomada de decisão com base em localização (J. (2018)). Um *chatbot* com um sistema IA com *software* de *Machine Learning* pode ser incorporado com um modelo SIG para identificar padrões e relações que não seriam facilmente detetadas por métodos tradicionais, permitindo a criação de modelos preditivos que podem ser utilizados para prever desastres naturais e identificar áreas de risco (Esri 2024).

### ***Exemplos de Aplicações e Relevância para Portugal***

A par com outros países, Portugal é um país que poderia obter ganhos com a utilização de sistemas IA na análise de dados geoespaciais desenvolvidos para prevenir desastres naturais e mitigar os seus impactos. A análise de dados geoespaciais, envolve a recolha, processamento e renderização de informações que possuem uma componente geográfica (ERSI, 2024). Esta análise é fundamental para a obtenção de Inteligência de Localização, uma perceção usada para modernizar operações e melhorar a solução de problemas, o planeamento e a previsão (ERSI, 2024).

A ciência de dados espaciais permite selecionar locais, identificar agrupamentos, fazer previsões e avaliar mudanças nos padrões ao longo do tempo, já utilizado hoje na previsão de alterações climáticas de um determinado local. Os SIG conseguem combinar os dados geográficos recolhidos e informações espaciais para criar representações visuais e interativas de espaços geográficos, permitindo análises e tomadas de decisão mais eficientes (Esri, 2024).

Um exemplo disso são os sistemas de deteção de incêndios florestais que incorporem *Machine Learning*, capazes de analisar imagens de satélite em tempo real para identificar focos de calor e prever a propagação do fogo, em Portugal sendo um país que anualmente é flagelado por incêndios, onde muitas vezes quando são detetados já têm uma dimensão considerável, poderia minimizar e muitas vezes eliminar os grandes incêndios que ocorrem.

Modelos com capacidade para prever inundações, recorrendo a dados geoespaciais e um *software* IA com capacidade de *Machine Learning*, podem ajudar a alertar as autoridades e a população sobre áreas propensas a inundações, permitindo a implementação de medidas preventivas, como a construção de diques e o planeamento urbano mais adequado, a área metropolitana de Lisboa é uma zona muito sensível nesta temática, nomeadamente a zona da baixa ribeirinha, devido à sua proximidade com o rio Tejo e à sua baixa altitude (Esri 2024).

**Tabela 7: Exemplos de Aplicações de IA em Análise de Dados Geoespaciais**

<b>Aplicação</b>	<b>Tecnologias Utilizadas</b>	<b>Fontes de Dados</b>	<b>Exemplo de Aplicação</b>
Deteção de Incêndios	Machine Learning, SIG	Imagens de Satélite, Dados Climáticos	Identificação de Focos de Incêndio em Tempo Real
Previsão de Inundações	Machine Learning, SIG	Dados Topográficos, Precipitação	Alerta Antecipado de Áreas Propensas a Inundações
Identificação de Deslizamentos de Terra	Machine Learning, SIG	Dados Topográficos, Histórico de Deslizamentos	Mapeamento de Áreas de Risco de Deslizamentos

A rápida urbanização e a expansão da infraestrutura na região aumentaram a vulnerabilidade a eventos extremos, destacando a necessidade urgente de medidas preventivas e sistemas de alerta eficazes. Estes modelos podem também ajudar analisar uma variedade de dados como informações topográficas, padrões de precipitação, níveis de água em rios e córregos, e características do solo, para identificar áreas propensas a inundações e prever a magnitude e o alcance desses eventos com antecedência.

Um *software* IA capacitado para a análise de SIG, poderá auxiliar na identificação de áreas de deslizamento de terra em encostas vulneráveis, tema pertinente nas zonas de arriba que

correm o litoral português e que por vezes são áreas de risco e acidente para cidadãos e turistas (ESRI 2024). Esses algoritmos apresentam a capacidade de analisar uma variedade de dados, incluindo características do terreno, histórico de deslizamentos ocorridos no passado, padrões de precipitação e uso do solo, para identificar áreas com maior probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra. Estas análises poderão auxiliar a tomada de decisões sobre o desenvolvimento urbano e a gestão do território em áreas propensas a deslizamentos. Ao identificar as áreas de risco, um sistema IA que recorra a SIG permite a implementação de medidas preventivas, como restrições ao uso do solo, implementação de sistemas de drenagem adequados e adoção de práticas de construção mais resilientes (Esri 2024), contribuindo para a segurança e qualidade de vida das populações afetadas.

### ***Importância da Análise de Dados Geoespaciais na Formulação de Políticas Públicas Eficazes***

No contexto das alterações climáticas e da Estratégia Nacional de IA para 2030 em Portugal, a análise de dados geoespaciais desempenha um papel fundamental na formulação de políticas públicas eficazes para prevenção de desastres naturais. O acesso a dados geoespaciais abertos de alta qualidade e combinando com sistemas capazes de *Machine Learning* permitem uma abordagem baseada em evidências na identificação de áreas de risco e na avaliação da vulnerabilidade a eventos extremos. Além disso, a análise de dados geoespaciais pode melhorar o planeamento urbano e o ordenamento do território, garantindo que o desenvolvimento seja realizado de forma mais sustentável e resiliente aos desastres naturais. Num contexto de alterações climáticas, onde os padrões de ocorrência de desastres tendencialmente alteraram e intensificam, acaba por ser uma perspetiva bastante pertinente.

Ao integrar a análise de dados geoespaciais na formulação de políticas públicas, Portugal poderá melhorar a sua capacidade de resposta a desastres naturais, protegendo a população, o património e promovendo a sustentabilidade ambiental. Ficando assim alinhado com os objetivos da Estratégia Nacional de IA para 2030, que visa promover o uso responsável e ético da IA para o benefício da sociedade (PNAC 2023; INCoDe 2024).

## 9. Aplicação prática

No âmbito da União Europeia (UE), crises são definidas como emergências que representam ameaças à segurança, saúde pública, meio ambiente e infraestrutura. Essas crises englobam uma variedade de eventos, desde desastres naturais até incidentes tecnológicos, como derrames químicos ou ciberataques, que podem ter impactos significativos na sociedade (Saraiva, F. 2011).

Em Portugal, a gestão de crises no que refere à vertente ambiental é coordenada pela proteção civil, que visa a prevenção de riscos coletivos inerentes a situações de classificadas como graves ou catastróficas, atenuando os seus efeitos e garantir a proteção e socorro de pessoas e bens. Nesse contexto, a utilização da IA para previsão de desastres naturais desempenha um papel preponderante, pela sua capacidade de analisar grandes volumes de dados e identificar padrões e tendências que podem indicar riscos iminentes. A integração de sistemas de IA em aplicativos de monitorização e alerta precoce facilitará a coordenação de recursos e esforços, contribuindo para uma resposta mais eficaz e uma redução dos impactos em Portugal.

Tendo como preocupação as propostas de elementos de aplicação prática no contexto do artigo, e visto que atualmente ainda não existem em Portugal muitas ferramentas de fácil acesso no ambiente de interação IA – Ambiente e ação climática, foram criadas duas ferramentas, a ser apresentadas sucintamente:

### **Chatbot**

O Website do Programa Ambiente dos EEA Grants tem diversos campos de acesso a informação, como Concursos, Projetos, Notícias associadas ao Programa, Documentos, uma secção de FAQ, Galeria de Imagens, uma Agenda, bem como os Resultados dos Projetos e os Relatórios Finais de Projetos

## Ambiente



No âmbito dos EEA Grants 2014-2021, a Secretaria-Geral do Ambiente e Ação Climática é a operadora do Programa "Ambiente, Alterações Climáticas e Economia de Baixo Carbono", que assenta em três áreas de atuação:

Operador do programa

Concursos

Projetos

Notícias

Documentos

Perguntas Frequentes

Galeria de Imagens

Agenda

Resultados dos Projetos

Relatórios Finais

**Figura 2 - Imagem demonstrativa da página do Programa Ambiente no âmbito do mecanismo Financeiro EEA Grants 2014-2021 (EEAGrants.gov.pt, 2024)**

O Programa Ambiente, na sua gestão necessita de muita interação entre os seus utilizadores, onde se insere o público em geral, público interessado em conhecer os EEA Grants para candidatar os seus projetos, bem como os Promotores e Parceiros de projetos em curso. Essa interação é assegurada pelo *website* dos EEA Grants, as redes sociais, o envio de e-mails, a realização de reuniões bilaterais e também o contacto telefónico com os elementos que operam o Programa.

Para facilitar o acesso dos utilizadores à informação do Programa Ambiente, foi desenvolvido um *Chatbot* com a Plataforma *OpenAI*, designado por *ProgramAmbiente\_Bot*. Ao definir um assistente virtual, são solicitadas informações como as fontes de informação a aceder, onde foi selecionado o *website EEA Grants*, e também as instruções ao assistente ao facultar as respostas, nomeadamente qual o tom de resposta, tendo optado por uma instrução de resposta mais formal e institucional.

Os testes ao assistente virtual incluíram a formulação de várias perguntas diárias para calibrar as respostas, aferir da sua certeza e em caso de incorreção, poder facultar a resposta correta para futuramente não induzir utilizadores em erro.

O assistente virtual está desenvolvido, aguardando uma possibilidade de adicionar esta funcionalidade à área do Programa Ambiente no *website EEA Grants*.

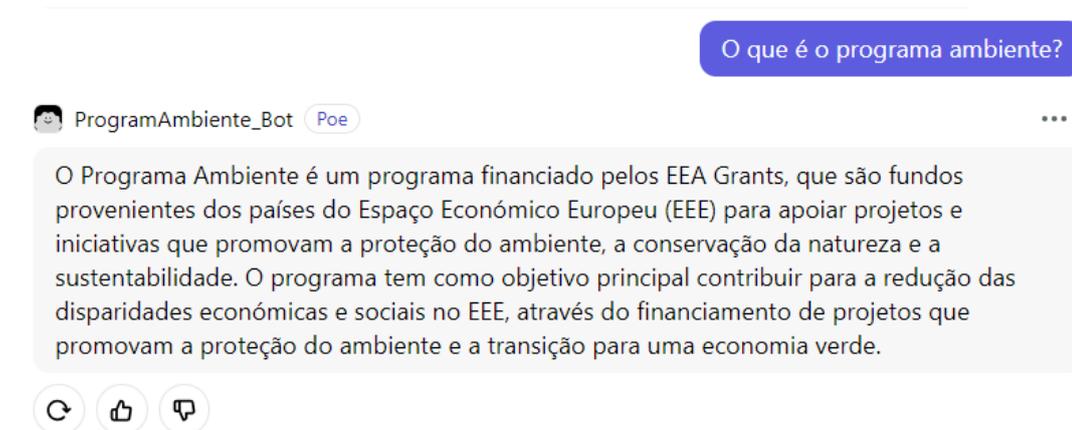


Figura 3 - Exemplo de interação com o *Chatbot ProgramAmbiente\_Bot*

### Weather Alerts Explorer

## Weather Alerts Explorer

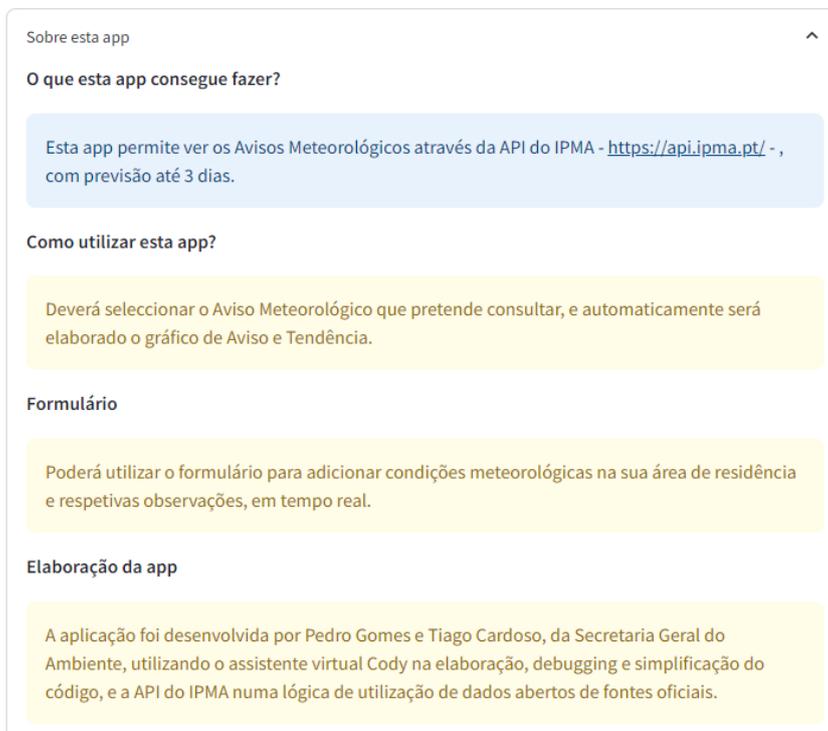


Figura 4 – apresentação da APP

## Metodologia

Pretendeu-se utilizar a Inteligência Artificial para auxiliar no desenvolvimento de uma aplicação que permitisse visualizar e produzir informação gráfica sobre alertas meteorológicos.

O assistente virtual escolhido foi o Cody, um assistente virtual versátil, capaz de realizar uma ampla variedade de tarefas, projetado para ajudar os utilizadores em atividades desde a organização de compromissos, lembretes, pesquisas, compras online e também a elaboração e correção de código em diferentes linguagens.

A API escolhida foi a do IPMA, por se pretender privilegiar a utilização de informação oficial, foi escolhido o indicador dos Avisos Meteorológicos até 3 dias.

## Invocação da API

A API do IPMA está alojada em [https://api.ipma.pt/open-data/forecast/warnings/warnings\\_www.json](https://api.ipma.pt/open-data/forecast/warnings/warnings_www.json)

## Parâmetros do indicador

text: texto descritivo do aviso (preenchido apenas quando o aviso é amarelo, laranja ou vermelho).

awarenessTypeName: parâmetro do aviso (e.g. "Trovoada", "Agitação Marítima", "Precipitação", "Vento", "Nevoeiro", "Neve", "Tempo Frio", "Tempo Quente").

awarenessLevelID: cor / nível do aviso (e.g. "green", "yellow", "orange", "red", só existem avisos para níveis diferentes de "green", ou seja, "yellow", "orange", "red").

startTime: data/hora de início da duração do aviso.

endTime: data/hora de fim da duração do aviso.

idAreaAviso: identificador da área dos avisos.

O desenvolvimento do código foi realizado em linguagem Python, a plataforma utilizada para desenvolver o código foi a StreamLit e o código ficou armazenado na plataforma pública Github, devido à facilidade para a sua disponibilização, na apresentação de um primeiro protótipo.

A plataforma permite escolher num menu de lista as diferentes tipologias de parâmetro de Avisos Meteorológicos (e.g. "Trovoada", "Agitação Marítima", "Precipitação", "Vento", "Nevoeiro", "Neve", "Tempo Frio", "Tempo Quente"), bem como os diferentes graus de aviso e.g. "green", "yellow", "orange", "red"). Ao selecionar os graus de aviso, a plataforma elabora automaticamente um gráfico referente ao número de avisos para os próximos 3 dias.

Foi definido em código para existir por predefinição um gráfico que contabiliza o total de avisos de todas as tipologias para os próximos 3 dias.

A aplicação é alimentada pela API do IPMA, portanto, a atualização da informação será regular.

O desenvolvimento do estado de arte de trabalho atual foi acelerado, devido aos *prompts* escolhidos e escritos no *Cody*, que posteriormente elaborava o código e realizava inclusivamente o respetivo *debugging* e fornecia sugestões para a simplificação da aplicação, sendo este procedimento por tentativa e erro. Com o assistente virtual *Cody*, podemos afirmar que a aplicação foi desenvolvida numa lógica *low code*, mas reduzindo e muito o número de dias necessários para se produzir uma aplicação funcional.

Adicionalmente foi utilizada a IDE *Jupyter Notebook* para testar funcionalidades adicionais para a aplicação.

É de reforçar que a aplicação continuará como um trabalho em desenvolvimento, visto que o potencial para melhorias é extenso, quer a nível gráfico para o acomodar a uma melhor experiência do utilizador, e reforçar igualmente a componente da acessibilidade, mas também a nível técnico, incluindo funcionalidades de análise, previsão e interação com utilizador e entidades que possam necessitar de alertas personalizados.

#### **Código da aplicação *Weather Alerts Explorer***

Apresentamos o código desenvolvido pelos autores, utilizando o assistente virtual *Cody* na elaboração, simplificação e *debugging*. Apresentamos o código numa lógica de replicação e reforço do processo científico, bem como respeito pela lógica de dados abertos que possibilitou a elaboração desta ferramenta e partilhar com a comunidade a possibilidade de utilização e melhoria na elaboração de versões mais atualizadas e com mais funcionalidades.

```
import streamlit as st
import numpy as np
import pandas as pd
import altair as alt
import requests

# Page setup
st.set_page_config(page_title='IPMA Weather Alerts')
st.title('IPMA Weather Alerts Explorer')

with st.expander('Sobre esta app'):
    st.markdown('**O que esta app consegue fazer?**')
    st.info('Esta app permite ver os Avisos Meteorológicos através da API do IPMA - https://api.ipma.pt/ - , com previsão até 3 dias.')
    st.markdown('**Como utilizar esta app?**')
```

st.warning('Deverá selecionar o Aviso Meteorológico que pretende consultar, e automaticamente será elaborado o gráfico de Aviso e Tendência.')

```
# API data load
url = 'https://api.ipma.pt/open-data/forecast/warnings/warnings_www.json'
response = requests.get(url)
data = response.json()

df = pd.DataFrame(data)

# Widgets
awareness_types = st.multiselect('Awareness Types', df['awarenessTypeName'].unique())
awareness_levels = st.multiselect('Awareness Levels', df['awarenessLevelID'].unique())

# Filter data
df_filtered = df[df['awarenessTypeName'].isin(awareness_types) &
                 df['awarenessLevelID'].isin(awareness_levels)]

# Display dataframe
st.dataframe(df_filtered)

# Create chart data
chart_data = df_filtered.groupby(['awarenessTypeName',
                                 'startTime']).count().reset_index()

# Display chart
chart = alt.Chart(chart_data).mark_area().encode(
    x='startTime',
    y='idAreaAviso',
    color='awarenessTypeName'
)

# Time series chart
time_chart = alt.Chart(df.groupby('startTime').count().reset_index()).mark_line().encode(
    x='startTime',
    y='idAreaAviso'
)
```

```
# Pie chart
pie_chart =
alt.Chart(df['awarenessLevelID'].value_counts().reset_index()).mark_arc().encode(
    theta=alt.Theta(field='idAreaAviso', type='quantitative'),
    color='awarenessLevelID:N'
)

# Create subplots
charts = alt.vconcat(
    time_chart.properties(title='Alerts Over Time'),
    pie_chart.properties(title='Alerts by Level')
).configure_view(
    strokeWid).configure_view(
    strokeWidth=0
)

st.markdown("## Tipologia de Aviso")
st.altair_chart(chart)

st.markdown("## Total de Avisos Meteorológicos")
st.altair_chart(time_chart)
```

### Testes e Depuração

Foram realizados múltiplos testes e *debugging* para correção de erros e avisos nas diferentes componentes de desenvolvimento da aplicação.

### Lançamento e monitorização

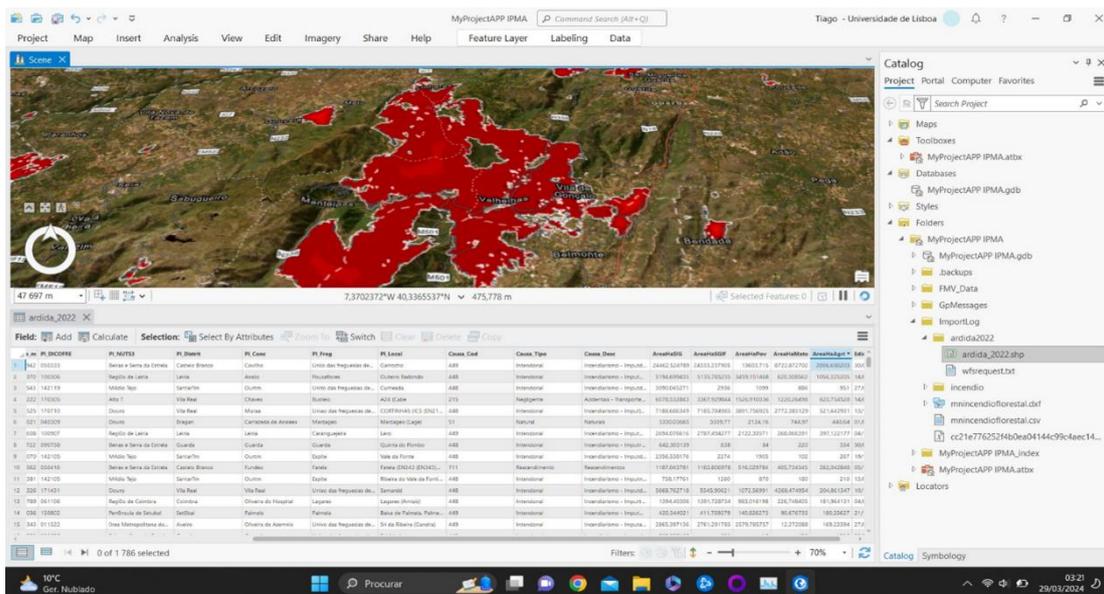
A aplicação está em testes, mas espera-se que se possa conseguir implementar um mecanismo de interação direta com os meios de socorro e proteção civil para que se consiga um tempo de resposta mais rápido e preciso.

A incorporação de um sistema SIG permitirá:

- Analisar dados geográficos relevantes, como relevo, vegetação e densidade populacional. Ao combinar isso com IA, é possível identificar padrões mais complexos e fornecer insights sobre os riscos em áreas específicas.

- Previsão e Alerta antecipadamente: A IA pode processar grandes volumes de dados para prever desastres naturais, como cheias e incêndios florestais. Através do SIG, a aplicação pode emitir alertas precoces, permitindo que as autoridades e a população se preparem melhor para a Crise.

- Tomada de Decisões mais informadas: A análise de dados geospaciais e ambientais ajuda as autoridades a priorizar recursos e planejar respostas eficientes.
- Monitorização Contínua e Avaliação de Impacto: A aplicação pode monitorizar a situação durante e após um desastre e avaliar o impacto, apoiando os esforços de recuperação.
- Personalização e Adaptabilidade: A IA aprende com dados históricos e feedback em tempo real, permitindo uma resposta personalizada e ágil às necessidades da população afetada.



**Figura 5 – Imagem ilustrativa de uma área ardida em 2022 com recurso a Arcgis Pro**

startTime

### Formulário de Observações

Hora  
16:00

Local  
Rua do Século 63

Observações  
Ocorrência de ventos com muita intensidade , ramos de árvore tombados , estruturas danificadas

Ocorrência  
Vento

Submit

Hora Local Observações Ocorrência  
empty

**Figura 6 – Exemplo de formulário de ocorrência**

A aplicação permite o preenchimento de um formulário de ocorrências que estejam a ocorrer no momento de forma simples e intuitiva, esperasse que a situação permita enquadrar um sistema de comunicação direta com a proteção civil, com âmbito de agilizar os meios de socorro por parte dos operacionais no terreno.

## 10. Conclusões

Portugal é um país que historicamente foi afligido por catástrofes naturais, encontrando-se num limbo de dúvida e receios do que poderá acontecer ou os danos daí ocorridos se voltar a ser impactado por catástrofes de larga escala, podendo estas ter consequências mais nefastas devido às rápidas alterações climáticas. Desta forma a aplicação da inteligência artificial (IA) emerge como uma ferramenta na prevenção e mitigação destes eventos catastróficos. A capacidade da IA de processar grandes volumes de dados e identificar padrões e correlações entre variáveis ambientais críticas oferece uma oportunidade única para antecipar e responder de forma proativa aos riscos.

No entanto, para que o potencial da IA possa ser maximizado no âmbito da proteção da população portuguesa, é essencial enfrentar uma série de desafios. A recolha e qualificação de dados precisos e abrangentes, a imprevisibilidade dos sistemas climáticos e a necessidade de transparência e regulamentação ética são apenas alguns dos obstáculos a serem superados.

É importante promover pesquisas contínuas e colaborativas para aprimorar os modelos de IA, garantindo a sua precisão e confiabilidade. Além disso, é fundamental estabelecer políticas e práticas que assegurem a equidade, a segurança e o respeito aos direitos individuais dos cidadãos no uso da IA para a gestão de desastres naturais.

Com um compromisso sólido com o desenvolvimento e a aplicação responsável da IA, Portugal pode estar na vanguarda da inovação em resposta aos desafios climáticos. Ao investir em soluções baseadas em IA e colaborar com parceiros nacionais e internacionais, Portugal pode fortalecer a sua resiliência e capacidade de enfrentar os impactos cada vez mais severos das mudanças climáticas, protegendo assim as suas comunidades e ecossistemas para as gerações futuras.

## 11. Desenvolvimentos futuros

A evolução tecnológica e a crescente digitalização têm transformado significativamente a Administração Pública, impulsionando a adoção de soluções inovadoras para otimizar processos e melhorar a prestação de serviços aos cidadãos. Neste contexto, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma ferramenta fundamental, capaz de promover eficiência, transparência e participação na gestão governamental. Este ensaio busca explorar a importância da IA na Administração Pública, destacando a sua interação com a *E-Governance*, no âmbito de uma abordagem académica.

Em primeiro lugar, deve-se compreender o papel da IA na modernização da Administração Pública. A IA oferece às instituições governamentais a capacidade de automatizar tarefas rotineiras, analisar grandes volumes de dados e fornecer insights acionáveis para a tomada de decisões estratégicas. Por meio de algoritmos avançados, a IA pode identificar padrões, prever tendências e personalizar serviços segundo as necessidades individuais dos cidadãos. Dessa forma, a implementação da IA na Administração Pública promove a eficiência operacional, reduzindo custos e tempo associados aos processos burocráticos.

Além disso, a IA desempenha um papel fundamental na melhoria da qualidade dos serviços públicos e na promoção da transparência e responsabilidade. Ao utilizar algoritmos de IA para analisar dados governamentais, é possível identificar áreas de ineficiência e oportunidades de melhoria na prestação de serviços. Da mesma forma, pode ser empregada na deteção de fraudes e na prevenção de comportamentos corruptos, garantindo uma gestão pública mais ética e responsável. Assim, a implementação na Administração Pública contribui para o fortalecimento da confiança dos cidadãos nas instituições governamentais.

No contexto da *E-Governance*, a IA desempenha um papel central na promoção da participação cívica e na construção de sociedades mais inclusivas e democráticas. Por meio de plataformas digitais e sistemas inteligentes, os cidadãos podem interagir com o governo de forma mais direta e eficiente, participando ativamente na formulação de políticas públicas e no processo decisório. Por exemplo, *chatbots* podem fornecer informações e orientações aos cidadãos, facilitando o acesso aos serviços governamentais e promovendo a inclusão digital. Além disso, pode ser utilizada na análise de dados das redes sociais e na identificação de tendências e preocupações da sociedade, permitindo uma resposta mais ágil e eficaz por parte do governo.

No entanto, é importante reconhecer que a implementação da IA na Administração Pública também apresenta desafios e questões éticas que devem ser cuidadosamente consideradas.

Questões relacionadas à privacidade dos dados, viés algorítmico e exclusão digital exigem uma abordagem ética e responsável por parte dos governos. Além disso, é essencial garantir que seja utilizada de forma transparente e acessível, de modo a promover a confiança e a aceitação dos cidadãos.

Em conclusão, a Inteligência Artificial desempenha um papel fundamental na modernização da Administração Pública e na promoção da *E-Governance*. Ao utilizar algoritmos avançados e sistemas inteligentes, os governos podem promover eficiência, transparência e participação na gestão governamental, contribuindo para o fortalecimento da democracia e o bem-estar dos cidadãos. No entanto, é essencial abordar os desafios e questões éticas associadas à sua implementação, garantindo uma utilização responsável e ética dessa tecnologia na Administração Pública.

### ***Aplicação para desastres naturais – PREDNA***

Um dos desenvolvimentos futuros, e para demonstrar a utilidade da Inteligência Artificial na Administração Pública, bem como no desenvolvimento e aceleração da inovação tecnológica na temática da previsão de desastres naturais, definiu-se uma metodologia de trabalho para o desenvolvimento de uma aplicação que providenciasse informação atualizada e relevante sobre incêndios e seca em Portugal para o utilizador em geral.



**Figura 7 – Página inicial da aplicação PREDNA**

### **Definição de Requisitos**

A aplicação terá o nome de PREDENA, um acrónimo adaptado de (PREvisão de DEastres NATurais) onde o seu propósito será a previsão de incêndios e seca em Portugal, utilizando informação aberta, oficial para os utilizadores em geral.

Identificaram-se como funcionalidades principais, a exibição de dados de incêndios e seca em Portugal, a visualização do mapa com marcadores, possibilitar a análise dos dados e notificações para avisar sobre novas atualizações.

Uma vez que se pretende utilizar dados abertos, o perfil do utilizador da aplicação será o público em geral, bem como profissionais da área do Ambiente, investigadores, estudantes, entusiastas da temática da proteção e educação ambiental.

Identificaram-se como fontes de dados necessárias, a API do IPMA relativamente a incêndios e seca em tempo real, nomeadamente os serviços de Previsão do Risco de Incêndio até 2 dias, informação agregada por dia e o índice PDSI (*Palmer Drought Severity Index*), mensal por concelho.

Relativamente à Previsão do Risco de Incêndio até 2 dias, apenas estão disponíveis dados diários, variando entre 0 e 1, sendo 0 o dia equivalente ao de hoje e 1 ao de amanhã, numa escala de risco de incêndios de 1 a 5:

- 1 - Risco reduzido
- 2 - Risco moderado
- 3 - Risco Elevado
- 4 - Risco muito elevado
- 5 - Risco máximo

Relativamente às variáveis do Índice:

- dataPrev: data da previsão
- dataRun: data da corrida do modelo
- fileDate: data de atualização do ficheiro (taxa de atualização horária)
- DICO: Identificador único de concelho (de acordo com a CAOP - DGT)
- rcm: código relativo ao tipo de risco de incêndio
- latitude: latitude
- longitude: longitude

O Índice PDSI deteta a ocorrência de períodos secos e chuvosos, compara o estado do solo com a média climatológica, avalia evolução da seca em termos de frequência e intensidade e permite comparações diretas entre diferentes regiões.

**O procedimento de cálculo do PDSI no IM baseia-se no seguinte desenvolvimento:**

- Determinação do balanço hídrico mensal, com base em séries climatológicas longas de temperatura, precipitação.
- Determinação mensal da quantidade de água no solo requerida para manter/repor uma situação normal nesse mês
  - Determinação mensal de índices de anomalias de água no solo
  - Determinação de coeficientes adaptados ao clima de Portugal Continental

E consiste na aplicação de uma fórmula para determinação da severidade da seca:

$$X_i = 0.77X_{i-1} + \frac{z_i}{44.97}$$

$X_i$  – índice PDSI no mês em análise

$X_{i-1}$  – índice PDSI no mês anterior

$Z_i$  – índice de anomalia de água no solo

**Os resultados do índice permitem agregar os resultados de valores maiores e iguais a 4,00 até valores menores ou iguais a -4,00 de acordo com a seguinte escala:**

- maior ou igual a 4,0 - Chuva extrema
- 3,00 a 4,0 - Chuva severa
- 2,00 a 3,99 - Chuva moderada
- 1,00 a 1,99 - Chuva fraca
- -0,99 a 0,99 - Normal
- -1,99 a -1,0 - Seca fraca
- -2,99 a -2,0 - Seca moderada
- -3,99 a -3,0 - Seca severa
- menor ou igual a -4,00 - Seca extrema

**Variáveis utilizadas:**

- *date*: data dos valores de referência
- *minimum*: valor diário mínimo de PDSI
- *maximum*: valor diário máximo de PDSI

- *range*: valor diário da amplitude de PDSI
- *mean*: valor diário da mediana de PDSI
- *std*: valor diário do desvio padrão de PDSI

### **Requisitos técnicos**

Identificou-se para a aplicação, a necessidade de utilização de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), nomeadamente o Android Studio, devido ao seu potencial para otimização com apps para Android, ao seu suporte para compilações baseadas em Gradle, na capacidade de reparações rápidas, integração com ProGuard e capacidade de assinatura da aplicação, e com múltiplas predefinições com *designs* e componentes comuns para a tecnologia Android, sendo ainda um suporte nativo para a *Google Cloud Platform* o que permite a integração com tecnologia Google.

### **Desenvolvimento da Aplicação**

Previamente ao desenvolvimento da aplicação, foi definido o perfil para o assistente de IA da plataforma *OpenAI*, para ter a capacidade de interpretar, desenvolver e corrigir linhas e blocos de código, mediante o limite de 4096 caracteres.

Com o auxílio da plataforma *OpenAI*, foi desenvolvida a lógica de acesso às API do IPMA para se obter os dados de incêndios e seca, com o seu processamento e análise dos dados recebidos, implementação da interface do utilizador para exibir as previsões, foram integradas as funcionalidades de mapa para visualização geográfica dos dados, para tal foi utilizada a API do serviço aberto *OpenStreetMap*, a sua utilização em detrimento do *Google Maps*, deve-se a não exigir custos, tendo um serviço aberto, sendo que a utilização da informação de *Google Maps* exigia a associação de um cartão de crédito para uma versão experimental de 7 dias.

### **Estado de arte atual**

Presentemente, está a ser desenvolvida a interface com o utilizador, após desenvolvimento do código para a integração das API IPMA referente aos incêndios e à seca e possibilidade de visualização na API *OpenStreetMap* como forma de integração de informação geográfica para poder conferir uma melhor experiência ao utilizador.

O código *build.gradle.kts* e *mainactivity.kts* já foram corrigidos, testados e presentemente não apresentam erros, o que abre boas expectativas para acelerar o desenvolvimento da aplicação.



## 12. Bibliografia

Abdalzاهر, M. S., Moez Krichen, Derya Yiltas-Kaplan, Imed Ben Dhaou, & Hamilton, Y. (2023). Early Detection of Earthquakes Using IoT and Cloud Infrastructure: A Survey. *Sustainability*, 15(15), 11713–11713. <https://doi.org/10.3390/su151511713>

Adityawan, M. B., Nurendyastuti, A. K., Purnama, M. R., Arifianto, M. S., Farid, M., Kuntoro, A. A., & Widyaningti. (2023). Development of a tsunami early warning system on the coast of Palu based on maritime wireless communication. *Progress in Disaster Science*, 19, 100290–100290. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2023.100290>

Allen, R. M., & Melgar, D. (2019). Earthquake Early Warning: Advances, Scientific Challenges, and Societal Needs. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 47(1). <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-053018-060457>

Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (2021). *Cadernos Técnicos PROCIV #28 Guia de Referência para Planeamento de Evacuação em Caso de Tsunami*. (Edição: Direção Nacional de Prevenção e Gestão de Riscos). [https://prociv.gov.pt/media/yq0neInI/ct\\_28\\_guia-de-refer%C3%Aancia-para-planeamento-de-evacua%C3%A7%C3%A3o-em-caso-de-tsunami.pdf](https://prociv.gov.pt/media/yq0neInI/ct_28_guia-de-refer%C3%Aancia-para-planeamento-de-evacua%C3%A7%C3%A3o-em-caso-de-tsunami.pdf)

Barros, J. (2018). O que são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e quais suas aplicações. *Blog Geoaplicada*. <https://www.geoaplicada.com/sig-e-suas-aplicacoes/>

Beroza, G. C., Segou, M., & Mostafa Mousavi, S. (2021). Machine learning and earthquake forecasting—next steps. *Nature Communications*, 12(1), 4761. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24952-6>

Centro de Alerta de Tsunamis do Pacífico (2024) *Tsunami Information Centre*. Recuperado de <http://www.ioc-tsunami.org/index.php?lang=en>

Clima | APA (2024). *Apambiente.pt*. <https://apambiente.pt/clima>

Colab ForestWISE (2024). *Collaboration with the Agency for the Integrated Management of Rural Fires Retirado Janeiro 15, 2024*, de <https://www.forestwise.pt/en/projects/collaboration-with-the-agency-for-the-integrated-management-of-rural-fires/>

Comissão Europeia (2024). [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_pt](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_pt)

Departamento de Alterações Climáticas | Agência Portuguesa do Ambiente. (2024). *Apambiente.pt*. Retirado Fevereiro 5, 2024, de <https://apambiente.pt/apa/departamento-de-alteracoes-climaticas>

DGADR (2023). - Direção-Geral de Agricultura E Desenvolvimento. <https://www.dgadr.gov.pt/reap/11-regadio-e-aproveitamentos-hidroagricolas/780-alteracoes-climaticas-e-agricultura>

DGT. (2024). Modelos Digitais do Terreno. Direção-Geral do Território. <https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-topografica/modelos-digitais-do-terreno>

DJI. (2024). DJI Matrice 300. Recuperado de <https://www.dji.com/matrice-300>

European Commission. (2024). Drones and planes: unprecedented imagery resolution for disaster assessment. [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/drones-and-planes-unprecedented-imagery-resolution-disaster-assessment-2023-09-25\\_en](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/jrc-news-and-updates/drones-and-planes-unprecedented-imagery-resolution-disaster-assessment-2023-09-25_en)

Escassez Hídrica: APA (2021). Escassez hídrica. Retirado de <https://apambiente.pt/agua/escassez-hidrica>

Eposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., & Pierleoni, P. (2022). Recent Advances in Internet of Things Solutions for Early Warning Systems: A Review. *Sensors*, 22(6), 2124. <https://doi.org/10.3390/s22062124>

Esri (2020) As Wildfire Risk Grows, So Does Business Concern. <https://www.esri.com/about/newsroom/publications/wherenext/wildfire-risk-for-business/>

Esri (2023). Expandir o SIG com dados LIDAR. Retirado Fevereiro 18, 2024, de <https://www.esri-portugal.pt/pt-pt/artigos/expandir-o-sig-com-dados-lidar>

Esri (2024) Artificial Intelligence (AI) & Location Intelligence from GIS. Retirado Fevereiro 27, 2024, from <https://www.esri.com/en-us/artificial-intelligence/overview#ebook>

Esri (2024). Análise de dados geoespaciais. Retirado Fevereiro 18, 2024, de <https://www.esri.com>

Greenwood, F., Nelson, E. L., & Greenough, P. G. (2020). Flying into the hurricane: A case study of UAV use in damage assessment during the 2017 hurricanes in Texas and Florida. *PLOS ONE*, 15(2), e0227808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227808>

Hagendorff, T. (2020). The Ethics of AI Ethics: An Evaluation of Guidelines. *Minds and Machines*, 30(1), 99–120. <https://doi.org/10.1007/s11023-020-09517-8>

Helm, J. M., Swiergosz, A. M., Haeberle, H. S., Karnuta, J. M., Schaffer, J. L., Krebs, V. E., ... Ramkumar, P. N. (2020, February 1). Machine Learning and Artificial Intelligence: Definitions, Applications, and Future Directions. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s12178-020-09600-8>

ICNF (2021) 8º RELATÓRIO PROVISÓRIO DE INCÊNDIOS RURAIS EMISSOR Divisão de Gestão do Programa de Fogos Rurais INSTITUTO DA CONSERVAÇÃO DA NATUREZA E DAS FLORESTAS <https://www.icnf.pt/api/file/doc/504914cdd1a211bb>

ICNF (2024). Fogos.icnf.pt. Retirado Março 1, 2024, de <https://fogos.icnf.pt/sgif2010/InformacaoPublicalist.aspPortugal>

ICNF (2024). Geocatalogo.icnf.pt. Retirado Março 25, 2024, de <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil/>

INCoDe (2024). Retirado Janeiro 2, 2024, de <https://www.incode2030.gov.pt/aip-2030/>

INCoDe.2030. (2021). Portugal INCoDe.2030. Portugal INCoDe.2030. <https://www.incode2030.gov.pt/>

Inundações | APA (2024). Apambiente.pt. <https://apambiente.pt/prevencao-e-gestao-de-riscos/inundacoes>

Jamshed, M. A., Ali, K., Abbasi, Q. H., Imran, M. A., & Ur-Rehman, M. (2022). Challenges, Applications, and Future of Wireless Sensors in Internet of Things: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 22(6), 5482–5494. <https://doi.org/10.1109/jsen.2022.3148128>

Japan Meteorological Agency. (2011). [Www.jma.go.jp. https://www.jma.go.jp/jma/en/2011\\_Earthquake/Information\\_on\\_2011\\_Earthquake.](https://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/Information_on_2011_Earthquake)

Linardos, V., Drakaki, M., Tzionas, P., & Karnavas, Y. L. (2022, June 1). Machine Learning in Disaster Management: Recent Developments in Methods and Applications. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/make4020020>

Lockheed Martin. (2024). Lockheed Martin Indago. Recuperado de <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/indago.html>

Lokmic-Tomkins, Z., Bhandari, D., Bain, C., Borda, A., Kariotis, T. C., & Reser, D. (2023). Lessons Learned from Natural Disasters around Digital Health Technologies and Delivering Quality Healthcare. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4542. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054542>

Luo, N., Zhong, X., Su, L., Cheng, Z., Ma, W., & Hao, P. (2023). Artificial intelligence-assisted dermatology diagnosis: From unimodal to multimodal. *Computers in Biology and Medicine*, 165, 107413. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.107413>

Manoj, S., & Valliyammai, C. (2023). Drone network for early warning of forest fire and dynamic fire quenching plan generation. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2023(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-023-02320-w>

NOAA (2019). U.S. Tsunami Warning Centers. [Tsunami.gov](https://www.tsunami.gov/). <https://www.tsunami.gov/>

Nurendyastuti, et al (2022). Tsunami Early Warning System Based on Maritime Wireless Communication. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 115–124. <https://doi.org/10.22146/jcef.2878>

Nuruzzaman, M., & Hussain, O. K. (2018). A Survey on Chatbot Implementation in Customer Service Industry through Deep Neural Networks. In *Proceedings - 2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering, ICEBE 2018* (pp. 54–61). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ICEBE.2018.00019>

Parrot. (2024). Parrot Anafi USA. Retirado de <https://www.parrot.com/us/drones/anafi-usa>

PNAC (2023). Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC2020/2030). [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/Consulta\\_Publica/DOCS\\_QE\\_PIC/150515\\_PNAC\\_Avaliacao\\_AAE.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/Consulta_Publica/DOCS_QE_PIC/150515_PNAC_Avaliacao_AAE.pdf)

Portugal Chama (2021). Retirado Março 12, 2024, de <https://portugalchama.pt/>

Pwavodi, J et al (2024). The role of artificial intelligence and IoT in prediction of earthquakes: Review. *Artificial Intelligence in Geosciences*, 100075–100075. <https://doi.org/10.1016/j.aiig.2024.100075>

REAA (2017). - Relatório do Estado do Ambiente dos Açores - Direção Regional do Ambiente e Ação Climática. [Rea.azores.gov.pt](http://rea.azores.gov.pt). Retirado Janeiro 30, 2024, de <https://rea.azores.gov.pt/reaa/9/clima-e-alteracoes-climaticas/442/caraterizacao->

Ridzwan N., & Yusoff S. (2023). Machine learning for earthquake prediction: a review (2017–2021). <https://doi.org/10.1007/s12145-023-00991-z>

Rolnick, D., et al, (2023). Tackling Climate Change with Machine Learning. *ACM Computing Surveys*, 55(2), 1–96. <https://doi.org/10.1145/3485128>

Saraiva, F. (2011). A definição de crise das Nações Unidas, União Europeia e NATO. Revista Nação E Defesa. <http://hdl.handle.net/10400.26/7601>

senseFly. (2024). senseFly eBee X. Recuperado de <https://www.sensefly.com/drones/ebec-x/>

Sun, J., Yuan, G., Song, L., & Zhang, H. (2024). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring: A Review. Drones, 8(1), 30. <https://doi.org/10.3390/drones8010030>

Tecnologia LiDAR | ISA (2024). Retirado Janeiro 30, 2024, de <https://www.isa.ulisboa.pt/vida-no-isa/destaques/noticias/20240112-tecnologia-lidar>

European Commission (2023). Digital-Strategy.ec.europa.eu. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-ai-alliance>

Tinti, S. et al (2011). Manual de Cenários de Risco e Danos de Tsunami: SCHEMA (Scenarios for Hazard induced Emergencies Management), project nº030963, specific targeted research project, space priority. In Serviço das Publicações da União Europeia. Serviço das Publicações da União Europeia. <https://op.europa.eu/pt/publication-detail/-/publication/6348d1a2-c0c1-4595-99db-92cf207b8639>

Unger, D. R., Kulhavy, D. L., Hung, I-Kuai., Williams, V., Zhang, Y., & Viegut, R. (2024). Use of Drones to Monitor and Aid Disaster Management Efforts of Natural Resources. IntechOpen EBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1004598>

Valença, J., Puente, I., Júlio, E. N. B. S., & Gonzalez, H. (2015). Avaliação de fissuras em pontes e viadutos de betão através de um método inovador – CrackBri - baseado em processamento de imagem e laser-scanning. 4º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes-ASCP'15, LNEC, Lisboa, Portugal.

Zahir, H., Fathi, M. S., & Tharima, A. F. (2022). Strategic framework of using drone in cities disaster response. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1091(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1091/1/012004>

## GEE Papers

- 1: Evolução do Comércio Externo Português de Exportação (1995-2004)  
[João Ferreira do Amaral](#)
- 2: Nowcasting an Economic Aggregate with Disaggregate Dynamic Factors: An Application to Portuguese GDP  
[Antonio Morgado](#) | [Luis Nunes](#) | [Susana Salvado](#)
- 3: Are the Dynamics of Knowledge-Based Industries Any Different?  
[Ricardo Mamede](#) | [Daniel Mota](#) | [Manuel Godinho](#)
- 4: Competitiveness and convergence in Portugal  
[Jorge Braga de Macedo](#)
- 5: Produtividade, Competitividade e Quotas de Exportação  
[Jorge Santos](#)
- 6: Export Diversification and Technological Improvement: Recent Trends in the Portuguese Economy  
[Manuel Cabral](#)
- 7: Election Results and Opportunistic Policies: An Integrated Approach  
[Toke Aidt](#) | [Francisco Veiga](#) | [Linda Veiga](#)
- 8: Behavioural Determinants of Foreign Direct Investment  
[Ricardo Pinheiro-Alves](#)
- 9: Structural Transformation and the role of Foreign Direct Investment in Portugal: a descriptive analysis for the period 1990-2005  
[Miguel de Freitas](#) | [Ricardo Mamede](#)
- 10: Productive experience and specialization opportunities for Portugal: an empirical assessment  
[Miguel de Freitas](#) | [Susana Salvado](#) | [Luis Nunes](#) | [Rui Costa Neves](#)
- 11: The Portuguese Active Labour Market Policy during the period 1998-2003 - A Comprehensive Conditional Difference-In-Differences Application  
[Alcina Nunes](#) | [Paulino Teixeira](#)
- 12: Fiscal Policy in a Monetary Union: Gains from Changing Institutions  
[Susana Salvado](#)
- 13: Coordination and Stabilization Gains of Fiscal Policy in a Monetary Union  
[Susana Salvado](#)
- 14: The Relevance of Productive Experience in the Process of Economic Growth: an Empirical Study  
[Diana Vieira](#)
- 15: Employment and Exchange rates: the Role of Openness and Technology  
[Fernando Alexandre](#) | [Pedro Bação](#) | [João Cerejeira](#) | [Miguel Portela](#)
- 16: Aggregate and sector-specific exchange rate indexes for the Portuguese economy  
[Fernando Alexandre](#) | [Pedro Bação](#) | [João Cerejeira](#) | [Miguel Portela](#)
- 17: The Macroeconomic Determinants of Cross Border Mergers and Acquisitions and Greenfield Investments  
[Paula Neto](#) | [Antonio Brandao](#) | [António Cerqueira](#)
- 18: Does the location of manufacturing determine service sectors' location choices? Evidence from Portugal  
[Nuno Crespo](#) | [Maria Paula Fontoura](#)
- 19: A hipótese do Investment Development Path: Uma Abordagem por Dados em Painel. Os casos de Portugal e Espanha  
[Miguel Fonseca](#) | [António Mendonça](#) | [José Passos](#)
- 20: Outward FDI Effects on the Portuguese Trade Balance, 1996-2007  
[Miguel Fonseca](#) | [António Mendonça](#) | [José Passos](#)
- 21: Sectoral and regional impacts of the European Carbon Market in Portugal  
[Margarita Robaina Alves](#) | [Miguel Rodriguez](#) | [Catarina Roseta-Palma](#)
- 22: Business Demography Dynamics in Portugal: A Non-Parametric Survival Analysis  
[Alcina Nunes](#) | [Elsa Sarmento](#)
- 23: Business Demography Dynamics in Portugal: A Semi-parametric Survival Analysis  
[Alcina Nunes](#) | [Elsa Sarmento](#)
- 24: Digging Out the PPP Hypothesis: an Integrated Empirical Coverage  
[Miguel de Carvalho](#) | [Paulo Júlio](#)
- 25: Regulação de Mercados por Licenciamento  
[Patrícia Cerqueira](#) | [Ricardo Pinheiro Alves](#)
- 26: Which Portuguese Manufacturing Firms Learn by Exporting?  
[Armando Silva](#) | [Óscar Afonso](#) | [Ana Paula Africano](#)
- 27: Building Bridges: Heterogeneous Jurisdictions, Endogenous Spillovers, and the Benefits of Decentralization  
[Paulo Júlio](#) | [Susana Peralta](#)

- 28: Análise comparativa de sobrevivência empresarial: o caso da região Norte de Portugal  
[Elsa Sarmento](#) | [Alcina Nunes](#)
- 29: Business creation in Portugal: Comparison between the World Bank data and Quadros de Pessoal  
[Elsa Sarmento](#) | [Alcina Nunes](#)
- 30: The Ease of Doing Business Index as a tool for Investment location decisions  
[João Zambujal Oliveira](#) | [Ricardo Pinheiro Alves](#)
- 31: The Politics of Growth: Can Lobbying Raise Growth and Welfare?  
[Paulo Júlio](#)
- 32: The choice of transport technology in the presence of exports and FDI  
[José Pedro Ponte](#) | [Armando Garcia Pires](#)
- 33: Tax Competition in an Expanding European Union  
[Ronald Davies](#) | [Johannes Voget](#)
- 34: The usefulness of State trade missions for the internationalization of firms: an econometric analysis  
[Ana Paula Africano](#) | [Aurora Teixeira](#) | [André Caiado](#)
- 35: The role of subsidies for exports: Evidence from Portuguese manufacturing firms  
[Armando Silva](#)
- 36: Criação de empresas em Portugal e Espanha: análise comparativa com base nos dados do Banco Mundial  
[Elsa Sarmento](#) | [Alcina Nunes](#)
- 37: Economic performance and international trade engagement: the case of Portuguese manufacturing firms  
[Armando Silva](#) | [Oscar Afonso](#) | [Ana Paula Africano](#)
- 38: The importance of Intermediaries organizations in international R&D cooperation: an empirical multivariate study across Europe  
[Aurora Teixeira](#) | [Margarida Catarino](#)
- 39: Financial constraints, exports and monetary integration - Financial constraints and exports: An analysis of Portuguese firms during the European monetary integration  
[Filipe Silva](#) | [Carlos Carreira](#)
- 40: FDI and institutional reform in Portugal  
[Paulo Júlio](#) | [Ricardo Pinheiro-Alves](#) | [José Tavares](#)
- 41: Evaluating the forecast quality of GDP components  
[Paulo Júlio](#) | [Pedro Esperança](#) | [João C. Fonseca](#)
- 42: Assessing the Endogeneity of OCA conditions in EMU  
[Carlos Vieira](#) | [Isabel Vieira](#)
- 43: Labor Adjustment Dynamics: An Application of System GMM  
[Pedro Esperança](#)
- 44: Corporate taxes and the location of FDI in Europe using firm-level data  
[Tomás Silva](#) | [Sergio Lagoa](#)
- 45: Public Debt Stabilization: Redistributive Delays versus Preemptive Anticipations  
[Paulo Júlio](#)
- 46: Organizational Characteristics and Performance of Export Promotion Agencies: Portugal and Ireland compared  
[Inês Ferreira](#) | [Aurora Teixeira](#)
- 47: Evaluating the forecast quality of GDP components: An application to G7  
[Paulo Júlio](#) | [Pedro Esperança](#)
- 48: The influence of Doing Business' institutional variables in Foreign Direct Investment  
[Andreia Olival](#)
- 49: Regional and Sectoral Foreign Direct Investment in Portugal since Joining the EU: A Dynamic Portrait  
[Irina Melo](#) | [Alexandra Lopes](#)
- 50: Institutions and Firm Formation: an Empirical Analysis of Portuguese Municipalities  
[Simão Arouca](#)
- 51: Youth Unemployment in Southern Europe  
[João Leão](#) | [Guida Nogueira](#)
- 52: Financiamento da Economia Portuguesa: um Obstáculo ao Crescimento?  
[João Leão](#) | [Ana Martins](#) | [João Gonçalves](#)
- 53: O Acordo de Parceria Transatlântica entre a UE e os EUA constitui uma ameaça ou uma oportunidade para a Economia Portuguesa?  
[João Leão](#) | [Guida Nogueira](#)
- 54: Prescription Patterns of Pharmaceuticals  
[Ana Gonçalves](#)
- 55: Economic Growth and the High Skilled: the Role of Scale Effects and of Barriers to Entry into the High Tech  
[Pedro Gil](#) | [Oscar Afonso](#) | [Paulo Brito](#)
- 56: Finanças Públicas Portuguesas Sustentáveis no Estado Novo (1933-1974)?  
[Ricardo Ferraz](#)
- 57: What Determines Firm-level Export Capacity? Evidence from Portuguese firms  
[Ana Gouveia](#) | [Ana Luisa Correia](#)
- 58: The effect of developing countries' competition on regional labour markets in Portugal  
[Tiago Pereira](#)
- 59: Fiscal Multipliers in the 21st century  
[Pedro Brinca](#) | [Hans Holter](#) | [Per Krusell](#) | [Laurence Malafry](#)

- 60: Reallocation of Resources between Tradable and Non-Tradable Sectors in Portugal: Developing a new Identification Strategy for the Tradable Sector  
[Ana Fontoura Gouveia](#) | [Filipa Canas](#)
- 61: Is the ECB unconventional monetary policy effective?  
[Inês Pereira](#)
- 62: The Determinants of TFP Growth in the Portuguese Manufacturing Sector  
[Daniel Gonçalves](#) | [Ana Martins](#)
- 63: Practical contribution for the assessment and monitoring of product market competition in the Portuguese Economy – estimation of price cost margins  
[Luis Folque](#)
- 64: The impact of structural reforms of the judicial system: a survey  
[Ana Gouveia](#) | [Silvia Santos](#) | [Corinna Herber](#)
- 65: The short-term impact of structural reforms on productivity growth: beyond direct effects  
[Ana Gouveia](#) | [Silvia Santos](#) | [Inês Gonçalves](#)
- 66: Assessing the Competitiveness of the Portuguese Footwear Sector  
[Fábio Batista](#) | [José Matos](#) | [Miguel Matos](#)
- 67: The empirics of agglomeration economies: the link with productivity  
[Ana Gouveia](#) | [Silvia Santos](#) | [Marli Fernandes](#)
- 68: Determinants of the Portuguese GDP stagnation during the 2001-2014 period: an empirical investigation  
[Carlos Figueira](#)
- 69: Short-run effects of product markets' deregulation: a more productive, more efficient and more resilient economy?  
[Ana Gouveia](#) | [Silvia Santos](#) | [Gustavo Monteiro](#)
- 70: Portugal: a Paradox in Productivity  
[Ricardo Pinheiro Alves](#)
- 71: Infrastructure Investment, Labor Productivity, and International Competitiveness: The Case of Portugal  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#)
- 72: Boom, Slump, Sudden stops, Recovery, and Policy Options. Portugal and the Euro  
[Olivier Blanchard](#) | [Pedro Portugal](#)
- 73: Case Study: DBRS Sovereign Rating of Portugal. Analysis of Rating Methodology and Rating Decisions  
[Annika Luisa Hofmann](#) | [Miguel Ferreira](#) | [João Lampreia](#)
- 74: For Whom the Bell Tolls: Road Safety Effects of Tolls on Uncongested SCUT Highways in Portugal  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#) | [João Pereira dos Santos](#)
- 75: Is All Infrastructure Investment Created Equal? The Case of Portugal  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#)
- 76: Why Virtuous Supply-Side Effects and Irrelevant Keynesian Effects are not Foregone Conclusions: What we Learn from an Industry-Level Analysis of Infrastructure Investments in Portugal  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#)
- 77: The Role of Gravity Models in Estimating the Economic Impact of Brexit  
[Graham Gudgin](#) | [Ken Coutts](#) | [Neil Gibson](#) | [Jordan Buchanan](#)
- 78: Infrastructure Investment in Portugal and the Traded/Non-Traded Industry Mix  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#)
- 79: Goods and Factor Market Integration: A Quantitative Assessment of the EU Enlargement  
[Lorenzo Caliendo](#) | [Fernando Parro](#) | [Luca David Opromolla](#) | [Alessandro Sforza](#)
- 80: Understanding productivity dynamics: a task taxonomy approach  
[Tiago Fonseca](#) | [Francisco Lima](#) | [Sonia C. Pereira](#)
- 81: On the Effects of Infrastructure Investments on Industrial CO2 Emissions in Portugal  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#)
- 82: Assessing Competition With the Panzar-Rosse Model: An empirical analysis of European Union banking industry  
[Suzana Cristina Silva Andrade](#)
- 83: Health Care Investments and Economic Performance in Portugal: An Industry Level Analysis  
[Alfredo Pereira](#) | [Rui Pereira](#) | [Pedro G. Rodrigues](#)
- 84: Is deregulation of product and labour markets promoting employment and productivity? A difference-in-differences approach  
[Hugo Correia](#) | [Ana Fontoura Gouveia](#)
- 85: Foreign acquisition and internal organization  
[Paulo Bastos](#) | [Natália P. Monteiro](#) | [Odd Rune Straume](#)
- 86: Learning, Prices, and Firm Dynamics  
[Paulo Bastos](#) | [Daniel A. Dias](#) | [Olga A. Timoshenko](#)
- 87: The Diffusion of Knowledge via Managers' Mobility  
[Giordano Mion](#) | [Luca David Opromolla](#) | [Alessandro Sforza](#)
- 88: Empresas Zombie em Portugal - Os sectores não transacionáveis da Construção e dos Serviços  
[Gabriel Osório de Barros](#) | [Filipe Bento Caires](#) | [Dora Xarepe Pereira](#)

- 89: Collective bargaining through the magnifying glass: A comparison between the Netherlands and Portugal  
Alexander Hijzen | Pedro Martins | Jante Parlevliet
- 90: A Lower VAT Rate on Electricity in Portugal: Towards a Cleaner Environment, Better Economic Performance, and Less Inequality  
Alfredo Pereira | Rui Manuel Pereira
- 91: Who Seeks Re-Election: Local Fiscal Restraints and Political Selection  
Susana Peralta | João Pereira dos Santos
- 92: Assessing the Competitiveness of the Metalworking Sector  
João Marinho | Pedro Carvalho
- 93: The efficiency of Portuguese Technology Transfer Offices and the importance of university characteristics  
Aurora Teixeira | André Monteiro
- 94: Persistence in innovation and innovative behavior in unstable environments  
Joana Costa | Anabela Botelho | Aurora Teixeira
- 95: The effect of entrepreneurial origin on firms' performance - The case of Portuguese academic spinoffs  
Natália Barbosa | Ana Paula Faria
- 96: Absorptive Capacity and Firms' Generation of Innovation - Revisiting Zahra and George's Model  
Dina Pereira | João Leitão
- 97: Innovations in digital government as business facilitators: implications for Portugal  
João Martins | Linda Veiga
- 98: Innovation and the economic downturn: Insights from Portuguese firms  
Hugo Pinto | Tiago Santos Pereira | Elvira Uyerra
- 99: European Funds and Firm Dynamics: Estimating Spillovers from Increased Access  
João Pereira dos Santos | José Tavares
- 100: Corporate Leverage and Investment in Portugal  
Ana Martins | José Henrique Gonçalves | João Mário Ferreira Duque
- 101: The effects of official and unofficial information on tax compliance  
Filomena Garcia | Luca David Opromolla | Andrea Vezzulli | Rafael Marques
- 102: Competition effect on innovation and productivity - The Portuguese case  
Anabela Santos | Michele Cincera | Paulo Neto | Maria Manuel Serrano
- 103: Measuring the Welfare of Intermediation in Vertical Markets  
Javier D. Donna | Pedro Pereira | Tiago Pires | Andre Trindade
- 104: Of course Collusion Should be Prosecuted. But Maybe... Or (The case for international antitrust agreements)  
Filomena Garcia | Jose Manuel Paz y Minõ | Gustavo Torrens
- 105: Product market competition and gender discrimination  
Dudley Cooke | Ana P. Fernandes | Priscila Ferreira
- 106: Integration of Small Technology-Based Firms in Aeronautics  
Anabela Reis | Joana Mendonça | Ligia Urbina
- 107: The Effects of Highway Tolls on Private Business Activity - Results from a Natural Experiment  
João Pereira dos Santos | David B. Audretsch | Dirk Dohse
- 108: Competition and Firm Productivity: Evidence from Portugal  
Pedro Carvalho
- 109: Do Exchange Traded Funds (ETFs) Outperform the Market? Evidence from the Portuguese Stock Index  
Carlos Manuel Pinheiro | Hugo Hilário Varela
- 110: Assessing the Competitiveness of the Portuguese Chemical Sector  
Ana Rita Marques | Cátia Silva
- 111: A General Equilibrium Theory of Occupational Choice under Optimistic Beliefs about Entrepreneurial Ability  
Michele Dell'Era | Luca David Opromolla | Luis Santos-Pinto
- 112: O Mercado Segurador em Portugal: O Papel dos Gestores na Constituição de Provisões  
Soraia de Sousa Bornett | Carlos Manuel Pinheiro
- 113: Exploring the implications of different loan-to-value macroprudential policy designs  
Rita Basto | Sandra Gomes | Diana Lima
- 114: The Determinants of TFP Growth in the Portuguese Service Sector  
Ana Martins | Tiago Domingues | Catarina Branco
- 115: Agglomeration and Industry Spillover Effects in the Aftermath of a Credit Shock  
José Jorge | Joana Rocha
- 116: Entrepreneurial Human Capital and Firm Dynamics  
Francisco Queiró
- 117: Global Value Chains and Vertical Specialization: The case of Portuguese Textiles and Shoes exports  
Tiago Domingues
- 118: Firm heterogeneity and exports in Portugal: Identifying export potential  
Frederico Oliveira Torres

- 119: Vantagens Comparativas Reveladas e suas determinantes: Uma Aplicação à Economia Portuguesa  
[Guida Nogueira](#) | [António Portugal Duarte](#)
- 120: A Look at the main channels of Potential Impact of Brexit on the Portuguese Economy  
[Guida Nogueira](#) | [Paulo Inácio](#)
- 121: How internationalization and competitiveness contribute to get public support to innovation? The Portuguese case  
[Anabela Santos](#), [Michele Cincera](#), [Paulo Neto](#) | [Maria Manuel Serrano](#)
- 122: Grande Guerra e Guerra Colonial: Quanto Custaram aos Cofres Portugueses?  
[Ricardo Ferraz](#)
- 123: Financing a Renewable Energy Feed-in Tariff with a Tax on Carbon Dioxide Emissions: A Dynamic Multi-Sector General Equilibrium Analysis for Portugal  
[Rui M. Pereira](#) | [Alfredo M. Pereira](#)
- 124: Brown Sugar, how come you taste so good? The impact of a soda tax on prices and consumption  
[Judite Gonçalves](#) | [João Pereira dos Santos](#)
- 125: ARFIMA Reference Forecasts for Worldwide CO2 Emissions and the National Dimension of the Policy Efforts to Meet IPCC Targets  
[José Beirute](#) | [Alfredo M. Pereira](#)
- 126: Reference Forecasts for CO2 Emissions from Fossil-Fuel Combustion and Cement Production in Portugal  
[José M. Belbutte](#) | [Alfredo M. Pereira](#)
- 127: Regulated Early Closures of Coal-Fired Power Plants and Tougher Energy Taxation on Electricity Production: Synergy or Rivalry?  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Manuel Pereira](#)
- 128: Picking Our Environmental Battles: Removal of Harmful Subsidies or Carbon Taxation?  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Marvão Pereira](#)
- 129: Financing Future Feed-in Tariffs from Currently Installed RES-E Generating Capacity  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Marvão Pereira](#)
- 130: Foreign Direct Investment, Income Inequality and Poverty in Portugal, 1973-2014: What does cointegration analysis tell us?  
[Aurora Teixeira](#) | [Ana Sofia Loureiro](#)
- 131: On the Spillover Effects of CO2 Taxation on the Emissions of other Air Pollutants  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Marvão Pereira](#)
- 132: On the Macroeconomic and Distributional Effects of the Regulated Closure of Coal-Operated Power Plants  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Manuel Pereira](#)
- 133: The China Shock and Employment in Portuguese Firms  
[Lee Branstetter](#) | [Brian Kovak](#) | [Jacqueline Mauro](#) | [Ana Venâncio](#)
- 134: Energy Taxation Reform with an Environmental Focus  
[Alfredo Marvão Pereira](#) | [Rui Manuel Pereira](#)
- 135: ARFIMA Reference Forecasts for Worldwide CO2 Emissions and the Need for Large and Frontloaded Decarbonization Policies  
[José M. Belbutte](#) | [Alfredo M. Pereira](#)
- 136: Exporter Firms Behaviour, Evidence From Portuguese Firms Using Microdata  
[Luís Pedro Manso Machado](#)
- 137: Collateral Value and Entrepreneurship: Evidence from a Property Tax Reform  
[Miguel Ferreira](#) | [João Pereira dos Santos](#) | [Ana Venâncio](#)
- 138: The Financial Channels of Labor Rigidities: Evidence from Portugal  
[Eduardo M. Acabbi](#) | [Ettore Panetti](#) | [Alessandro Sforza](#)
- 139: Can a small leak sink a great ship? A comprehensive analysis of the Portuguese household savings  
[Tiago Domingues](#) | [Margarida Castro Rego](#)
- 140: Corporate taxes and high-quality entrepreneurship: evidence from a tax reform  
[Ana Venâncio](#) | [Victor Barros](#) | [Clara Raposo](#)
- 141: Built Like a House of Cards? - Corporate Indebtedness and Productivity Growth in the Portuguese Construction Sector1  
[José Santos](#) | [Nuno Tavares](#) | [Gabriel Osório de Barros](#)
- 142: Effectiveness of Simplex: The Case of Portuguese Social Security  
[António Alberto Nifrário de Pinho Tavares](#)
- 143: Digital innovation in higher education: A questionnaire to Portuguese universities and polytechnic institutes  
[Paulo Nuno Vicente](#) | [Margarida Lucas](#) | [Vânia Carlos](#)
- 144: Portugal in the Global Innovation Index: A panel data analysis  
[Marcelo P. Duarte](#) | [Fernando M. P. O. Carvalho](#)
- 145: Intangible investments and productivity performance  
[Michele Cincera](#) | [Julie Delanote](#) | [Pierre Mohnen](#) | [Anabela Santos](#) | [Christoph Weiss](#)
- 146: Digitalization in Two-sided Platform Competition  
[Filomena Garcia](#) | [Muxin Li](#)
- 147: Collusion between two-sided platforms  
[Joana Pinho](#) | [Yassine Lefouilli](#)
- 148: Da confluência entre Big Data e Direito da Concorrência: As concentrações digitais - O caso Facebook/WhatsApp  
[Ana Rodrigues Bidarra](#)

- 149: The Determinants of Total Factor Productivity in the Portuguese Quaternary Sector  
Paulo Matos | Pedro Neves
- 150: Os modelos Input-Output, a estrutura setorial das economias e o impacto da crise da COVID 19  
Pedro N. Ramos | João Ferreira | Luís Cruz | Eduardo Barata
- 151: Public Expenditure and private firm performance: using religious denominations for causal inference  
Henrique Alpalhão | Marta Lopes | João Santos | José Tavares
- 152: Employee Training and Firm Performance: Quasi-experimental evidence from the European Social Fund  
Pedro S. Martins
- 153: Dream Jobs  
Luca David Opromolla | Giordano Mion | Gianmarco I.P. Ottaviano
- 154: Minimum wage and financially distressed firms: another one bites the dust  
F. Alexandre | P. Bação | J. Cerejeira | H. Costa | M. Portela
- 155: Do short-term rentals increase housing prices? Quasi-experimental evidence from Lisbon  
Susana Peralta | João Pereira dos Santos | Duarte Gonçalves
- 156: Economic and social policies under EMU  
Ricardo Pinheiro Alves
- 157: International Sourcing in Portuguese Companies - Evidence from Portuguese Micro Data  
Ana Martins | Guida Nogueira | Eva Pereira
- 158: The Impact of R&D tax incentives in Portugal  
Rita Bessone Basto | Ana Martins | Guida Nogueira
- 159: The Determinants of Competitiveness of the Portuguese Defense Industry  
Roxanne Merenda
- 160: How is the Minimum Wage Shaping the Wage Distribution: Bite, Spillovers, and Wage Inequality  
Carlos Oliveira
- 161: Macroeconomy Impacts of the Covid-19 Pandemic in Some European Union Countries: a Counterfactual Analysis  
António Portugal Duarte | Fátima Sol Murta
- 162: Digital adoption and productivity: understanding micro drivers of the aggregate effect  
Natália Barbosa | Ana Paula Faria
- 163: Job Creation and Destruction in the Digital Age: What about Portugal?  
Anabela M. Santos | Javier Barbero Jimenez | Simone Salotti | Andrea Conte
- 164: Is digital government facilitating entrepreneurship? A comparative statics analysis.  
Joana Costa | Luís Carvalho
- 165: Automation trends in Portugal: implications in productivity and employment  
Marta Candeias | Nuno Boavida | António Brandão Moniz
- 166: Digital Technologies for Urban Greening Public Policies  
Maria José Sousa
- 167: The impact of a rise in transportation costs on firm performance and behaviour  
Catarina Branco | Dirk C. Dohse | João Pereira dos Santos | José Tavares
- 168: Outward FDI, restructuring, performance upgrading and resilience: Firm-level evidence from Portugal  
Natália Barbosa
- 169: Firm adaptation in COVID-19 times: The case of Portuguese exporting firms  
João Capella-Ramos | Romina Guri
- 170: Supporting small firms through recessions and recoveries  
Diana Bonfim | Cláudia Custódio | Clara Raposo
- 171: The Credit Channel of Public Procurement  
Ricardo Duque Gabriel
- 172: Autonomia Estratégica Aberta na União Europeia: desafios e oportunidades na era da tecnologia digital  
Gabriel Osório de Barros | Catarina Castanheira Nunes
- 173: R&D subsidies and Portuguese firms' performance: A longitudinal firm-level study  
Inês Ferraz Teixeira | Aurora A.C. Teixeira | Luís Delfim Santos
- 174: Does scientific research output matter for Portugal's economic growth?  
Tânia Pinto | Aurora A.C. Teixeira
- 175: Science and productivity in European firms: How do regional innovation modes matter?  
Natália Barbosa | Ana Paula Faria
- 176: Employment versus Efficiency: Which Firms Should R&D Tax Credits Target?  
Anna Bernard | Rahim Lila | Joana Silva
- 177: Forging AI Pathways: Portugal's Journey within the EU Digital Landscape  
Gabriel Osório de Barros
- 178: Revisitar as Empresas Zombie em Portugal (2008-2021)  
Ricardo Pinheiro Alves | Nuno Tavares | Gabriel Osório de Barros
- 179: A dependência da União Europeia no lítio e nas baterias de ião-de-lítio: análise à luz da autonomia estratégica  
Beatriz Raichande

- 180: Artificial Intelligence in Agriculture: Revolutionizing Methods and Practices in Portugal  
[Maria José Sousa](#)
- 181: EU-funded investment in Artificial Intelligence and regional specialization  
[Anabela Marques Santos](#) | [Francesco Molica](#) | [Carlos Torrecilla Salinas](#)
- 182: Distance to Export: A Machine Learning Approach with Portuguese Firms  
[Paulo Barbosa](#) | [João Cortes](#) | [João Amador](#)
- 183: Artificial Intelligence and exporting performance: Firm-level evidence from Portugal  
[Natália Barbosa](#)
- 184: Inteligência Artificial Ética - Contributos Interdisciplinares para a Ação  
[Ana Cláudia Albergaria](#)
- 185: Utilização de IA para previsão de desastres naturais em Portugal  
[Pedro Gomes](#) | [Tiago Cardoso](#)



