

Entre Algoritmos e Ilhas: Inteligência Artificial, Empreendedorismo e Sustentabilidade na Região Autónoma da Madeira

Gilda Maria de Gouveia Jardim

ISCTE | jardimgilda721@gmail.com
orcid:0009-0007-0630-7862

Marco António Freitas Teles

ISCTE | marcoantonio98@gmail.com
orcid:0009-0005-4302-7478

Resumo: Este artigo examina o impacto da inteligência artificial (IA) no empreendedorismo, com foco na Região Autónoma da Madeira (RAM), uma região ultraperiférica (RUP) da União Europeia (UE). Parte-se da questão: de que forma a IA contribui para a inovação, competitividade e resiliência do ecossistema empreendedor local? Adota-se uma metodologia qualitativa com base numa revisão exploratória da literatura recente, (2018-2024), complementada pela análise de documentos estratégicos regionais e europeus. Os resultados sugerem que a integração da IA pode potenciar ganhos de eficiência, promover práticas de empreendedorismo mais sustentáveis e apoiar a transição digital da economia local. Contudo, o processo depende fortemente da articulação entre políticas públicas, instituições de ensino e agentes locais, criando condições estruturais para uma adoção inclusiva e sustentável da IA. Conclui-se que o desenvolvimento de condições estruturais é crucial para garantir uma adoção inclusiva e sustentável no contexto empreendedor da RAM.

Palavras-chave: inteligência artificial, empreendedorismo, inovação, regiões ultraperiféricas

Abstract: This article examines the impact of artificial intelligence (AI) on entrepreneurship, with a focus on the Autonomous Region of Madeira (RAM), an outermost region (OR) of the European Union (EU). The question starts: how does AI contribute to the innovation, competitiveness and resilience of the local entrepreneurial ecosystem? A qualitative methodology is adopted based on a narrative review of recent scientific literature (2018-2024), complemented by the analysis of regional and European strategic documents. The results suggest that the integration of AI can enhance efficiency gains, promote more sustainable entrepreneurship practices, and support the digital transition of the local economy. However, the process strongly depends on the articulation between public policies, educational institutions, and local agents, creating structural conditions for an inclusive and sustainable adoption of AI. It is concluded that the development of structural conditions is crucial to ensure an inclusive and sustainable adoption in the entrepreneurial context of the Autonomous Region of Madeira.

Keywords: artificial intelligence, entrepreneurship, innovation, outermost regions

Introdução

A IA tem revolucionado diversos setores económicos e sociais, representando uma ferramenta estratégica para superar desafios estruturais e promover o desenvolvimento (Brynjolfsson & McAfee, 2017; Silva, Correia & Mendes, 2023). Esta revolução não deixa as RUP indiferentes, que enfrentam desafios estruturais: insularidade, reduzida escala de mercado, vulnerabilidade ambiental e dependência de setores tradicionais, como o turismo. Neste contexto, a integração estratégica da IA surge como um potencial catalisador de inovação, competitividade e sustentabilidade, tanto no tecido empresarial como nas instituições de ensino (Schwab, 2020; Marques et al., 2023).

Este artigo propõe analisar criticamente o impacto da IA no empreendedorismo e na educação empreendedora em RUP, procurando responder a três questões centrais:

- Quais são as principais oportunidades e desafios da adoção da IA em contextos ultraperiféricos?
- Como podem municípios, universidades e escolas atuar em rede para potenciar o ecossistema de inovação?
- Que políticas e práticas são mais eficazes para promover o desenvolvimento sustentável e a coesão territorial nestas regiões?

A literatura recente (Vinuesa et al., 2020; Schwab, 2020; OECD, 2024) destaca o papel da IA como catalisador para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo quando articulada com políticas públicas robustas, redes colaborativas e capacitação empreendedora. Na RAM, observa-se uma crescente mobilização de atores institucionais – como universidades, autarquias, incubadoras e startups – em torno de iniciativas de transformação digital e empreendedorismo sustentável (Governo Regional da Madeira, 2024; Startup Madeira, 2023). Esta dinâmica insere-se num contexto europeu mais alargado de transição digital, no qual as regiões ultraperiféricas são chamadas a desenvolver estratégias adaptativas que valorizem a inovação, a inclusão e a sustentabilidade (European Commission, 2024).

O presente artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, apresenta-se uma revisão exploratória da literatura sobre IA, empreendedorismo e contextos ultraperiféricos; em seguida, descreve-se a metodologia adotada; posteriormente, analisam-se os principais resultados; discutem-se as implicações dos achados; e, por fim, apresentam-se as conclusões e recomendações para políticas e práticas futuras. O texto estrutura-se de acordo com o modelo: Introdução, Métodos, Resultados e Discussão (IMRAD).

2. Revisão da Literatura

A IA tem vindo a assumir um papel central no desenvolvimento do empreendedorismo, sobretudo em territórios ultraperiféricos como a RAM. A literatura recente reconhece que as RUP da UE, como a RAM, enfrentam desafios estruturais relacionados com a sua

localização, insularidade, a escala reduzida, a vulnerabilidade ambiental e a dependência de poucos sectores económicos, dependentes das políticas públicas de apoio à inovação (Comissão Europeia, 2024; European Commission, 2024). As RUP são reconhecidas pelo artigo 349º do Tratado sobre o funcionamento da União Europeia (TFUE), que prevê medidas específicas devido às suas características estruturais. Na EU, atualmente existem 3 países com RUP, são eles Portugal, Espanha e França, e as RUP são 9, são as seguintes: Portugal (2), RAM; Região Autónoma dos Açores (RAA); Espanha (1): Canárias; França (5): Guadalupe; Martinica; Guiana Francesa; Reunião; Maiote; São Martinho.

A IA promove inovação ao automatizar processos, melhorar decisões estratégicas e criar modelos de negócios, sendo especialmente relevante em contextos ultraperiféricos onde recursos são limitados (Davenport & Ronanki, 2018; Schwab, 2020). Davenport e Ronanki analisam aplicação prática da IA nas empresas destacando que a maioria dos projetos assenta em soluções orientadas por dados que ampliam as capacidades humanas.

Com base na análise de Davenport e Ronanki, é possível compreender de que forma a IA está a ser aplicada pelas empresas para melhorar processos, apoiar decisões e ampliar capacidades humanas. As principais contribuições podem ser resumidas da seguinte forma:

- Automatização de processos; tarefas administrativas e operacionais (ex.: processamento de faturas, respostas automáticas a e-mails).
- Análise de imagens e padrões (ex: reconhecimento de voz)
- Tomada de decisão, nomeadamente algoritmos que suportam decisões (ex.: gestão de risco, recomendações).

Esta utilização da IA resulta em melhorias de eficiência, redução de custos e aumento da satisfação dos clientes. A maioria dos projetos de IA são incrementais e não disruptivos. Os autores destacam que o sucesso depende mais da gestão e da estratégia organizacional do que da tecnologia em si. Alguns desafios prendem-se com a falta de mão de obra especializada, expectativas irreais e necessidade de mudança cultural na adoção destas soluções.

Para que estas abordagens se traduzam em impacto real, sobretudo em contextos como o das RUP, é crucial a atuação integrada de políticas públicas e iniciativas de educação empreendedora — elementos apontados como determinantes para a capacitação na adoção eficaz da IA (Marques et al., 2023; OECD, 2024).

Pelas suas características, as RUP tornam-se “laboratórios vivos” numa prática experimental de implementação de modelos inovadores de desenvolvimento, segundo a Comissão Europeia (2024). Como salientam Almeida e Garrod (2024), os motores e inibidores do empreendedorismo nestes territórios estão intimamente ligados a fatores como educação empreendedora, redes de financiamento, resiliência social e literacia digital. Estes autores defendem uma educação empreendedora contextualizada, integrando o território, a economia circular e a sustentabilidade. Comparando a RAM com outras RUP como as Canárias, destaca-se a emergência de projetos-piloto em IA aplicada à saúde, educação e turismo, potenciados por fundos estruturais europeus (Majdak & Almeida, 2023; Comissão Europeia, 2024).

Tabela 1. Indicadores comparativos de inovação e digitalização das RUP

Indicador	RAM	RAA	Canárias	Guadalupe	Média RUP
Startups tecnológicas (2023)	80	45	150	20	74
Projetos de IA implementados	15	7	22	3	11
Taxa de literacia digital (%)	68	62	74	53	64
Financiamento europeu por hab. (€)	180	150	120	200	163

Fonte: Elaborado pelos autores com base em: Comissão Europeia (2024) – Outermost Regions Factsheet; Eurostat (2024) – Regional Innovation Scoreboard; Startup Madeira (2023) – Relatório de Atividades e Impacto 2022–2023; OECD (2024) – Education and Digital Skills in Remote Territories

A análise dos indicadores da Tabela 1 evidencia uma discrepância relevante: apesar de a RAM beneficiar de um financiamento europeu superior por habitante (180 €), o desempenho em número de startups tecnológicas e projetos de IA é inferior ao registado nas Canárias. Esta diferença pode ser explicada por fatores estruturais; como o número de habitantes (2,2 milhões de habitantes face a cerca de 250 mil na RAM), que gera uma maior procura e diversidade empresarial; uma conectividade aérea e logística mais robusta; e uma tradição de políticas públicas e ecossistemas de inovação mais consolidados, com incubadoras e hubs tecnológicos de maior escala. Estes fatores ajudam a compreender como, mesmo com menos recursos por habitante, as Canárias conseguem transformar melhor o investimento em resultados de inovação quando comparadas com a RAM. Esta discrepância sugere que o investimento financeiro, por si só, não garante resultados, e que fatores como a capacidade institucional, redes de colaboração e estratégias de capacitação digital são determinantes. Assim, o perfil estrutural da RAM reforça a urgência de políticas de inovação contextualizadas, participativas e orientadas à eficácia, em linha com os desafios específicos das RUP.

Para compreender melhor os fatores estruturais que condicionam o desempenho em inovação, importa considerar o perfil sociodemográfico das RUP ibéricas, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: População e perfil sociodemográfico das RUP ibéricas

Região	País	População (aprox. 2024)	Características principais
RAM	Portugal	250.000	Turismo, envelhecimento populacional, inovação em saúde, IA emergente, 2 ilhas
RAA	Portugal	235.000	Agricultura, pesca, dispersão geográfica entre 9 ilhas
Canárias	Espanha	2.200.000	Turismo massivo, grande conectividade aérea, maior autonomia financeira 5 ilhas

Fonte: Elaborado pelos autores com base em: INE (2024) – Estatísticas Regionais da Madeira e Açores; ISTAC (2024) – Instituto Canário de Estatística; Eurostat (2024) –

Regional Demographic Indicators; PORDATA (2023) – Perfil demográfico das regiões portuguesas

A Tabela 2 apresenta os principais indicadores sociodemográficos das RUP ibéricas. A RAM destaca-se por apresentar o índice de envelhecimento mais elevado (146,4), refletindo um perfil demográfico mais envelhecido do que os Açores e Canárias. Embora a densidade populacional madeirense seja superior à média das RUP, a taxa de natalidade permanece baixa, e a taxa de atividade (54,3%) é também inferior à das Canárias. Estes indicadores reforçam a necessidade de políticas públicas focadas na renovação geracional, retenção de talento jovem e integração de estratégias de inovação digital e social para garantir a sustentabilidade do território. Dados demográficos e o destaque para características económicas e sociais foram abordados por Eurostat e complementados com a análise de Almeida e Garrod sobre desafios locais como dispersão geográfica e inovação. A comparação entre as RUP e regiões centrais da UE, como Bruxelas e os Países Baixos, evidencia assimetrias significativas em termos demográficos e de inovação. Enquanto as RUP, pela sua insularidade e pequena escala, enfrentam limitações estruturais, os centros europeus beneficiam de massa crítica, recursos e ecossistemas consolidados, servindo de referência para contextualizar os desafios e oportunidades da RAM.

Tabela 3. Densidade Populacional e Pressão Demográfica nas Regiões Ultraperiféricas e de Referência (2023)

Região / País	População (2024)	Área (km ²)	Densidade Populacional (hab./km ²)
RAM (PT)	250.000	801	320
RAA (PT)	235.000	2.333	100
Canárias (ES)	2.200.000	7.493	293
Guadalupe (FR)	375.000	1.628	230
Bruxelas (BE)	1.240.000	162	7.650
Países Baixos (NL)	17.800.000	41.543	428

Fonte: Elaboração própria com base em Direção Regional de Estatística da Madeira (DREM, 2024) – População residente na Região Autónoma da Madeira em 2023; Eurostat (2024) – Population Density by NUTS2 Regions; INE Portugal (2024) – Perfil Territorial RAM e RAA; ISTAC (2024) – Datos Territoriales de Canarias; OECD (2023) – Demographic Statistics.

A Tabela 3 evidencia as fortes assimetrias demográficas entre a RAM, outras RUP e regiões centrais da UE. A RAM apresenta em 2023 uma densidade populacional de 320 hab/km² (DREM, 2024), o valor mais elevado entre as RUP ibéricas, superando claramente os RAA (100 hab/km²) e ligeiramente as Canárias (293 hab/km²). Contudo, permanece muito abaixo de centros urbanos como Bruxelas (7.650 hab/km²) ou os Países Baixos (428 hab/km²). Esta disparidade revela um duplo desafio para a RAM: por um lado, enfrenta uma pressão urbana significativa num território limitado, e por outro, carece da massa crítica que caracteriza os ecossistemas de inovação mais densos do centro da UE. Assim, a formulação de políticas de inovação na RAM não pode replicar modelos continentais, devendo ser adaptada ao contexto insular, aproveitando as suas vantagens comparativas

como a proximidade comunitária e o potencial de “laboratório vivo” para soluções de sustentabilidade.

Neste cenário, a IA e outras tecnologias emergentes assumem um papel crucial ao permitir a superação de constrangimentos estruturais e ao fomentar modelos de empreendedorismo alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As RUP são hoje reconhecidas como “territorial innovation ecosystems” — espaços de experimentação e adaptação de soluções digitais às realidades locais (Comissão Europeia, 2024).

Como sublinham Almeida e Garrod (2024), o sucesso do empreendedorismo nestas regiões depende não apenas de tecnologia, mas também de fatores sociais e educativos críticos, como a educação empreendedora, o acesso a redes de financiamento, a literacia digital e a resiliência territorial. Uma abordagem contextualizada, com base nos princípios da economia circular, torna-se essencial para promover a inovação sustentável e inclusiva nas RUP.

Tabela 4: Indicadores de Desenvolvimento e Inovação: Comparação entre a RAM e Regiões de Referência (2023)

Indicador	RUP (ex: RAM/ RAA)	Bruxelas	Países Baixos
PIB per capita	Madeira:19.200€*1*2	Bruxelas:85.000€*1	Holanda:52.000€*1
Taxa de inovação	Moderada *2	Muito elevada*2	Elevadíssima*2
Conectividade Digital	Crescente/ limitada	Avançada	Avançada
Infraestruturas de transporte	Aeroportos e portos, mais limitados	Metros, comboios, hubs europeus	Alta densidade ferroviária
Apoio europeu	Elevado (ex: POSEI)	Menor	Menor

Fonte: Elaboração própria com base em Eurostat (2023) – Contas Regionais da União Europeia*1; European Commission (2024) – European Innovation Scoreboard*2; PORDATA (2023) – Contas Regionais RAM*3; INE Portugal (2024) – Estatísticas de Ciência e Tecnologia*4; ISTAC (2024) – Indicadores de I+D Canárias*5.

A Tabela 4 evidencia uma vez mais as assimetrias entre a RAM e outras regiões de referência da UE no domínio do desenvolvimento económico e da inovação. Apesar de apresentar um PIB per capita de 19.200 €, a RAM encontra-se significativamente abaixo da média europeia e de regiões líderes como Bruxelas ou os Países Baixos. O baixo investimento em Investigação e Desenvolvimento (I&D) (0,62% do PIB) e a reduzida percentagem de empresas com inovação digital (18,5%) confirmam a sua classificação como região de inovação “modesta” no Regional Innovation Scoreboard (2023). Estes valores sugerem que o ecossistema regional ainda enfrenta dificuldades em transformar recursos financeiros e programas europeus em resultados de inovação efetivos.

Em contraste, regiões como as Canárias, com indicadores de financiamento semelhantes, revelam melhor desempenho, o que sublinha que a capacidade institucional, a cooperação entre agentes e a qualificação de recursos humanos são fatores determinantes

para o aproveitamento do potencial da IA e da transição digital. Enquanto Bruxelas e os Países Baixos lideram em inovação, rendimento e conectividade, a RAM e as restantes RUP apresentam desempenhos mais modestos, apesar do apoio financeiro. Esta discrepância resulta de desafios estruturais persistentes como isolamento geográfico, baixa diversificação económica e custos logísticos elevados que condicionam a transformação do investimento em resultados de inovação efetivos.

2.1. O papel da educação empreendedora e das instituições locais

O ecossistema de inovação madeirense tem evoluído com base numa crescente articulação entre autarquias, instituições de ensino superior, incubadoras e startups como evidenciam iniciativas como a Startup Madeira e o Madeira Digital Transformation Hub. Esta dinâmica reforça a importância de uma gestão multinível, como defendem Sousa e Tavares (2024) e Marques et al. (2023), em que diferentes níveis institucionais colaboram para fomentar inovação.

Nesse contexto, a educação empreendedora surge como um pilar estratégico para a capacitação em IA e literacia digital. Costa e Pereira (2025) destacam que programas de formação em IA já integrados nos currículos do ensino superior regional, demonstrando um esforço claro para alinhar competências locais com os desafios da transformação digital. Estes autores sublinham ainda que esta capacitação deve visar não apenas à técnica, mas também ao impacto social e ambiental.

A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE 2024) e Schwab (2020) propõem uma cadeia de valor para a inovação sustentável em regiões ultraperiféricas, que parte do financiamento público e institucional (ex.: fundos europeus), passa pela formação em literacia digital e empreendedora, e culmina na adoção estratégica da IA por pequenas e médias empresas (PME) e startups. Este ciclo, quando bem implementado, contribui para ganhos reais em inovação, competitividade e resiliência local.

No domínio da saúde, por exemplo, começam a emergir abordagens inovadoras que reposicionam os profissionais como agentes transformadores, indo além da mera aplicação de tecnologia. Eduardo Leite et al. (2024) propõem uma leitura processual e simbólica da inovação terapêutica, centrada no conceito de *empreendedorismo regenerativo em saúde*. Nesta visão, o profissional de saúde é visto como protagonista na reinvenção das práticas de cuidado, promovendo mudanças não apenas técnicas, mas também éticas, relacionais e profundamente enraizadas no território. Tal abordagem mostra-se particularmente relevante em contextos insulares como os das RUP, onde os recursos humanos e institucionais são simultaneamente limitados e resilientes.

2.2. Barreiras e oportunidades da IA nas RUP

As RUP da UE enfrentam desafios específicos no que toca à integração da IA em contextos educativos. Caracterizadas pelo seu afastamento geográfico, insularidade e vulnerabilidades socioeconómicas, estas regiões exigem uma abordagem diferenciada e contextualizada às políticas de inovação pedagógica. A seguir, apresenta-se uma síntese das

principais barreiras e oportunidades identificadas na literatura e nos documentos estratégicos, com o objetivo de informar a construção de soluções educativas inclusivas e sustentáveis para as RUP.

Tabela 5: Barreiras e Oportunidades das RUP no Contexto Educativo com IA

Dimensão	Barreiras Identificadas	Oportunidades Reconhecidas
Geográfica e de Acesso	Isolamento físico e conectividade limitada; dificuldades logísticas de mobilidade docente e discente	Educação digital e IA como meios para ultrapassar barreiras geográficas e promover inclusão
Económico-social	Desigualdades estruturais e recursos financeiros limitados nas instituições de ensino	Programas europeus de coesão e inovação educativa; capacitação digital das comunidades
Infraestrutural	Limitações de infraestruturas tecnológicas em algumas zonas	Investimentos em conectividade e plataformas de aprendizagem adaptativas com IA
Cultural e Educacional	Resistência local à inovação ou desconhecimento sobre potencial da IA educativa	Valorização dos saberes locais e cultura própria através de projetos com IA contextualizada
Político-estratégico	Ausência de políticas públicas específicas para IA na educação em territórios ultraperiféricos	Alinhamento com agendas europeias de coesão digital e aprendizagem ao longo da vida

Fonte: Elaboração própria com base em UNESCO (2023, 2024), Estratégia Digital Nacional (2024), AI Future Learning (2024), Dias de Figueiredo (2024), Student Guide to AI (2025) e ADF (2024).

A Tabela 5 demonstra que as RUP enfrentam barreiras estruturais significativas no campo educativo como isolamento geográfico, limitações infraestruturais e resistências culturais que dificultam a adoção plena da IA em contextos escolares. Contudo, o mesmo cenário apresenta oportunidades estratégicas: desde o acesso a programas europeus de coesão digital até ao uso da IA para valorizar saberes locais e promover inclusão territorial. Estas tensões entre barreiras e oportunidades reforçam a necessidade de políticas educativas adaptadas à especificidade insular e de uma integração da IA que seja contextualizada, participativa e sustentável.

A leitura crítica da tabela anterior revela que, apesar das limitações persistentes, as RUP têm diante de si um conjunto relevante de oportunidades para impulsionar a transformação digital da educação, desde que se promovam estratégias integradas, participativas e territorialmente ajustadas. A adoção de IA nestes contextos pode ser catalisadora de inclusão, equidade e inovação pedagógica, contribuindo para atenuar desigualdades estruturais e reforçar o papel das RUP na vanguarda da educação digital com sentido humano.

Apesar dos avanços, persistem desafios, nomeadamente:

Escassez de competências digitais avançadas e de recursos humanos qualificados (OECD, 2024; Pinto et al., 2024);

Dependência de financiamento externo e descontinuidade de projetos (Silva et al., 2024);

Desigualdade no acesso à tecnologia e infraestruturas digitais (Rodrigues & Costa, 2025; Niklas & Dencik, 2024);

Necessidade de políticas públicas estáveis e colaborativas, incluindo incentivos para a criação de startups de base tecnológica.

2.3 Fatores Críticos de Sucesso e Desafios da IA na RAM

A implementação da IA na RAM insere-se num contexto insular que conjuga potencialidades significativas com obstáculos estruturais. A especificidade territorial, aliada a políticas públicas regionais e a uma crescente aposta na inovação, faz da RAM um território propício para experiências-piloto em educação digital e transformação tecnológica. A tabela seguinte sintetiza os fatores críticos de sucesso e os desafios persistentes identificados em documentos estratégicos e projetos regionais, com destaque para o papel da Startup Madeira e iniciativas em curso.

Tabela 6: Fatores críticos de sucesso e desafios para a implementação da Inteligência Artificial na RAM

Fatores Críticos de Sucesso	Desafios Persistentes
Políticas públicas de incentivo à inovação	Escassez de recursos humanos qualificados
Colaboração entre universidades, municípios	Desigualdade no acesso à tecnologia (zonas rurais)
Financiamento europeu e regional	Resistência cultural à adoção de IA
Ecosistema de incubadoras/ startups	Dependência de fundos externos para projetos-piloto
Programas de educação empreendedora e digital	Infraestrutura digital insuficiente em zonas periféricas
Envolvimento das escolas e literacia digital	Alinhamento insuficiente entre formação e necessidades do mercado

Fonte: Elaboração própria com base em Comissão Europeia (2024), Governo Regional da Madeira (2024), Startup Madeira (2023), Fernandes et al. (2022), Sousa & Tavares (2024), Pereira & Almeida (2023), Marques et al. (2023), Costa & Pereira (2025), OECD (2024).

A análise dos fatores críticos de sucesso e dos desafios da IA na RAM encontra suporte em diferentes autores e documentos estratégicos. A Comissão Europeia (2024) e o Governo Regional da Madeira (2024) destacam que políticas públicas consistentes são um elemento central para impulsionar a inovação em regiões RUP. No mesmo sentido, a Startup Madeira (2023) sublinha o papel das incubadoras e programas de aceleração no fortalecimento do ecossistema empreendedor local.

A análise revela que, apesar do dinamismo crescente do ecossistema regional, a consolidação de uma cultura de IA na RAM exige esforços coordenados e sustentados. A superação dos desafios identificados como a escassez de competências, assimetrias tecnológicas ou o desalinhamento entre formação e mercado requer um investimento contínuo na capacitação de professores, estudantes e instituições, bem como o reforço das

redes colaborativas entre os diferentes agentes locais. Só assim será possível garantir que a IA contribui efetivamente para uma educação mais equitativa, inovadora e ancorada na realidade madeirense.

3. Metodologia

Esta investigação adota uma abordagem qualitativa, exploratória e contextualizada, fundamentada numa metodologia dialógica, que valoriza o conhecimento situado e a escuta ativa das comunidades locais, em linha com os princípios da investigação qualitativa descritos por Flick (2024). Neste sentido, o estudo não pretende medir variáveis de forma estatística, mas sim compreender perceções, barreiras, oportunidades e estratégias de adoção de IA em práticas empreendedoras sustentáveis, numa região com características únicas enquanto RUP da UE. Foi realizada uma revisão exploratória da literatura, que permitiu reunir e interpretar o conhecimento disponível sobre a adoção de IA em contextos empreendedores, com foco em RUPs e insulares. A pesquisa bibliográfica foi conduzida entre janeiro de 2024 e julho de 2025 nas bases de dados Web of Science, Scopus, PubMed e Google Scholar, utilizando termos como: "artificial intelligence", "entrepreneurship", "sustainable innovation", "outermost regions", "digital transition", "insular ecosystems", e "education for entrepreneurship".

Foram incluídas publicações académicas (2018-2025), documentos institucionais da UE, relatórios de programas regionais e comunicações de congressos científicos nacionais e internacionais. Os critérios de inclusão focaram estudos sobre:

IA e inovação em RUPs;

Empreendedorismo e impacto das tecnologias digitais;

Educação empreendedora, literacia digital e capacitação de talento local.

Esta seleção foi complementada pela análise qualitativa de experiências práticas documentadas em programas regionais de inovação tecnológica, incubadoras locais e projetos-piloto de digitalização já implementados na RAM, com o objetivo de identificar padrões e tendências relevantes. Análise documental: Estudo de planos estratégicos regionais e europeus (ex.: PRR Madeira, Estratégia Europeia de IA, Plano de Ação para as RUP), relatórios institucionais (Startup Madeira, Digital Innovation Hubs), artigos científicos e dados estatísticos (INE, Eurostat, PORTDATA). Esta análise permitirá mapear o enquadramento político, económico e digital da região. A análise qualitativa abrangeu documentos estratégicos e relatórios institucionais, incluindo:

- Relatórios de políticas públicas que incentivam a adoção da IA nas RUPs (Comissão Europeia, 2024; European Commission, 2025);
- Avaliações de impacto de projetos regionais estratégicos, como Startup Madeira, Madeira Digital Transformation Hub e iniciativas de turismo digital e sustentável;
- Documentos oficiais que orientam a educação empreendedora e a capacitação em IA (Marques et al., 2023; OECD, 2024).

Os dados obtidos foram triangulados para garantir rigor e robustez, permitindo identificar claramente os principais padrões, as oportunidades recorrentes e as barreiras

estruturais relacionadas à adoção estratégica da IA e à promoção do empreendedorismo na RAM. Adicionalmente, consideraram-se as percepções e experiências documentadas na literatura recente sobre os fatores críticos de sucesso em contextos semelhantes, como outras RUPs europeias, para reforçar a validade externa dos resultados (Leite & Leite, 2024; Pigola et al., 2021).

As principais limitações metodológicas prendem-se com a escassez de dados quantitativos regionais e a rápida evolução dos cenários tecnológicos, o que pode condicionar a generalização dos resultados. Contudo, a metodologia adotada garante robustez na identificação das tendências, boas práticas e desafios estruturais enfrentados pela RAM e por outras RUP na transição digital, bem como fornece insights relevantes para outras RUP na sua transição digital e no desenvolvimento sustentável.

4. Apresentação dos Resultados

Os resultados apresentados a seguir baseiam-se em relatórios institucionais, dados estatísticos oficiais e literatura recente recolhidos entre 2018 e 2023. Cada tabela e quadro sintetiza tendências quantitativas e qualitativas, permitindo observar a evolução do ecossistema empreendedor e digital da RAM no contexto das RUP e da UE. Esta organização possibilita não apenas a descrição de dados, mas também a sua interpretação crítica, destacando padrões, avanços e limitações estruturais.

A análise efetuada revela que a adoção da IA, em RUP e na RAM, produz impactos significativos no ecossistema empreendedor e na educação, ainda que com desafios persistentes. Identificou-se que a IA tem potencial transformador para a RAM em áreas como turismo, agricultura e saúde. Aumentaram os programas educativos e incubadoras tecnológicas, ainda que limitados em escala e continuidade (RAM Inovação, 2025). O papel das instituições locais, particularmente universidades e municípios, é crucial ao prover capacitação técnica e criar redes colaborativas que potencializam a inovação digital.

Os resultados foram organizados em quatro eixos principais: (1) inovação e transformação digital, (2) capacitação e literacia digital, (3) sustentabilidade e inclusão e (4) tendências internacionais e benchmarking.

4.1. Inovação e transformação digital

Constata-se um aumento expressivo de startups tecnológicas e projetos-piloto de IA na RAM entre 2018 e 2023. Dados da Startup Madeira (2023) indicam que o número de startups apoiadas quase duplicou nesse período, refletindo uma maior dinâmica empreendedora. Iniciativas como os chatbots turísticos multilíngues desenvolvidos em parceria com a Universidade da Madeira e a criação de sistemas de monitorização ambiental com IA em zonas rurais exemplificam a diversidade da inovação aplicada no território (Fernandes et al., 2022; Marques et al., 2023).

Tabela 7 – Evolução da capacitação digital e da literacia empreendedora na RAM (2018–2023)

Indicador	2018–2020	2021–2023	Tendência	Fontes
Startups tecnológicas incubadas	45	80	+78%	Startup Madeira (2023)
Projetos de IA em turismo inteligente	3	12	+300%	Fernandes et al. (2022); Comissão Europeia (2024)
Projetos de IA em agricultura de precisão	2	7	+250%	Silva et al. (2023)
Chatbots turísticos implementados	0	5	Início em 2021	Marques et al. (2023); Sousa & Tavares (2024)

Fonte: Elaboração própria com base em Startup Madeira (2023), Fernandes et al. (2022), Silva et al. (2023), Comissão Europeia (2024), Marques et al. (2023), Sousa & Tavares (2024).

Estes resultados confirmam a análise da Comissão Europeia (2024), que posiciona a RAM acima da média das RUP no indicador de inovação empresarial, embora ainda com limitações em escala e continuidade. A literatura (Fernandes et al., 2022; Rodrigues & Costa, 2025) reforça que a combinação entre financiamento europeu, parcerias institucionais e ecossistemas locais de inovação tem sido determinante para esta evolução, mas alerta para barreiras persistentes relacionadas com recursos humanos qualificados e desigualdades territoriais.

4.2. Capacitação e literacia digital

A análise dos relatórios de formação e documentos estratégicos evidencia uma evolução significativa na oferta de programas de literacia digital e educação empreendedora na RAM entre 2018 e 2023. Este aumento foi particularmente notório no ensino superior e em programas extracurriculares (Marques et al., 2023; Sousa & Tavares, 2024).

No entanto, a literatura alerta para persistentes desigualdades no acesso às tecnologias, sobretudo em zonas rurais e entre populações idosas, que dificultam a plena inclusão digital (Rodrigues & Costa, 2025; OECD, 2024).

Tabela 8 – Dinâmica da formação digital e educação empreendedora na RAM (2018/2023)

Indicador	2018/2020	2021/2023	Tendência
Bootcamps de IA promovidos por universidades/incubadoras	2	9	+350%
Workshops de literacia digital em escolas secundárias	5	17	+240%
Projetos extracurriculares de inovação digital	3	11	+267%
Participantes em programas de formação digital	~300	~1.200	+300%

Fonte: Elaboração própria com base em Startup Madeira (2023), Marques et al. (2023), Sousa & Tavares (2024), OECD (2024) e Governo Regional da Madeira (2024).

Estes resultados confirmam que a RAM tem avançado significativamente na capacitação em competências digitais e na promoção de uma cultura empreendedora ligada à IA. Contudo, tal como notam Rodrigues e Costa (2025), subsiste a necessidade de políticas de inclusão digital mais robustas, com foco em zonas rurais e grupos vulneráveis, para assegurar que os benefícios da transição tecnológica sejam amplamente distribuídos.

4.3. Sustentabilidade e inclusão

A integração da IA em setores-chave da RAM tem permitido otimizar recursos naturais, reduzir desperdícios e promover práticas empresariais mais sustentáveis. Projetos em agricultura inteligente, gestão hídrica e energias renováveis revelam ganhos significativos de eficiência, ainda que com barreiras estruturais persistentes (Silva et al., 2023; Rodrigues & Costa, 2025).

Destacam-se, por exemplo, os sistemas inteligentes de gestão da água na agricultura, plataformas de capacitação digital direcionadas a pequenos empresários rurais e projetos-piloto de IA aplicada às energias renováveis (Startup Madeira, 2023; OECD, 2024).

Apesar destes avanços, subsistem obstáculos: a escassez de recursos humanos especializados, a dependência de financiamento externo e a resistência cultural à adoção de tecnologias emergentes (Comissão Europeia, 2024; Costa & Pereira, 2025).

Tabela 9. Projetos e impactos da IA em sustentabilidade e inclusão na RAM (2018/2023)

Dimensão	Projetos/Exemplos (2018/2023)	Impactos observados
Agricultura e gestão hídrica	Sistemas inteligentes de rega (SmartAgro Madeira)	Redução de desperdício de água em até 20%
Turismo sustentável	Algoritmos de monitorização de fluxos turísticos	Ajuste da oferta e redução de desperdícios
Energias renováveis	Projetos-piloto de IA em energia solar e eólica	Diminuição da pegada ecológica insular
Capacitação rural	Plataformas digitais para pequenos empresários agrícolas	Inclusão digital e maior acesso a mercados

Fonte: Elaboração própria com base em Governo Regional da Madeira (2024), Startup Madeira (2023), Marques et al. (2023), Sousa & Tavares (2024), Silva, Correia & Mendes (2023).

Os resultados confirmam a tese de Silva et al. (2023), segundo a qual a IA pode potenciar a resiliência ecológica em territórios insulares, mas apenas se acompanhada por políticas de capacitação contínua. Por outro lado, os dados também corroboram Rodrigues e Costa (2025), que sublinham que a dependência de fundos externos continua a ser um entrave central para a consolidação de um modelo sustentável de inovação.

4.4. Tendências internacionais e benchmarking

A comparação internacional evidencia que a RAM apresenta um desempenho relativamente positivo face a outras RUP, nomeadamente as Canárias e os RAA, em indicadores como inovação empresarial e digitalização de serviços públicos. Contudo, mantém lacunas significativas em relação a regiões centrais da UE (Comissão Europeia, 2024; OECD, 2024). De acordo com o Regional Innovation Scoreboard (2023), a RAM situa-se no grupo de “modest innovators”, mas demonstra progressos consistentes em programas de incubação, digitalização e parcerias interinstitucionais (Startup Madeira, 2023; Almeida & Garrod, 2024).

Tabela 10. Comparação da RAM com outras RUP ibéricas e benchmarks internacionais (2023)

Indicador	RAM	Açores	Canárias	Média RUP	Países Baixos	Bruxelas
Taxa de inovação empresarial (%)	18,5	16,2	23,2	17,8	45,4	48,6
Digitalização de serviços públicos (%)	64	58	71	61	90	95
Startups incubadas (2023)	80	45	150	92	—	—
Posição no RIS	Modest	Modest	Moderate	Modest	Leader	Leader

Fonte: Elaboração própria com base em DREM (2024), INE (2024), PORDATA (2023), Eurostat (2023–2024), ISTAC (2024), Startup Madeira (2023), European Commission (2024), OECD (2024).

Estes resultados mostram que, apesar do avanço da RAM face a outras RUP, continua a existir uma distância estrutural em relação às regiões centrais da UE. Como defendem Almeida e Garrod (2024), este afastamento não resulta apenas da disponibilidade de financiamento, mas sobretudo da capacidade de articulação institucional e da massa crítica de recursos humanos.

O benchmarking internacional reforça a necessidade de estratégias de gestão multinível e cooperação inter-regional, alinhadas com as especificidades locais, para que a IA se torne verdadeiramente uma vantagem competitiva nas RUP (Majdak & Almeida, 2023; OECD, 2024).

5. Discussão dos Resultados

A análise confirma que a integração da IA na RAM está a gerar impactos positivos no ecossistema empreendedor e na educação, mas persiste um conjunto de barreiras estruturais que condicionam a escalabilidade das iniciativas, como salientam Pigola et al. (2021) e Leite & Leite (2024), a consolidação da IA como sendo uma vantagem competitiva sustentável exige políticas públicas robustas, formação continuada e redes colaborativas.

Tabela 11. Síntese dos Resultados e Interpretação Crítica

Eixo	Evidências (2018/2023)	Desafios identificados
Inovação e transformação digital	+78% de startups tecnológicas; +300% em projetos de IA em turismo	Escassez de massa crítica e recursos humanos qualificados
Capacitação e literacia digital	+350% bootcamps de IA; +240% workshops em escolas	Persistem desigualdades rurais e geracionais
Sustentabilidade e inclusão	Redução de 20% no consumo de água agrícola; projetos em energias renováveis	Dependência de fundos externos; resistência cultural à inovação
Tendências internacionais	RAM acima da média das RUP em inovação empresarial (18,5% vs 16,2%)	Distância estrutural face a líderes europeus (Países Baixos, BE)

Fonte: Elaboração própria com base em Startup Madeira (2023), Sousa & Tavares (2024), OECD (2024), Governo Regional da Madeira (2024), Marques et al. (2023), Silva et al. (2023), Eurostat (2023–2024), PORDATA (2023), European Commission (2024).

Apesar do crescimento quantitativo em programas e startups, os dados confirmam as limitações apontadas por Rodrigues e Costa (2025): a baixa densidade empresarial tecnológica e a escassez de competências especializadas continuam a restringir a capacidade da RAM de competir com regiões mais desenvolvidas. O caso analisado confirma que, apesar dos ganhos em eficiência e redução de desperdícios, a dependência de fundos externos e a ausência de um ecossistema sólido limitam a escalabilidade da inovação, em consonância com Mendonça e Oliveira (2025). A discussão também reforça a importância da identidade cultural e ambiental como fator diferenciador na aplicação da IA, em linha com Vinuesa et al. (2024), que defendem que a legitimidade social e a sustentabilidade ambiental são condições críticas para a aceitação tecnológica.

5.1 Síntese crítica

Os resultados confirmam que, apesar dos avanços registados, a integração da IA na RAM continua condicionada por fragilidades estruturais. Para superar estas limitações, emergem da análise cinco eixos estratégicos considerados críticos para orientar a consolidação do ecossistema regional de inovação, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Eixos estratégicos para o fortalecimento da IA na RAM

Eixo estratégico	Descrição
Capacitação digital contínua	Formação de empreendedores e técnicos com foco em literacia ecológica e ética da IA
Financiamento direcionado	Linhas de apoio específicas para projetos ecológicos baseados em IA
Redes locais de inovação	Cooperação entre empresas, universidades, setor público e comunidades
Infraestruturas digitais resilientes	Investimento em conectividade segura e soberania de dados
Valorização da identidade cultural e ambiental	Integração de saberes locais e práticas sustentáveis como fator diferenciador

Fonte: Elaboração própria com base em Sousa & Tavares (2024), Costa & Pereira (2025), OECD (2024), Startup Madeira (2023), Marques et al. (2023), Comissão Europeia (2024), Governo Regional da Madeira (2024), Rodrigues & Costa (2025), European Commission (2025), Silva et al. (2023), Vinuesa et al. (2024), Majdak & Almeida (2023).

A leitura da Tabela 12 mostra que o fortalecimento da IA na RAM não depende apenas de investimento financeiro, mas da capacidade de articular políticas públicas consistentes, formação contínua e redes colaborativas. O estudo de caso da startup madeirense ilustra o potencial da IA em reduzir desperdícios e criar valor territorial; contudo, sem políticas de escala e integração em redes internacionais, estes resultados permanecem limitados (Domingos et al., 2025). Assim, confirma-se que a IA pode constituir um instrumento estratégico para o cumprimento dos ODS (8, 9, 11, 13) desde que ancorada em políticas adaptadas, envolvimento comunitário e valorização da identidade da RAM.

6. Conclusão

A adoção estratégica da IA e das tecnologias digitais na RAM revela-se uma oportunidade crítica para dinamizar o empreendedorismo sustentável, fomentar a inovação e reforçar a coesão territorial. Este estudo demonstrou que, apesar das limitações estruturais da insularidade, nomeadamente a dependência de financiamento externo e a escassez de recursos humanos qualificados da RAM, esta tem conseguido afirmar-se como um reduto de inovação tecnológica, apoiada na articulação entre municípios, universidades, centros de inovação, incubadoras e startups locais.

Os resultados evidenciam que o sucesso da transição digital da RAM depende de quatro fatores-chave: (1) políticas públicas integradas; (2) investimento contínuo em formação e literacia digital; (3) promoção de redes colaborativas e (4) valorização da identidade cultural.

Para além dos benefícios económicos diretos, a integração da IA deve alinhar-se com princípios éticos e de sustentabilidade ambiental, assegurando que a inovação tecnológica não apenas gera valor económico, mas também contribui para o bem-estar coletivo, para a equidade territorial e para o cumprimento dos ODS (8, 9, 11 e 13). A RAM demonstra que uma RUP pode responder aos desafios globais da transformação digital com criatividade, colaboração e visão estratégica, oferecendo um modelo replicável para outras RUP.

Conclui-se que a IA, quando articulada com políticas públicas robustas, formação empreendedora especializada e cooperação interinstitucional, tem potencial para transformar profundamente o panorama empreendedor da RAM.

Este estudo constitui um contributo pioneiro ao analisar criticamente o impacto da IA em RUP, com foco na RAM. A originalidade reside na articulação entre dados empíricos recentes, quadros comparativos e recomendações estratégicas, oferecendo simultaneamente valor académico e aplicabilidade prática para decisores políticos e agentes locais.

6.1. Recomendações/ Implicações

- Capacitação digital contínua: reforçar programas de formação em IA e literacia digital, com foco em zonas rurais e grupos vulneráveis (Sousa e Tavares, 2024).
- Redes colaborativas: estimular a cooperação entre autarquias, universidades, startups e associações empresariais (Almeida & Garrod, 2024).
- Financiamento direcionado: aproveitar fundos europeus e incentivos regionais para projetos-piloto em sustentabilidade, educação e inclusão social (Pereira & Almeida, 2023).
- Políticas públicas integradas: alinhar estratégias digitais com o perfil sociodemográfico e económico da RAM, em conformidade com os ODS (Leite & Leite, 2024; OECD, 2024).
- Participação comunitária e identidade cultural: garantir a inclusão das comunidades locais na transição digital, valorizando saberes e práticas tradicionais (Vinuesa et al., 2024).

Referências

- ADF. (2024). AI and digital futures. Recuperado de <https://www.adf.org>
- AI Future Learning. (2024). AI Future Learning project. Recuperado de <https://www.aifuturelearning.org>
- Almeida, J., & Garrod, B. (2024). Entrepreneurship and innovation in outermost regions: Challenges and opportunities. *Journal of Regional Studies*, 58(2), 145–163.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2017). *Machine, platform, crowd: Harnessing our digital future*. W. W. Norton & Company.
- Comissão Europeia. (2024). *Outermost regions strategy 2021–2027*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Costa, L., & Pereira, J. (2025). *Entrepreneurial education and digital skills in insular regions*. ISCTE Research Reports.
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.
- Dias de Figueiredo, A. (2024). *Educação digital e inovação pedagógica*. Coimbra University Press.
- Direção Regional de Estatística da Madeira (DREM). (2024). *População residente na Região Autónoma da Madeira em 2023*. Funchal: DREM.
- Domingos, F., Nogueira, P., & Reis, J. (2025). Inteligência artificial e desenvolvimento territorial sustentável em regiões insulares. *Revista de Estudos Regionais*, 17(2), 112–130
- European Commission. (2023). *Regional innovation scoreboard 2023*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2024). *European innovation scoreboard*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Commission. (2025). *Digital transformation in the outermost regions*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Eurostat. (2023). *Regional accounts – GDP per capita by NUTS2 regions*. Brussels: Eurostat Database.
- Eurostat. (2024). *Population density by NUTS2 regions*. Brussels: Eurostat Database.
- Fernandes, P., Gomes, M., & Ribeiro, A. (2022). Innovation and regional development in the outermost regions of Europe. *Regional Development Studies*, 47(1), 88–103.
- Flick, U. (2024). *An introduction to qualitative research (7th ed.)*. London: SAGE.
- Governo de Portugal. (2024). *Estratégia Digital Nacional 2024*. Lisboa: República Portuguesa. <https://www.portugal.gov.pt>
- Governo Regional da Madeira. (2024). *Plano estratégico de inovação RAM 2024–2030*. Funchal: Secretaria Regional da Economia Digital.
- INE Portugal. (2024). *Perfil territorial da RAM e RAA*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- INE Portugal. (2024). *Estatísticas de ciência e tecnologia*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística.
- ISTAC. (2024). *Instituto Canário de Estatística: Indicadores regionais 2024*. Governo das Canárias. <https://www.gobiernodecanarias.org/istac>
- Leite, E., & Leite, M. (2024). Inovação em contextos insulares: Cultura, ecologia e empreendedorismo digital. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 16(2), 77–95
- Leite, E., Silva, M., & Andrade, R. (2024). Empreendedorismo regenerativo em saúde: Perspetivas ontológicas e institucionais. *Revista de Inovação e Terapias*, 12(1), 45–67
- Majdak, M., & Almeida, R. (2023). AI for sustainable tourism in island regions. *Journal of Tourism Futures*, 9(3), 401–418.
- Marques, R., Sousa, L., & Tavares, P. (2023). Entrepreneurship and digital ecosystems in Madeira. *Madeira Business Review*, 12(1), 65–84.
- Mendonça, F., & Oliveira, C. (2025). Smart islands and digital entrepreneurship in the outermost regions. *Nova IMS*.
- Niklas, J., & Dencik, L. (2024). Digital inequalities and AI adoption. *AI & Society*, 39(2), 221–238.
- OECD. (2023). *Demographic statistics*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/data-00246-en>
- OECD. (2024). *Education and digital skills in remote territories*. Paris: OECD Publishing.
- Pereira, R., & Almeida, C. (2023). Innovation strategies for ultraperipheral regions. *Journal of Regional Policy*, 18(2), 54–72.
- Pigola, A., Leite, E., & Leite, F. (2021). Sustainable entrepreneurship in island health systems. *Health Innovation Journal*, 7(1), 23–35.
- Pinto, A., Ferreira, L., & Gomes, M. (2024). *Inteligência artificial e desenvolvimento sustentável em contextos insulares*. Lisboa: Edições Sílabo.
- PORTATA. (2023). *Contas regionais da Madeira e Açores*. Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos.
- RAM Inovação. (2025). *Relatório de inovação da Região Autónoma da Madeira 2025*. Funchal: Governo Regional da Madeira
- Rodrigues, A., & Costa, P. (2025). *Digital transition challenges in peripheral regions*. U. Porto Press.
- Schwab, K. (2020). *The fourth industrial revolution*. Currency.
- Silva, R., Correia, J., & Mendes, T. (2023). *Artificial intelligence and sustainable development in Portugal*. Gulbenkian Research Reports.
- Silva, R., Mendes, T., & Correia, J. (2024). Policy discontinuities in AI adoption in peripheral regions. *Journal of Digital Policy*, 15(2), 76–92.

- Sousa, R., & Tavares, A. (2024). Inovação colaborativa e políticas públicas: o caso da Madeira. *Políticas Públicas e Desenvolvimento Regional*, 18(1), 66–84.
- Startup Madeira. (2023). Relatório de atividades e impacto 2022–2023. Funchal: Startup Madeira.
- Student Guide to AI. (2025). Artificial intelligence in education. UNESCO Publishing.
- UNESCO. (2023). Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities. Paris: UNESCO.
- UNESCO. (2024). Education for sustainable futures with AI. Paris: UNESCO.
- Vinuesa, R., Azizpour, H., Leite, I., Balaam, M., Dignum, V., Domisch, S., ... Nerini, F. F. (2020). The role of artificial intelligence in achieving the sustainable development goals. *Nature Communications*, 11, 233.
- Vinuesa, R., Leite, I., & Dignum, V. (2024). AI for sustainable value chains. *Sustainability Science*, 19(3), 311–326.