Arquitetura no Limite da Inovação

Pedro Moreira Oliveira

FACULDADE DE ARQUITETURA

U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

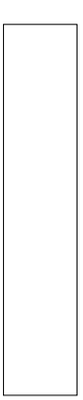
ARQUITETURA

Arquitetura no Limite da Inovação

Pedro Moreira Oliveira

M

2024



U.PORTO

Pedro Moreira Oliveira. Arquitetura no Limite da Inovação

M FAUP 2024

Arquitetura no Limite da Inovação

A interseção entre arquitetura e inteligência artificial

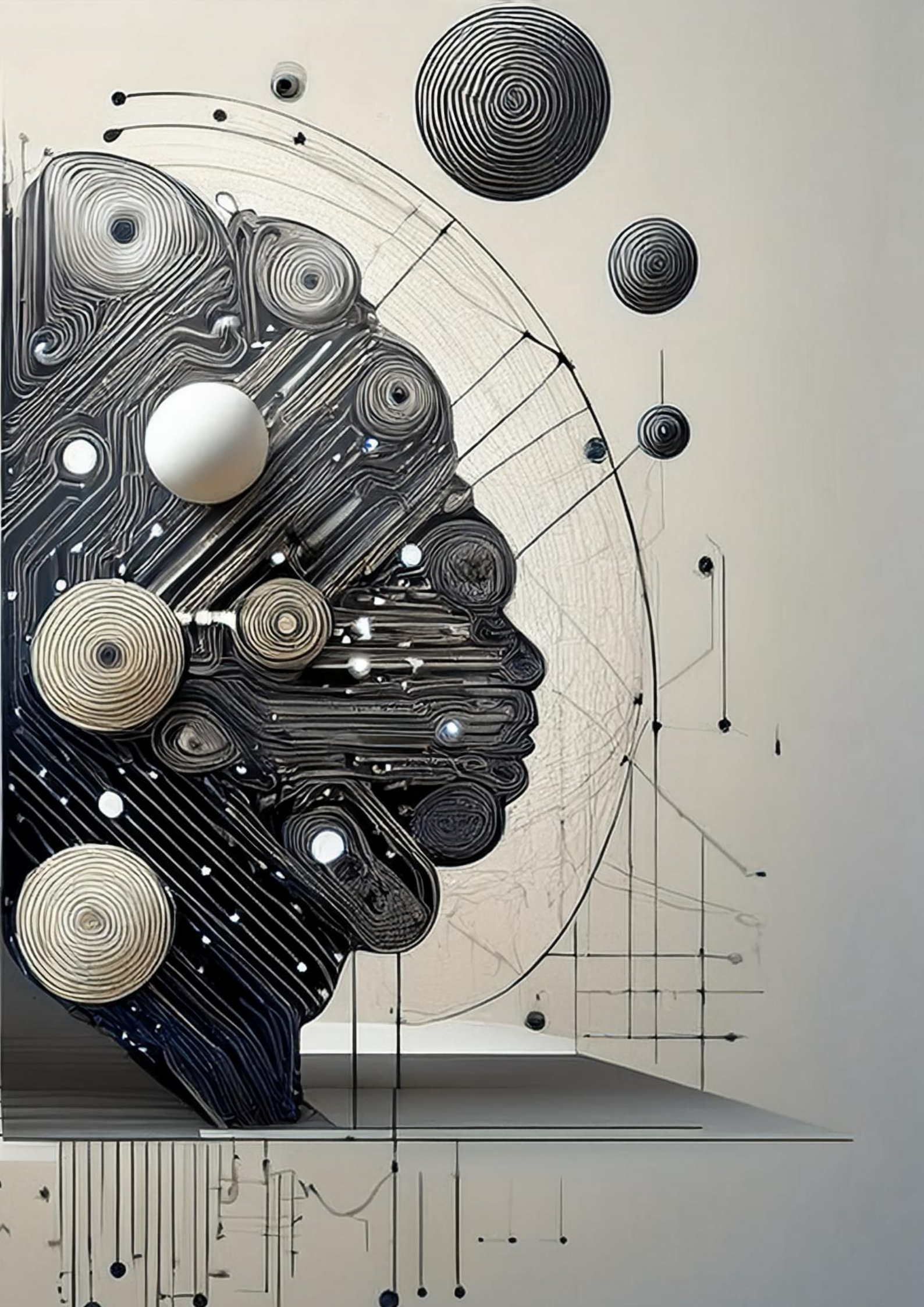
Pedro Moreira Oliveira

Orientador:
Professor Doutor Nuno Lacerda Lopes
Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitetura
Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

Porto, 2023/2024



Desenho do autor, DALL-E e Adobe Firefly



MAX

Maybe it was all inevitable. An unavoidable collision between mankind and technology.

Transcendence, dirigido por Wally Pfister, Alcon Entertainment, 2014.

Agradecimentos

Ao Professor Nuno Lacerda Lopes, pela orientação, inspiração e partilha de conhecimento ao longo de todo o desenvolvimento desta tese. A sua disponibilidade e sabedoria foram fundamentais para que este trabalho pudesse tomar forma e evoluir.

Aos meus pais, pelo apoio incondicional durante todo o curso. A vossa confiança e incentivo deram-me a força necessária para continuar e alcançar os meus objetivos. Sem a vossa ajuda, nada disto seria possível.

Aos amigos que vieram e foram, e principalmente àqueles que ficaram, pelo companheirismo e pela partilha de momentos inesquecíveis ao longo desta jornada. Vocês fizeram deste caminho um percurso mais leve e significativo.

Por fim, à prática que me permitiu transformar ideias em realidade e que continuamente desafia a minha criatividade e capacidade de resolução de problemas.

Resumo

Nos últimos vinte anos, a inteligência artificial (IA) tem-se afirmado como uma força motriz na transformação tecnológica da sociedade, impactando profundamente a prática arquitetónica.

Numa primeira fase, procede-se com uma introdução detalhada sobre o conceito de IA, traçando a sua evolução histórica e o seu papel nas mais diversas áreas. Em seguida, examina-se a aplicação contemporânea da IA na arquitetura, destacando os seus principais desafios e limitações, bem como as questões éticas que emergem com a adoção destas tecnologias.

Com base em exemplos práticos e casos de estudo, a dissertação demonstra como a IA pode aprimorar o processo arquitetónico, desde a geração de múltiplas opções de design e a automatização de tarefas repetitivas até à otimização de recursos através do BIM e à análise de dados em tempo real. Explora-se também o uso da IA na simulação de cenários e na comunicação de projetos, sublinhando a sua capacidade de promover maior eficiência e sustentabilidade.

Finalmente, a dissertação propõe uma reflexão sobre o futuro da arquitetura num contexto cada vez mais influenciado pela IA, enfatizando a necessidade de adaptação, inovação e aprendizagem contínua para os profissionais e estudantes da área.

Abstract

Over the past twenty years, artificial intelligence (AI) has established itself as a driving force in the technological transformation of society, profoundly impacting architectural practice. Initially, the dissertation presents a detailed introduction to the concept of AI, tracing its historical evolution and its role across various fields. It then examines the contemporary application of AI in architecture, highlighting its main challenges and limitations, as well as the ethical issues that arise with the adoption of these technologies.

Based on practical examples and case studies, the dissertation demonstrates how AI can enhance the architectural process, from generating multiple design options and automating repetitive tasks to optimizing resources through BIM and real-time data analysis. It also explores the use of AI in scenario simulation and project communication, underscoring its ability to promote greater efficiency and sustainability.

Finally, the dissertation offers a reflection on the future of architecture in a context increasingly influenced by AI, emphasizing the need for adaptation, innovation, and continuous learning for professionals and students in the field.

Sumário

Agradecimentos

Resumo | Abstract

00 | Introdução **1**

Motivo, Objeto e Objetivo 3

Método 4

Estrutura 5

01 | Panorama inicial **7**

O que é Inteligência Artificial? 9

Contextualização histórica da IA 25

Aplicações da IA 33

02 | IA na Arquitetura **55**

Evolução Histórica da IA na Arquitetura 57

Desafios e Limitações 61

Problemas éticos 67

IA aplicada à Arquitetura 71

Conceção 73

BIM 83

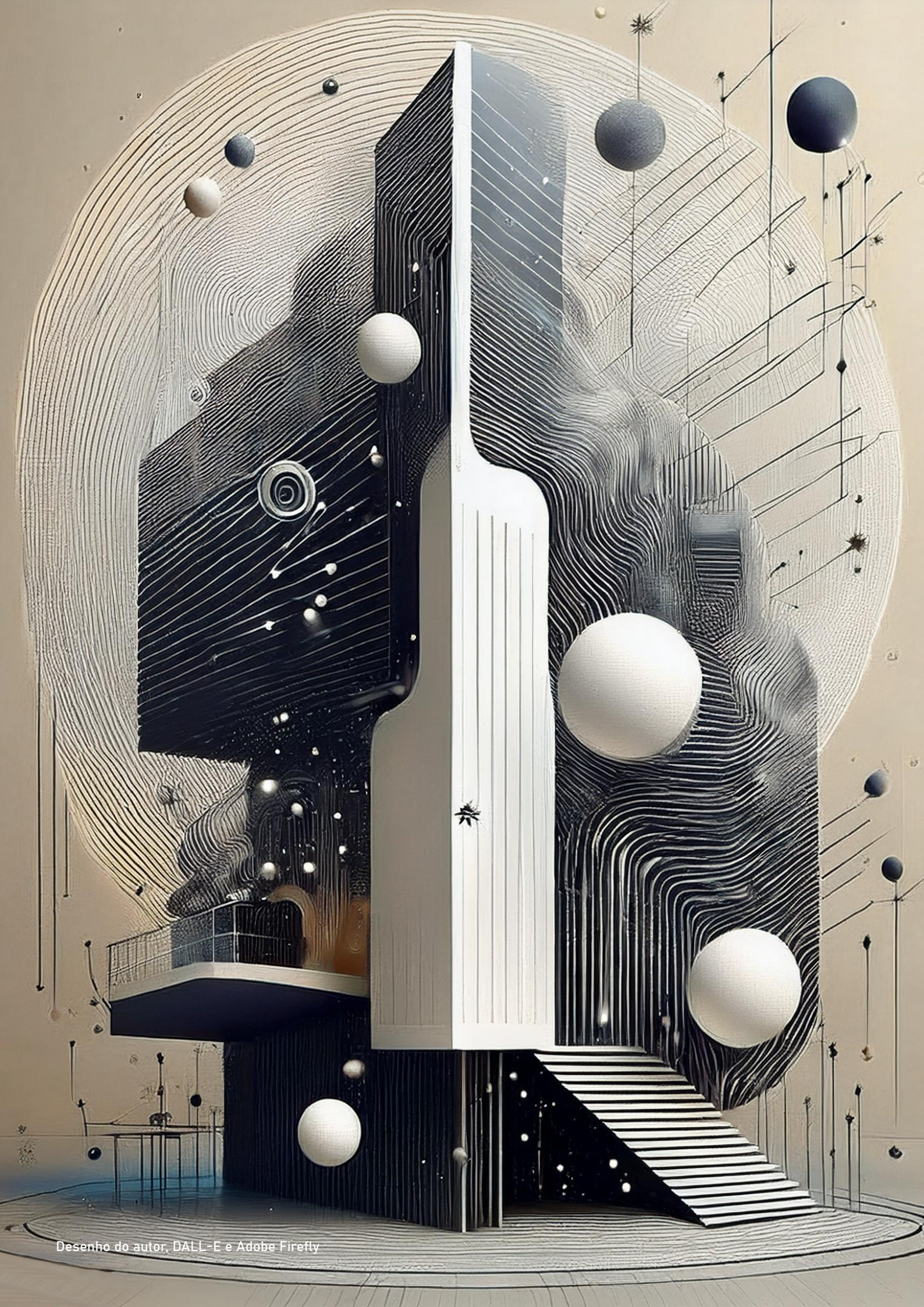
Análise de dados 93

Simulação 101

Comunicação 111

03 | Considerações Finais **127**

04 | Bibliografia **139**



Desenho do autor, DALL-E e Adobe Firefly

00

Introdução

Introdução

Motivo, Objeto e Objetivo

Ao longo do meu percurso académico, fui exposto a diversas tecnologias que despertaram meu interesse em softwares de desenho bidimensional e modelação 3D, levando-me a refletir sobre o impacto da inteligência artificial na arquitetura. Diante da rápida evolução tecnológica, este trabalho de investigação surge da necessidade de compreender melhor a influência da IA, para assimilar as suas oportunidades e implicações e preparar-me para a minha realidade profissional futura.

A combinação da necessidade de adaptação às mudanças tecnológicas com um profundo interesse pessoal motivou um estudo sobre o impacto da IA no trabalho arquitetónico, explorando a evolução das ferramentas de projeto.

Nos últimos anos, a tecnologia tem sido usada para otimizar tempo e recursos, tornando-se constante em diversas atividades, incluindo a arquitetura. Assim como os arquitetos utilizam referências e informações para compreender o ambiente ao seu redor, a IA pode ser programada para desempenhar funções análogas, facilitando a criação, desenvolvimento e tomada de decisões.

Neste contexto, a presente dissertação tem como objetivo analisar a influência da IA na prática arquitetónica, com o intuito de identificar as oportunidades e desafios que essa tecnologia traz consigo. O estudo envolve uma análise da evolução histórica da IA no contexto da arquitetura, a identificação das suas capacidades e limitações, e uma reflexão sobre os dilemas morais que surgem com a sua adoção. Com base nisso, procura-se entender as diversas aplicações da IA e como ela pode contribuir para tornar a prática arquitetónica mais eficiente e sustentável.

Além disso, esta tese pretende promover uma discussão acerca do futuro da arquitetura, considerando a crescente influência da tecnologia e consequente necessidade de adaptação e de inovação na formação e na prática profissional.

Introdução

Método

A metodologia adotada para o desenvolvimento desta dissertação é abrangente, de modo a compreender as diversas vertentes da interseção entre IA e arquitetura. O método de trabalho assenta em três componentes principais: pesquisa teórica, análise crítica e exploração prática.

Na pesquisa teórica, realiza-se uma revisão extensa da literatura para estabelecer uma base sólida sobre a IA, compreendendo a sua evolução histórica, as suas aplicações contemporâneas na arquitetura, e as tendências emergentes. Esta fase também inclui a identificação e análise dos desafios, limitações, e questões éticas associadas à implementação da IA na arquitetura.

Na análise crítica, procede-se à avaliação detalhada de casos de estudo, focando as formas como a IA está a ser utilizada em diferentes aspetos do processo arquitetónico, incluindo conceção, BIM, análise de dados, simulação e comunicação. A análise destes exemplos práticos permite ilustrar as aplicações da IA na arquitetura e explorar as suas implicações no campo profissional.

Finalmente, na exploração prática, investiga-se como a IA pode continuar a transformar a prática profissional e o ensino da arquitetura, procurando alcançar um equilíbrio com o progresso tecnológico. Esta fase inclui a avaliação de inovações e transformações potenciais, bem como a integração prática de ferramentas de IA no processo de design arquitetónico.

Introdução

Estrutura

O trabalho está dividido em quatro partes principais: introdução à IA, a sua evolução e integração na arquitetura, as suas aplicações práticas, e uma visão prospetiva sobre o seu impacto futuro.

Inicialmente, é apresentada uma introdução onde são definidos os conceitos fundamentais de IA, acompanhados de uma contextualização histórica que traça a trajetória da IA até às suas aplicações contemporâneas em diversas áreas.

A seguir, é realizada uma análise da evolução e integração da IA na prática arquitetónica, abordando o desenvolvimento histórico da IA no campo da arquitetura. Esta secção procura identificar os desafios, limitações, e questões éticas associadas ao uso da IA na profissão.

Posteriormente, procede-se à compilação das diversas aplicações práticas da IA na arquitetura, explorando como a tecnologia é empregue em diferentes fases do processo arquitetónico, desde a conceção inicial até à comunicação final. Nesta parte, são detalhados o uso de ferramentas como BIM, análise de dados, simulação, entre outras, ilustrando as capacidades transformadoras da IA.

Por fim, numa visão prospetiva, discute-se o impacto potencial da IA no futuro da arquitetura, tanto na prática profissional como no contexto educacional.



Desenho do autor, DALL-E e Adobe Firefly

01

Panorama inicial

CHRISTOPHER

Cryptography is the science of codes.

YOUNG ALAN

Like secret messages?

CHRISTOPHER

Not *secret*. That's the brilliant part. Messages that anyone can see, but no one knows what they mean, unless you have the key.

Imitation Game, dirigido por Morten Tyldum, Black Bear Pictures e Bristol Automotive, 2014.

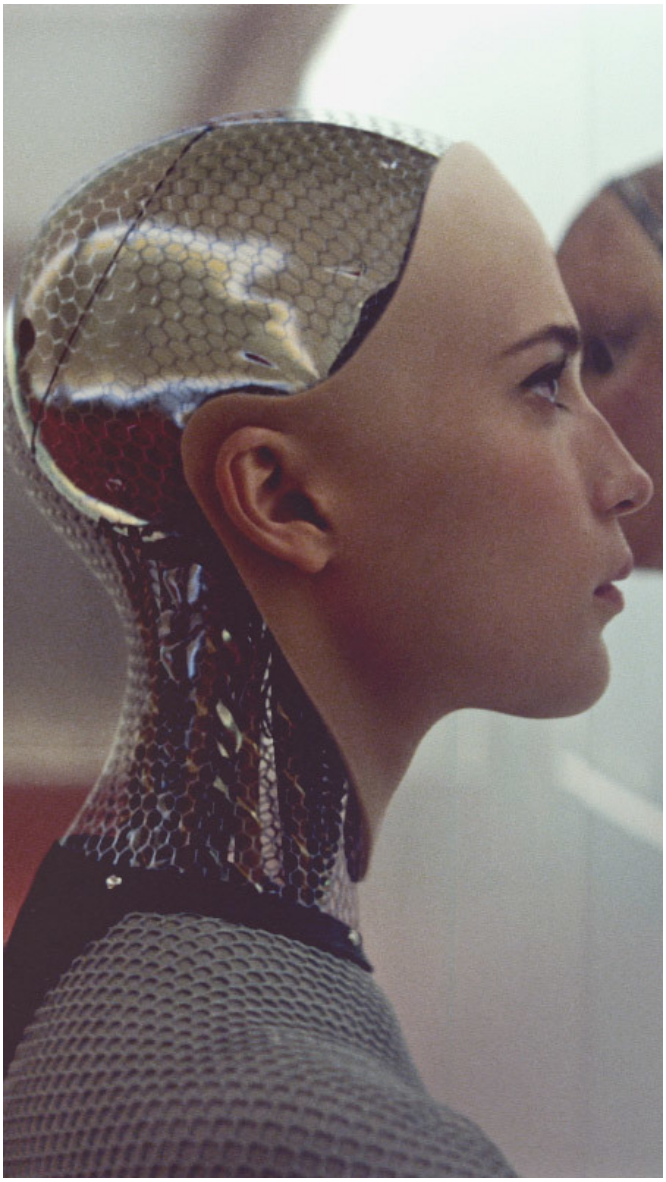


Fig. 1. Imagem do filme *Ex Machina* (2015), dirigido por Alex Garland

O que é Inteligência Artificial?

O que é inteligência artificial (IA)? Esta pergunta surge cada vez mais nas nossas vidas diárias, afetando diversos setores tais como a saúde, a educação ou os transportes e até as atividades mais rotineiras. Leach (2022) defina IA como um campo da ciência da computação que se concentra na criação de sistemas e máquinas capazes de realizar tarefas que normalmente requerem inteligência humana. Isso abrange capacidades como aprendizagem, raciocínio, perceção, reconhecimento de padrões, tomada de decisões e compreensão da linguagem natural.

O conceito de IA evoluiu para além dos cenários apresentados em filmes de ficção científica, como ***I, Robot*** (2004), onde as máquinas ganham vida e tornam-se ameaças, ***Transcendence*** (2014), onde uma IA alcança uma superinteligência e manipula o mundo, ou ***Ghost in the Shell*** (1995), que explora a fusão entre humanos e máquinas, para uma tecnologia que agora transforma vários aspetos da nossa existência. Desde os assistentes virtuais nos nossos telemóveis até aos sofisticados sistemas de diagnóstico médico, a IA está a reconfigurar a forma como interagimos com a tecnologia e como esta interage connosco.

Devido à sua capacidade de aprender, adaptar-se e evoluir de forma autónoma, criam-se possibilidades quase infinitas, desafiando-nos a reconsiderar o futuro das nossas profissões, da nossa criatividade e até da nossa própria realidade. Compreender o que é IA é fundamental para nos adaptarmos a este novo mundo de oportunidades e desafios, onde a linha entre o possível e o impossível se torna cada vez mais indistinta. Para isso, comecemos por compreender as categorias onde a IA se insere, a **Narrow AI** (ou IA Estreita) e

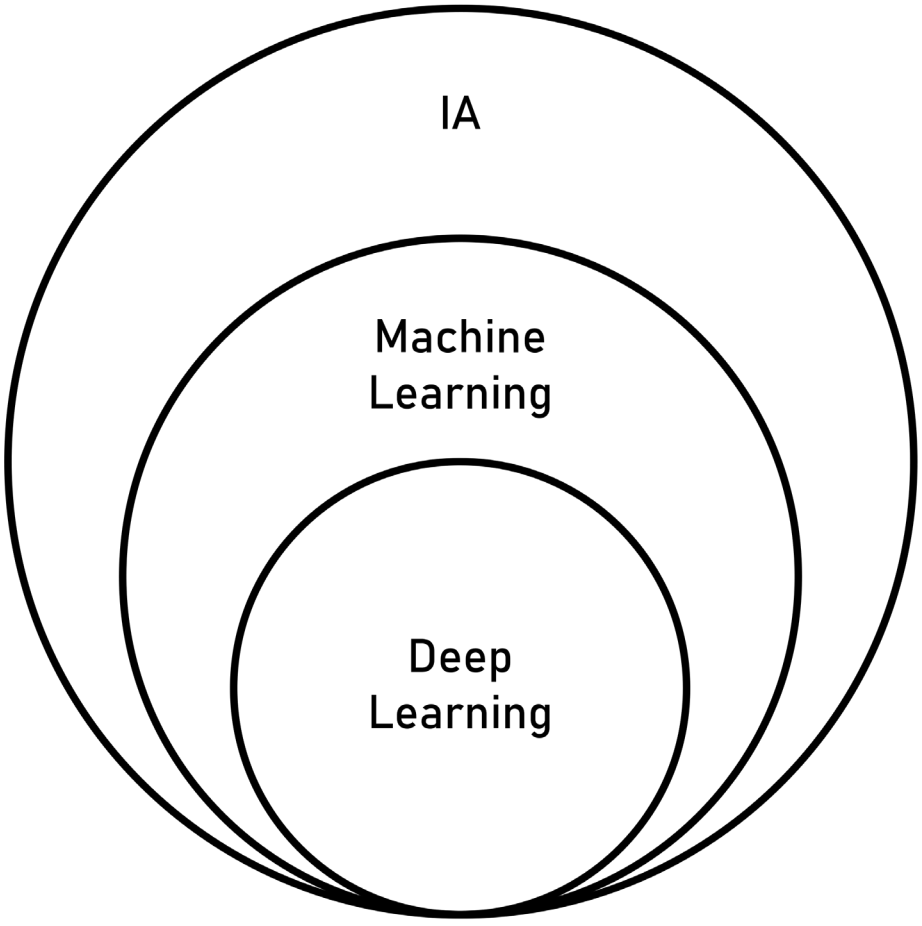


Fig. 2. Diagrama da relação entre deep learning, machine learning e IA. Este diagrama de Venn ilustra como o deep learning está inserido dentro do machine learning, que, por sua vez, está inserido dentro da categoria mais ampla de IA.

a **Strong AI** (ou IA Geral), definidas pelo filósofo John Searle, em 1980, num artigo dedicado à crítica da ideia de que um programa de computador poderia ter uma mente, consciência, ou entendimento, de maneira semelhante à inteligência humana.

A primeira refere-se a sistemas projetados para realizar tarefas específicas, como assistentes virtuais (e.g. Siri, Alexa), que operam dentro de um conjunto limitado de funções predefinidas. Estes sistemas são altamente especializados e não possuem a capacidade de generalização para outras tarefas fora do seu domínio específico.

Por outro lado, a **Strong AI** é uma hipótese teórica de sistemas que possuiriam capacidades cognitivas humanas abrangentes, capazes de aprender e aplicar o seu conhecimento de maneira ampla e flexível. A **Strong AI** ainda não foi alcançada e permanece um objetivo de longo prazo na pesquisa de IA.

Após compreender o conceito e a diferença entre IA forte e IA fraca, é essencial explorar dois pilares fundamentais que formam a base de múltiplas aplicações modernas de IA - o **machine learning** e o **deep learning**. Estes subcampos da IA têm revolucionado a forma como interagimos com a tecnologia, proporcionando avanços significativos em diversas áreas, desde a saúde e a educação até ao design e à arquitetura.

Machine Learning concentra-se no desenvolvimento de algoritmos e modelos que permitem aos computadores aprenderem a partir de dados, ou seja, em vez de serem explicitamente programados para realizar uma tarefa, os sistemas identificam padrões e presumem regras a partir dos

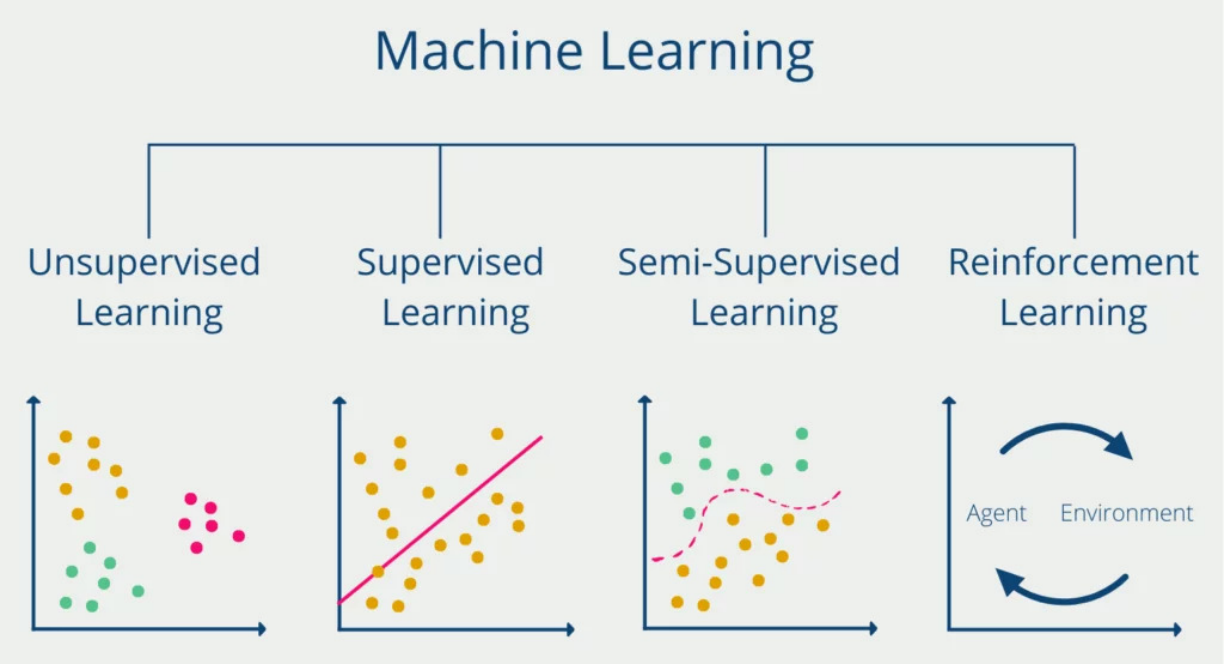


Fig. 3. Visão Geral das Categorias de Machine Learning

dados fornecidos, melhorando o seu desempenho à medida que são expostos a mais informação. Segundo as obras académicas ***Pattern Recognition and Machine Learning*** de Christopher Bishop e ***Introduction to Statistical Learning*** de Gareth James, Daniela Witten, Trevor Hastie, e Robert Tibshirani, esta abordagem tem sido fundamental para muitas inovações, desde sistemas de recomendação e reconhecimento de fala até **predictive analytics**[1].

Dentro do vasto domínio do **machine learning**, destaca-se o **Deep Learning** que representa uma evolução significativa ao nível da IA, uma vez que utiliza **artificial neural networks** (ou redes neuronais artificiais), com múltiplas camadas, para modelar e processar grandes volumes de dados complexos. A sua capacidade de extrair automaticamente características relevantes dos dados tem impulsionado avanços impressionantes em áreas como visão computacional, processamento de linguagem natural e jogos de estratégia.

Mas para garantir que os sistemas de IA sejam eficientes e eficazes, ou seja, que conseguem aprender e adaptar-se autonomamente, é preciso "treinar" a mesma. Para Alpaydin (2014), há quatro técnicas de treino ou aprendizagem:

- **Supervised Learning**
- **Unsupervised Learning**
- **Semi-Supervised Learning**
- **Reinforcement Learning**

1. Conjunto de técnicas de análise de dados que utiliza métodos estatísticos e algoritmos para prever resultados futuros com base em dados históricos.



Fig. 4. Assistente virtual Alexa

Supervised Learning: Nesta técnica, os algoritmos são treinados com um conjunto de dados rotulados. Isto significa que cada exemplo de treino é composto por um **input** e a resposta correta desejada. O objetivo é que o algoritmo aprenda a mapear **inputs**[2] para **outputs**[3] corretos, o que possibilita prever resultados para novos dados não rotulados. Esta aprendizagem controlada pode ser aplicada em algoritmos como:

- **Support Vector Machines** (SVM), utilizadas como sistemas de reconhecimento de escrita manual utilizados em scanners de cheques bancários;

- **Artificial Neural Networks** (ANN), que se traduzem em assistentes virtuais, como Siri e Alexa, que reconhecem e respondem a comandos de voz;

- **Decision Trees**, implementadas em sistemas de recomendação de produtos em lojas online que sugerem produtos com base nas compras anteriores dos utilizadores.

2. Dados ou informações inseridos num sistema, utilizados como ponto de partida para processamento ou análise.
3. Resultados ou informações geradas por um sistema após o processamento dos inputs.



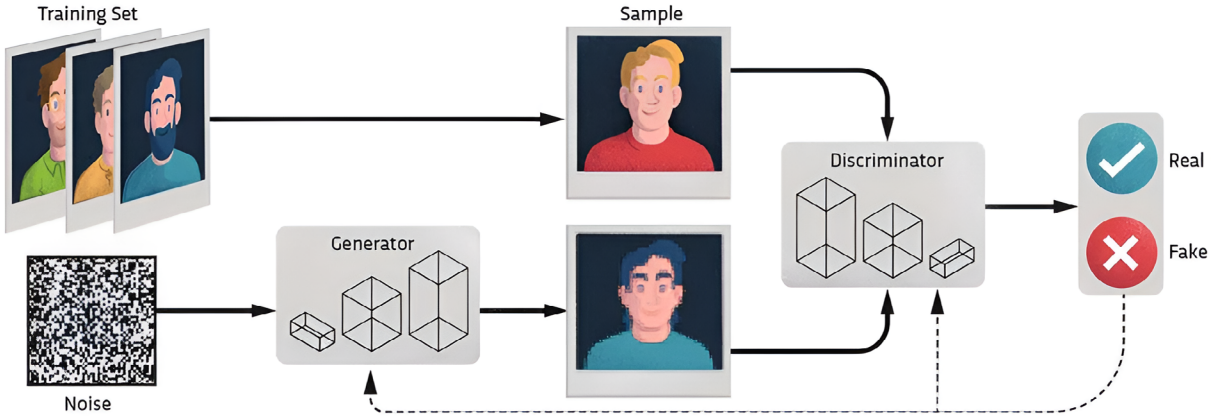


Fig. 5. Estas imagens são fictícias e foram criadas através de **StyleGAN**
Fig. 6. Esquema explicativo das Redes Adversárias Generativas (GANs)

Unsupervised Learning: Ao contrário da **supervised learning**, a **unsupervised learning** trabalha com dados não rotulados, isto é, o objetivo é identificar padrões ou estruturas ocultas nos dados, em algoritmos tais como:

- **K-means**, utilizado na segmentação de mercado em empresas de marketing para agrupar consumidores com comportamentos de compra semelhantes;

- **Generative Adversarial Networks** (GANs), que se destina à criação de imagens realistas a partir de ruído, utilizada em áreas como geração de faces humanas artificiais e melhoria da resolução de imagens;

- **Principal Component Analysis** (PCA), que comporta a compressão de imagem para reduzir o tamanho dos ficheiros sem perder qualidade significativa, utilizada em plataformas de armazenamento de fotos.



Fig. 7. Ilustração de reconhecimento facial com a utilização de Gaussian Misture Models

Semi-Supervised Learning: Esta técnica é uma combinação das duas anteriores, utilizando um pequeno conjunto de dados rotulados juntamente com um grande conjunto de dados não rotulados. É especialmente útil quando é dispendioso ou demorado obter dados rotulados. Este tipo de aprendizagem pode melhorar significativamente a precisão dos modelos, aproveitando a vasta quantidade de dados não rotulados disponíveis. São exemplos de algoritmos que recorrem a este tipo de aprendizagem:

- **Semi-Supervised Neural Networks**, aplicadas na análise de grandes volumes de dados médicos onde apenas uma pequena parte dos dados está rotulada, o que ajuda a identificar padrões em dados de saúde;

- **Label Propagation Algorithms**, empregados em sistemas de deteção de spam em e-mails, que usam uma pequena quantidade de e-mails rotulados como spam ou não spam para classificar novos e-mails;

- **Gaussian Mixture Models**, utilizados no reconhecimento facial em aplicações de segurança que utilizam uma combinação de dados rotulados e não rotulados para melhorar a precisão;



Fig. 8. Aspirador Robot Tefal que utiliza Q-Learning para mapear os espaços

Reinforcement Learning: Nesta abordagem, o algoritmo aprende através de tentativa e erro, recebendo recompensas ou penalidades com base nas ações realizadas. O objetivo é maximizar a recompensa acumulada ao longo do tempo. Alguns exemplos de algoritmos que utilizam este tipo de aprendizagem são:

- **Q-Learning**, utilizado em algoritmos de navegação autónoma utilizados em robôs de limpeza que aprendem a mapear e limpar um espaço eficientemente;

- **Policy Gradient Algorithms**, aplicados em videojogos onde personagens controladas por IA aprendem a melhorar as suas estratégias de jogo com base nas recompensas obtidas durante o jogo;

- **Deep Q-Networks**, implementados em sistemas de recomendação em plataformas de streaming, como Netflix, que ajustam as recomendações com base nas interações e preferências dos utilizadores ao longo do tempo.

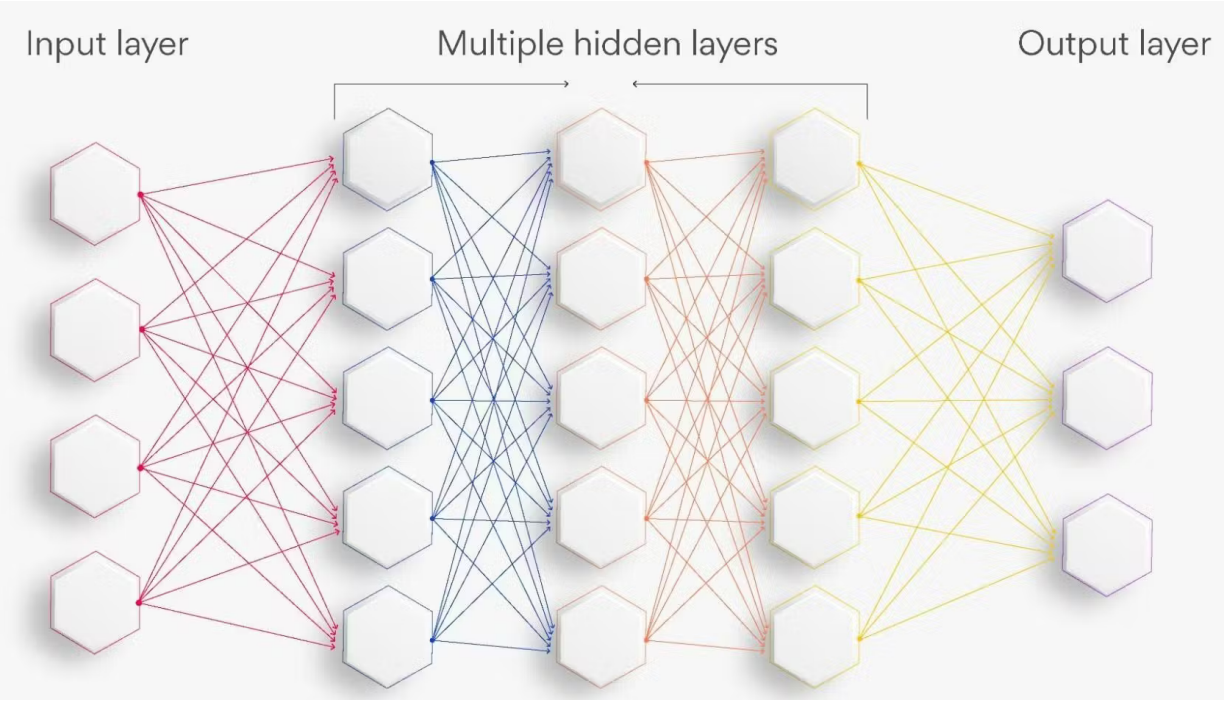


Fig. 9. Esquema explicativo das Artificial Neural Networks

De todos estes exemplos de algoritmos, um dos mais utilizados, e já anteriormente mencionado, são as **artificial neural networks**, sistemas de computação inspirados na estrutura e funcionamento do cérebro humano. Estas redes são compostas por unidades de processamento interconectadas, chamadas de "neurónios artificiais", que processam a informação de maneira distribuída e aprendem com exemplos através da modificação das conexões entre os neurónios, de forma semelhante ao cérebro humano. São fundamentais para muitas aplicações de IA devido à sua capacidade de modelar relações não lineares e aprender representações complexas dos dados (Haykin, 2008).

Por forma a tornar possível o **supervised learning** em **neural networks**, uma técnica essencial é o **Backpropagation**. Este algoritmo de otimização é utilizado para ajustar os pesos das conexões entre os neurónios com base no erro obtido nos **outputs** da **network**. O processo envolve a propagação do erro de volta através da **network**, desde a camada de **output** até às camadas de **inputs**, permitindo que a **network** ajuste os seus parâmetros para minimizar o erro. O **Backpropagation** é essencial para a aprendizagem das **neural networks** e para a otimização das **deep networks**[4], que são fundamentais para muitas das aplicações modernas de IA.

4. Redes neuronais artificiais compostas por múltiplas camadas de neurónios, capazes de modelar relações complexas em grandes volumes de dados e utilizadas em tarefas como reconhecimento de padrões e aprendizagem automática.

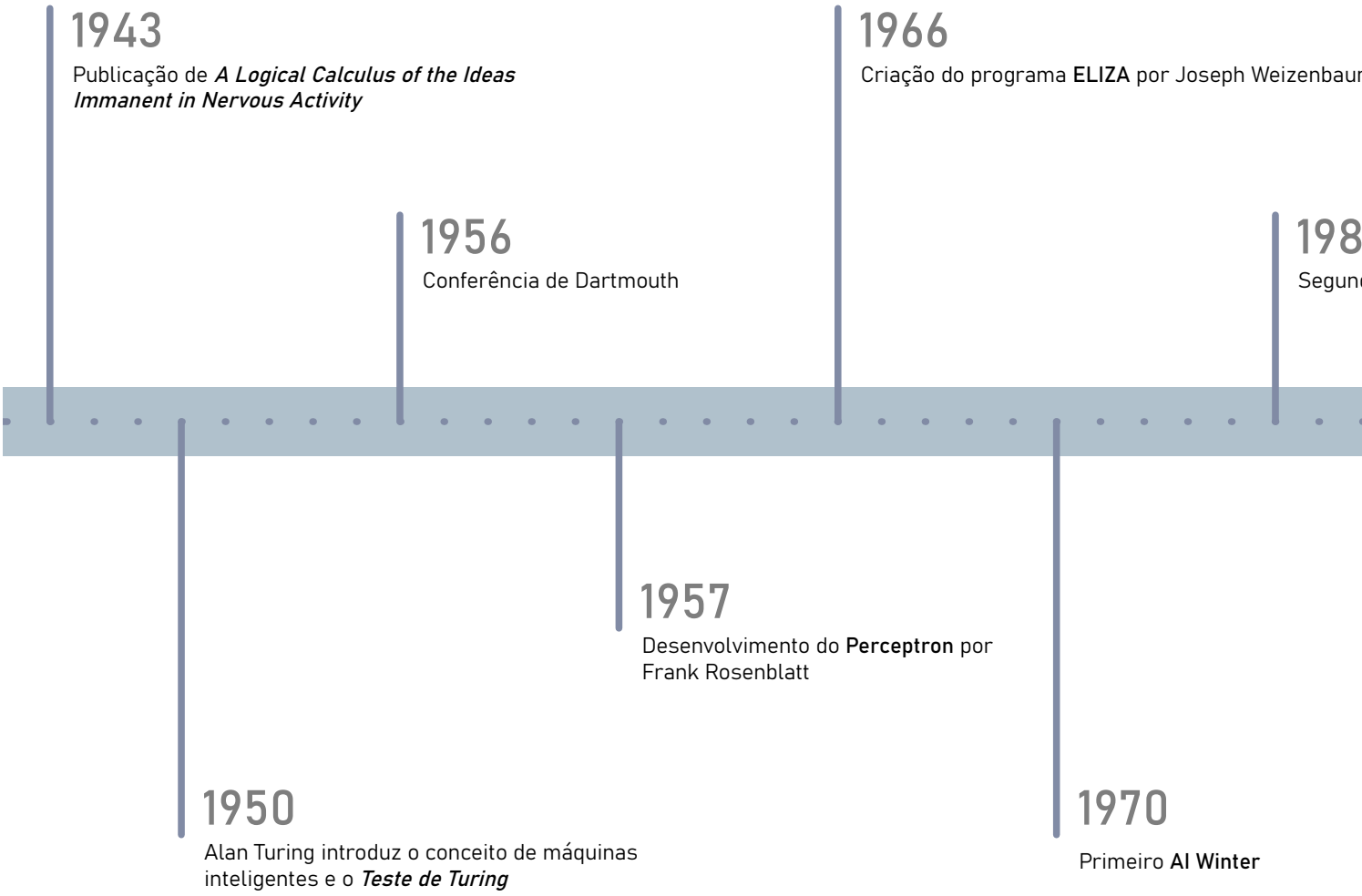
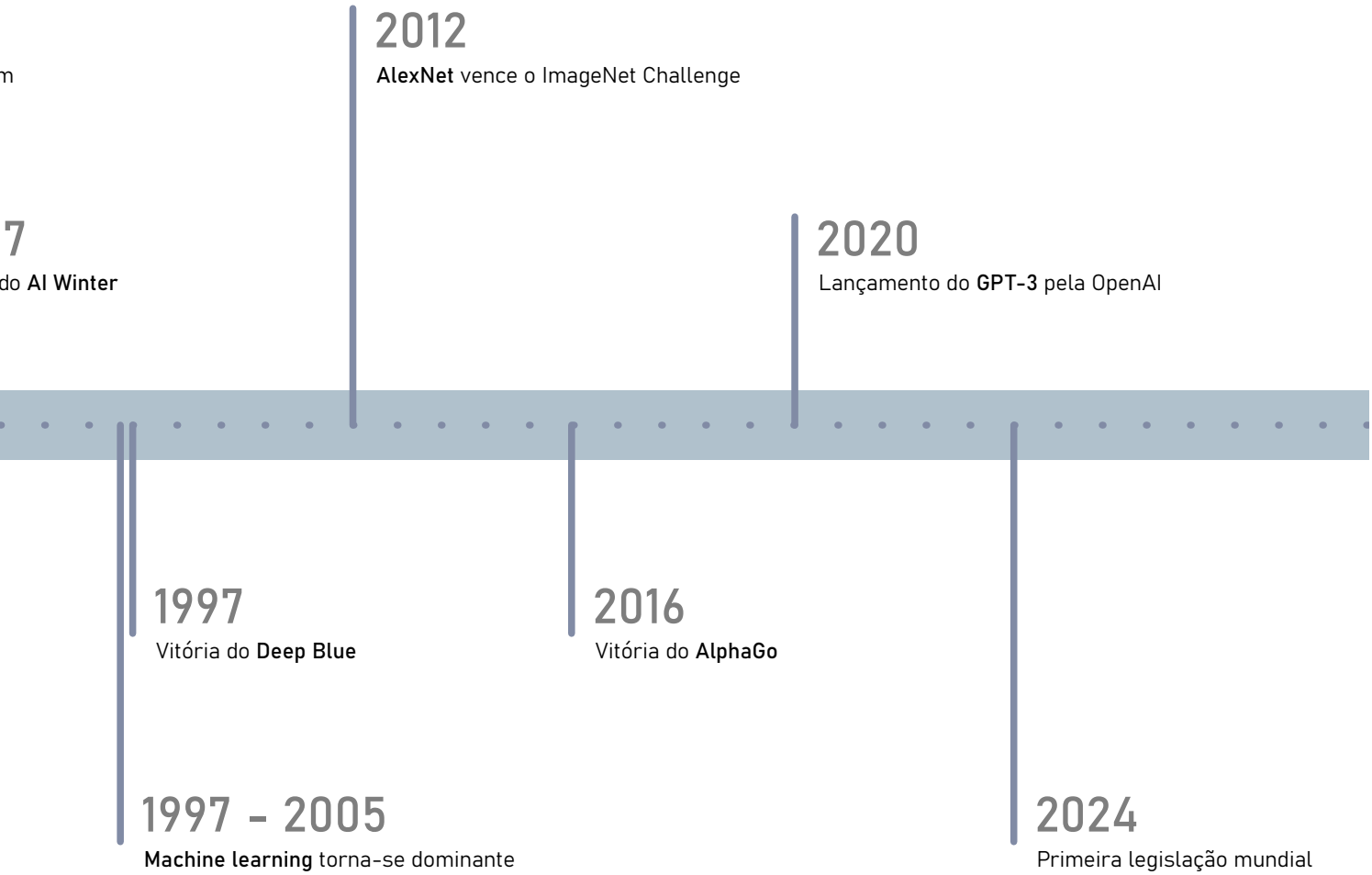


Fig. 10. Friso cronológico de acontecimentos importantes na história da IA

Contextualização histórica da IA

Para obter uma compreensão completa do impacto e o potencial da IA, torna-se necessário explorar as suas raízes históricas e observar como os primeiros conceitos e avanços tecnológicos moldaram a evolução desta área, destacando os marcos significativos que definiram o seu desenvolvimento ao longo das décadas.



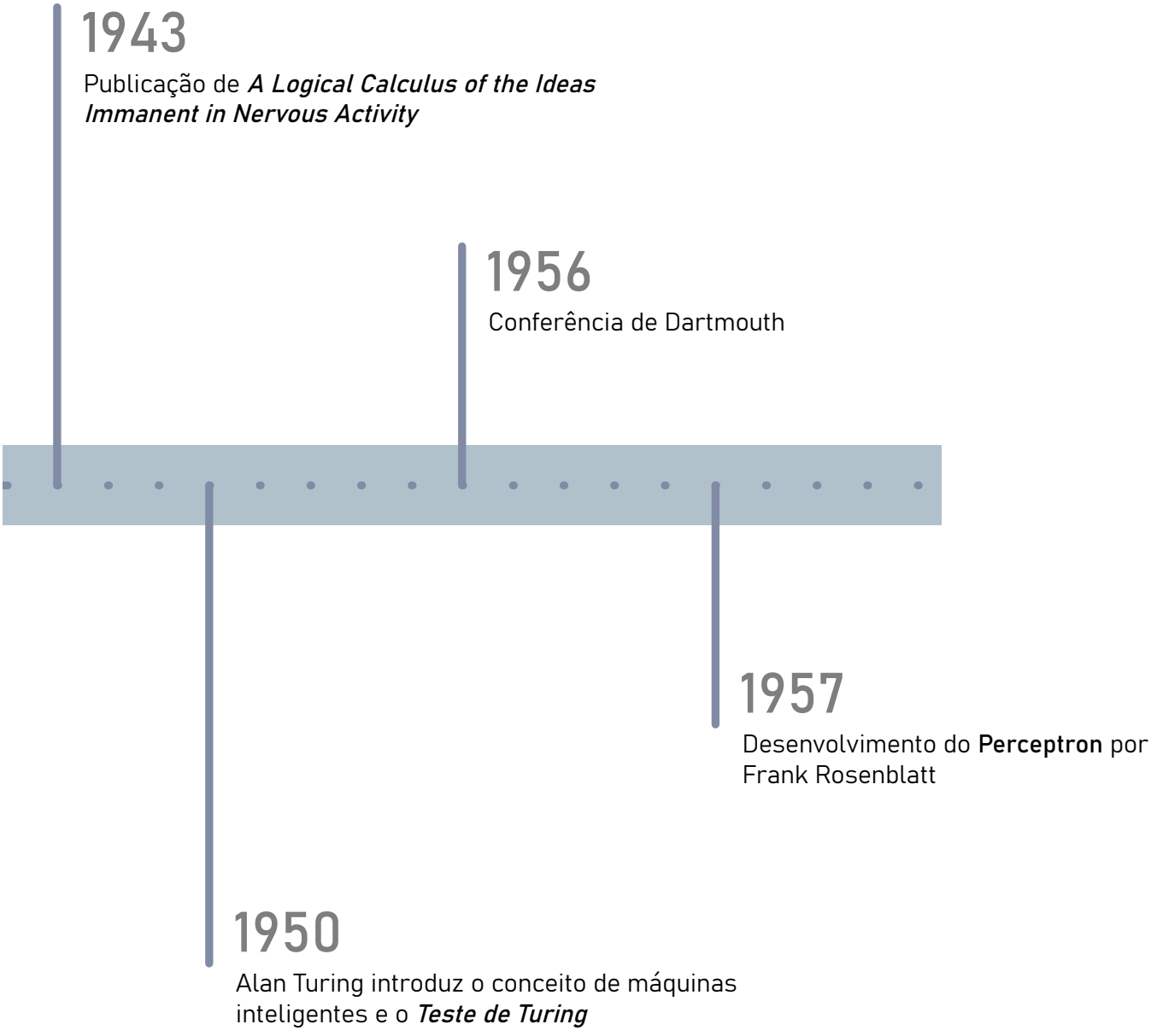


Fig. 10. Friso cronológico de acontecimentos importantes na história da IA

Anos 1940 e 1950: Os Primórdios da IA

A trajetória da IA começou em meados do século XX, com a convergência de ideias de várias disciplinas, incluindo matemática, neurociência e filosofia. Em 1943, Warren McCulloch e Walter Pitts publicaram um artigo pioneiro intitulado ***A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity***, propondo um modelo matemático para **neural networks**. Este trabalho inovador estabeleceu as bases para a conceção de neurónios artificiais, sugerindo que os processos mentais poderiam ser simulados eletronicamente.

Já em 1950, Alan Turing, um dos pioneiros da computação, introduziu a ideia de máquinas inteligentes no seu artigo ***Computing Machinery and Intelligence***. Nele, apresentou o ***Teste de Turing***, concebido para avaliar se uma máquina poderia exibir comportamentos inteligentes indistinguíveis dos de um ser humano, incentivando, assim, a exploração da possibilidade de máquinas conscientes.

Anos 1950 e 1960: O Nascimento da IA como Campo de Estudo

Em 1956, a Conferência de Dartmouth, organizada por John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, marca o nascimento oficial da inteligência artificial como um campo de estudo distinto, delineando um programa de pesquisa ambicioso que procurava replicar aspetos da inteligência humana em máquinas (Mitchell, 2019). Foi nesta conferência que surge pela primeira vez o termo "inteligência artificial".

Posteriormente, em 1957, Frank Rosenblatt desenvolveu o **Perceptron**, uma das primeiras implementações práticas de uma **neural network**. Este modelo foi projetado para reconhecer padrões e mostrou-se promissor em tarefas simples de classificação. No entanto, as suas limitações em resolver problemas mais complexos ficaram evidentes, levando a uma fase de expectativas moderadas (Haykin, 2008).

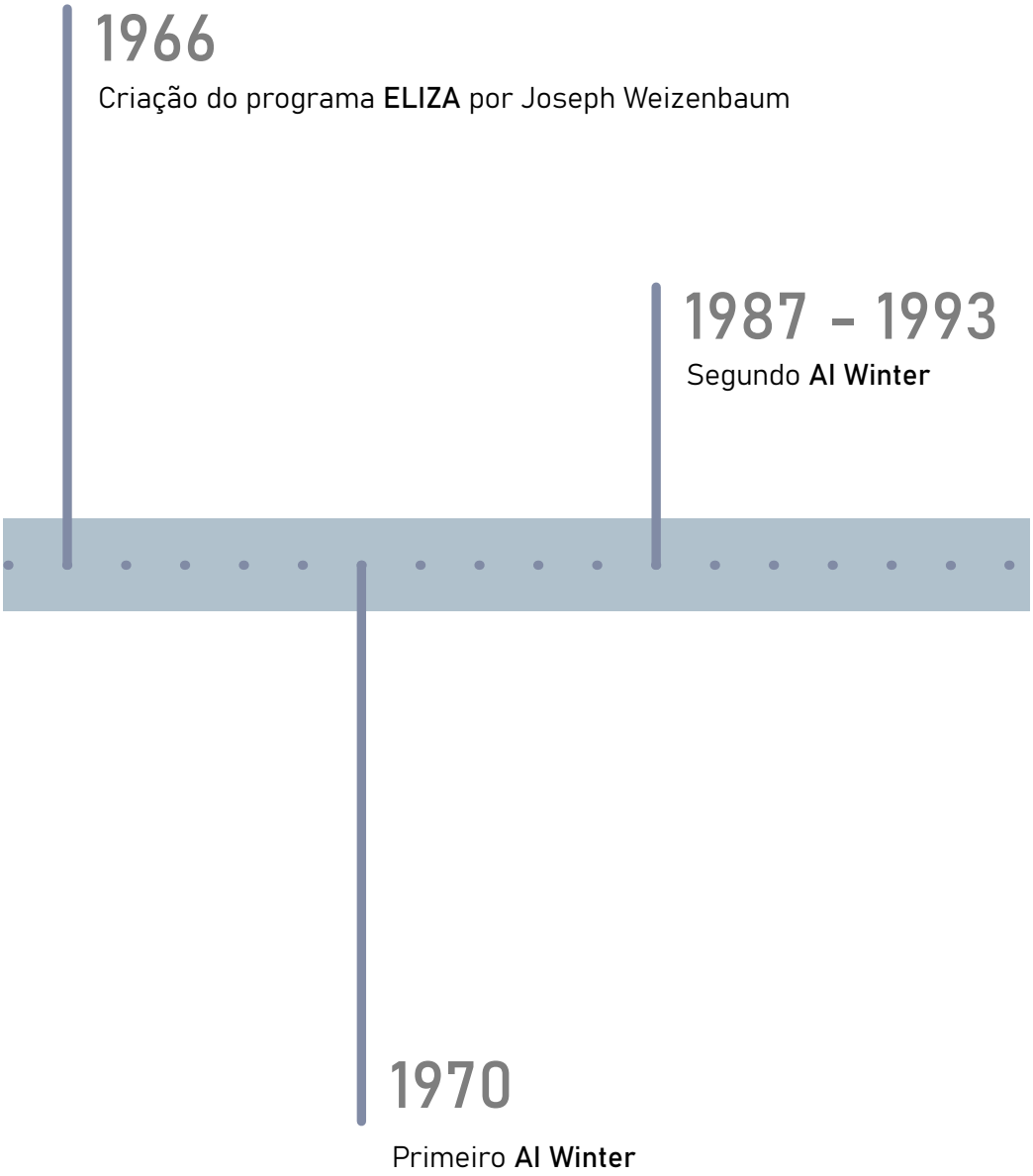


Fig. 10. Friso cronológico de acontecimentos importantes na história da IA

Anos 1960 e 1970: Primeiros Avanços e o Inverno da IA

A década de 1960 testemunhou a criação de programas como **ELIZA**, desenvolvido por Joseph Weizenbaum em 1966, que simulava conversas humanas. Embora rudimentar, **ELIZA** demonstrou o potencial do processamento de linguagem natural. Contudo, as limitações técnicas e a falta de um mínimo de poder computacional levaram ao primeiro **AI Winter** nos anos 1970, caracterizado por uma diminuição significativa no financiamento e interesse (McCorduck, 2004).

Apesar desse insucesso, houve avanços notáveis, como o desenvolvimento de sistemas especializados em aplicar regras específicas para resolver problemas em domínios restritos. Estes sistemas mostraram-se úteis em áreas como diagnóstico médico e análise financeira, mas ainda estavam longe de alcançar uma **Strong AI** (Russel e Norvig, 2021).

Anos 1980: Renascimento com Redes Neuronais e o Segundo Inverno da IA

Nos anos 80, as **artificial neural networks** e a técnica de **backpropagation** revitalizaram a pesquisa em IA, trazendo esperanças de resolver problemas complexos, como a capacidade de modelar e processar grandes quantidades de dados, identificar padrões complexos e tomar decisões com base em informações incompletas. No entanto e segundo o Leach (2022), as expectativas exageradas e a falta de resultados práticos levaram, no final da década, a um segundo declínio, o segundo **AI Winter**, marcado por uma redução no financiamento e ceticismo quanto às promessas da IA.

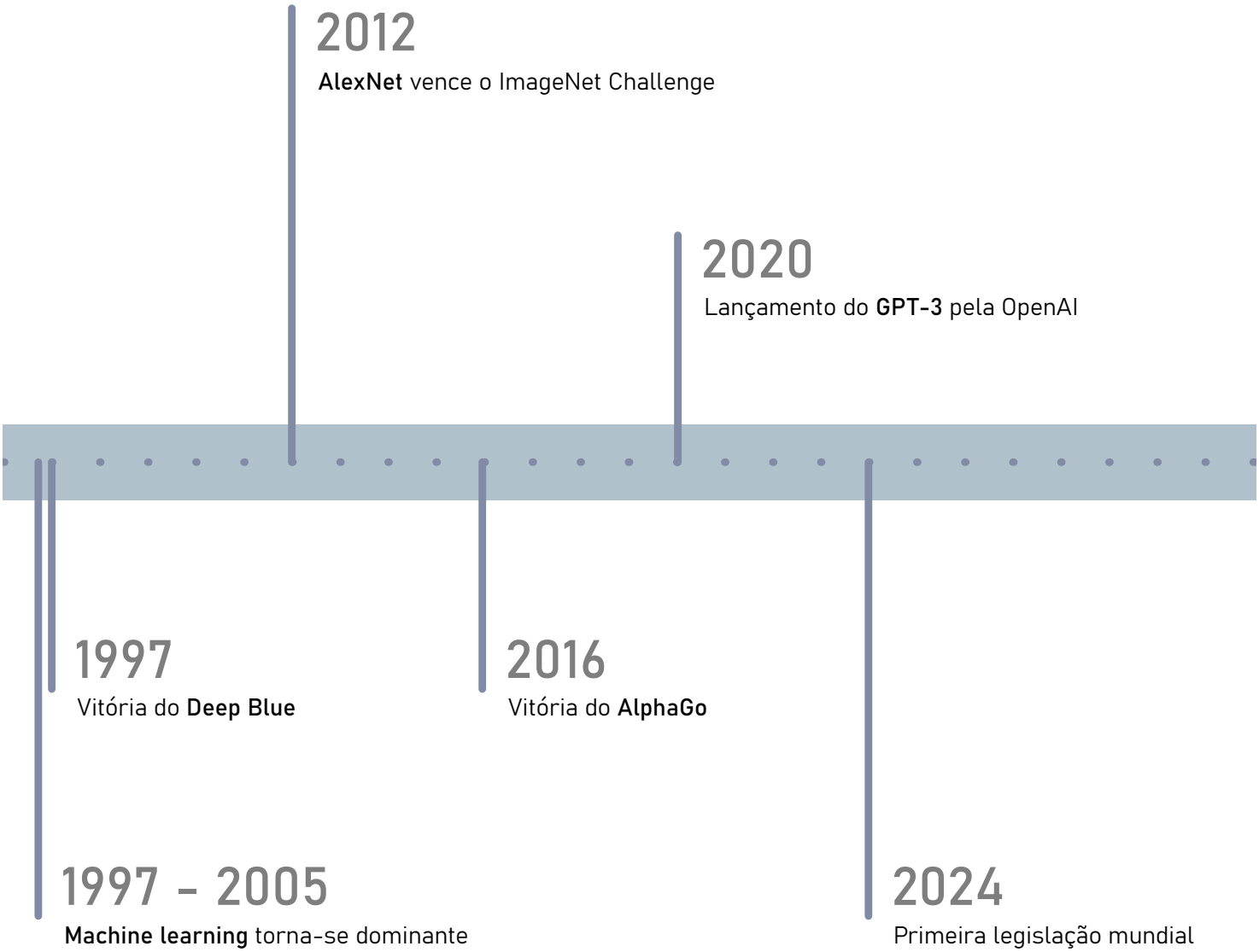


Fig. 10. Friso cronológico de acontecimentos importantes na história da IA

Anos 1990 e 2000: Era do Machine Learning

O final do século XX foi o início de uma era de avanços tecnológicos rápidos e transformadores. Foi neste período que o **Deep Blue**, o supercomputador da IBM, foi desenvolvido e, em 1997, se destacou durante um jogo de xadrez, vencendo o campeão mundial Garry Kasparov. Este evento marcou a primeira vez que uma máquina superou um humano, o que permitiu demonstrar o potencial da IA em tarefas complexas.

A virada do milénio foi igualmente caracterizada pelo aparecimento do **machine learning** como uma metodologia dominante, impulsionado pelo aumento exponencial de dados disponíveis e pelo poder computacional (Russel e Norvig, 2021).

Anos 2010 e 2024: IA Moderna e Deep Learning

A década de 2010 foi marcada pelo surgimento do **deep learning** que superou significativamente os métodos tradicionais em tarefas como reconhecimento de imagem e processamento de linguagem natural. Modelos como o **AlexNet**, vencedor do ImageNet Challenge em 2012, demonstraram a eficácia das **convolutional neural networks**[5] em padrões visuais.

Em 2016, o **AlphaGo**, desenvolvido pela DeepMind, venceu o campeão mundial de Go, Lee Sedol, um marco notável, pois trata-se de um jogo mais desafiador para máquinas do que o xadrez.

A evolução continuou com modelos de linguagem como o **GPT-3** da OpenAI, lançado em 2020. Mostrou capacidades marcantes em geração de texto e outras tarefas complexas, destacando o potencial da IA em simular habilidades cognitivas humanas.

Além dos avanços técnicos, a década de 2020 também testemunhou o início de regulamentações significativas, como a primeira legislação mundial para regular a IA, aprovada pelo Parlamento Europeu em março 2024, visando proteger os direitos fundamentais e promover a inovação responsável.

5. Tipo de rede neuronal artificial especializada no processamento de dados que têm uma estrutura de grade, como imagens, utilizando camadas convolucionais para extrair e aprender padrões e características.

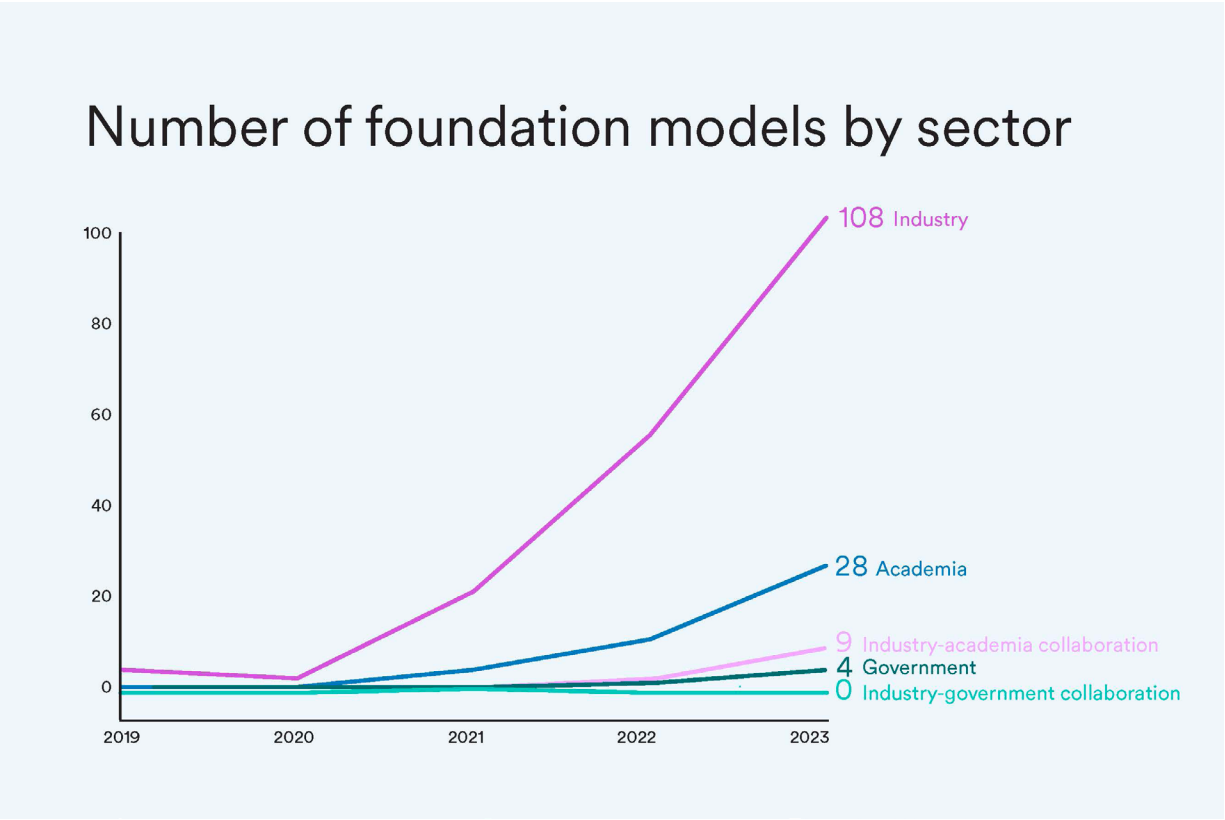


Fig. 11. Gráfico retirado do Stanford AI Index Report 2024 que mostra o aumento do número de modelos de IA de base por setor ao longo do tempo, entre 2019 e 2023.

Aplicações da IA

A IA está a transformar o mundo ao nosso redor de maneiras muitas vezes impercetíveis. Presente em inúmeras aplicações do nosso dia a dia, a IA opera silenciosamente em segundo plano, otimiza processos, melhora serviços e facilita a nossa vida.

Este subcapítulo examina as várias formas como a IA está a ser aplicada em diferentes áreas, destacando os benefícios que proporciona e utilizando exemplos específicos para ilustrar como a sua adoção está a transformar setores diversos. A análise destas aplicações demonstra que a IA já é uma tecnologia presente e crucial na nossa sociedade e que tem um impacto significativo no nosso dia a dia.

"A IA fará cada vez mais parte das nossas vidas quotidianas,
tanto de forma visível como invisível."

Henry A. Kissinger, Eric Schmidt
e Daniel Huttenlocher, 2021

Hottenlocher, D., Schmidt, E., & Kissinger, H. (2021). *A era da inteligência artificial*. Lisboa: Dom Quixote, página 91

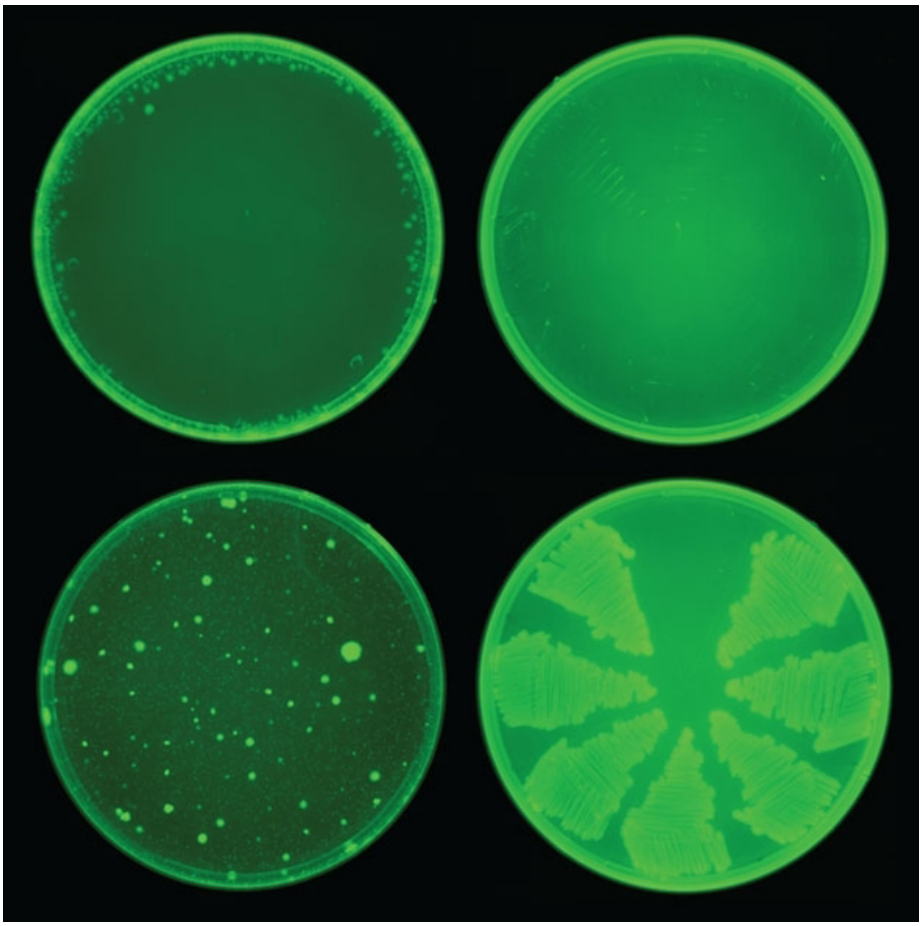


Fig. 12. Investigadores do MIT usaram **machine learning** para identificar um medicamento chamado Halicina, que elimina várias estirpes de bactérias. A Halicina (linha superior) impediu o desenvolvimento de resistência a antibióticos em E. coli, enquanto a ciprofloxacina (linha inferior) não o fez.

Saúde

Começando pela área da saúde, a IA tem-se tornado essencial, atuando em diversas frentes. Com algoritmos avançados, é possível detetar precocemente doenças através de imagens médicas como radiografias e ressonâncias magnéticas. Por forma a desenvolver diagnósticos mais rápidos e precisos, estes algoritmos identificam padrões impercetíveis ao olho humano. Adicionalmente, a IA agiliza a descoberta de novos medicamentos e tratamentos ao analisar grandes volumes de dados, identificando compostos promissores e prevendo os seus efeitos.

Ao utilizar dados genéticos e históricos médicos, a IA possibilita a criação de planos de tratamento altamente personalizados, ajustados às necessidades específicas de cada paciente. Um exemplo notável que demonstra a importância da IA é a descoberta do antibiótico Halicina pelo MIT. A Halicina foi descoberta através de um algoritmo de aprendizagem automática, que identificou este composto como eficaz contra várias estirpes de bactérias resistentes a antibióticos, incluindo Acinetobacter baumannii, que é notoriamente difícil de tratar. Em testes laboratoriais, a Halicina mostrou-se capaz de eliminar estas bactérias ao interromper a capacidade das células de manter um gradiente eletroquímico, essencial para a produção de energia celular (ATP). Testado em ratos infetados com A. Baumannii, este antibiótico conseguiu eliminar completamente as infeções em 24 horas. Este avanço demonstra o potencial da IA em revolucionar a descoberta de novos medicamentos, especialmente num cenário de crescente resistência aos antibióticos existentes. (MIT News) (MIT News)(MIT for a Better World)

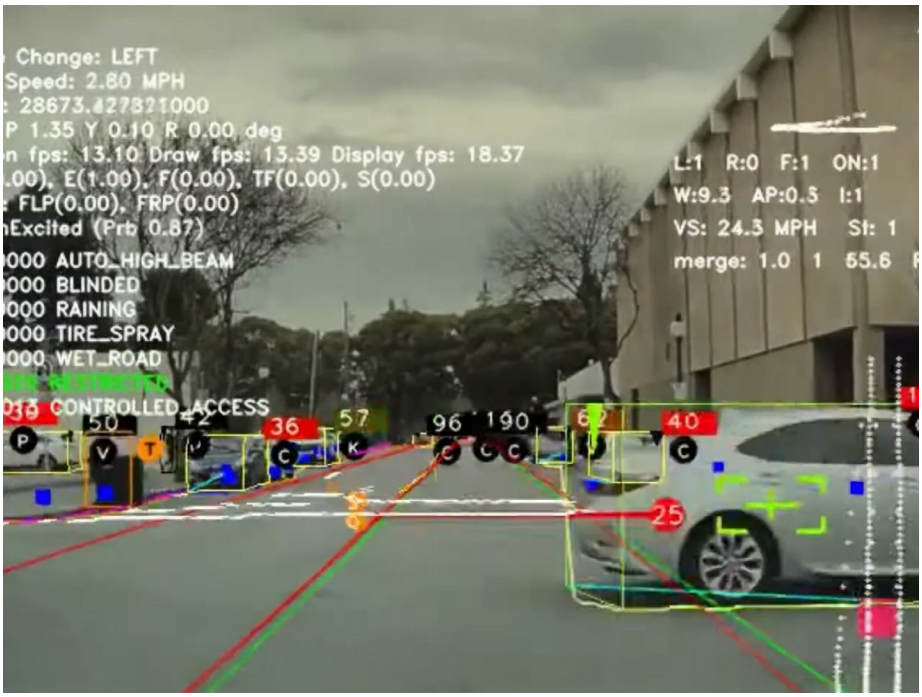


Fig. 13. Imagem do que o carro da Tesla vê em modo de condução autónoma utilizando IA

Transporte

Seguindo para o setor de transporte, as inovações impulsionadas pela IA estão a transformar a mobilidade de pessoas e mercadorias, oferecendo maior segurança e eficiência. De modo a garantir uma maior segurança nas estradas e reduzir o número de acidentes, empresas como a Waymo e a Tesla recorrem a redes neuronais profundas para que os veículos possam navegar e tomar decisões em tempo real.

Por exemplo, a Waymo, que começou como o projeto de carro autónomo da Google, tem implementado a sua tecnologia de condução autónoma em várias cidades dos Estados Unidos. Uma combinação inteligente de sensores LIDAR, câmaras e radar permite, simultaneamente, aos veículos obter uma visão de 360 graus do ambiente e navegar, de forma segura, nas estradas públicas. A Waymo também estabeleceu parcerias com empresas como Uber para expandir o uso de veículos autónomos em serviços de táxi e entrega. (ar5iv)(Built In)

Além disso, a Tesla continua a aperfeiçoar o seu sistema de piloto automático graças a redes neuronais que potenciam o processamento dos dados de sensores e câmaras em tempo real. Este sistema permite que os veículos Tesla realizem tarefas de condução complexas, como mudar de faixa e estacionar de forma autónoma, enquanto mantêm a segurança do condutor e dos passageiros. (ar5iv)

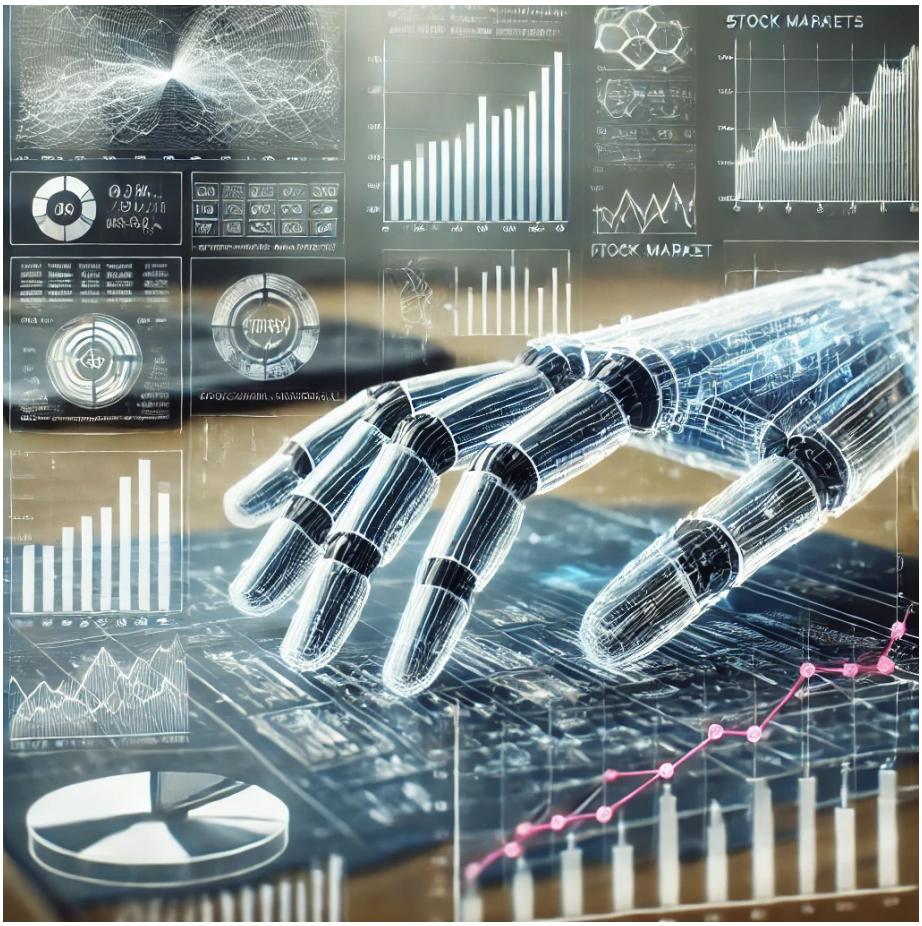


Fig. 14. "The Invisible Hand: AI in Financial Markets and Algorithmic Trading"

Finanças

No campo das finanças, a IA continua a desempenhar um papel significativo, alterando profundamente a forma como as instituições operam. nomeadamente na tomada de decisões financeiras, tais como a avaliação de créditos e a prevenção de riscos de investimentos, melhoradas com os algoritmos de **machine learning**. Por exemplo, as plataformas de empréstimos online utilizam **machine learning** para gerar relatórios em tempo real e recomendar empréstimos com base no histórico financeiro dos utilizadores. (Coursera)

Para além disso, bancos e instituições financeiras monitorizam transações em tempo real e identificam atividades suspeitas, através da IA, contribuindo significativamente para a deteção de fraudes. Este processo inclui a análise de padrões em grandes volumes de dados transacionais, o que possibilita a identificação de anomalias e comportamentos fora do comum e a consequente intervenção rápida e eficiente. (GlobalBoard)

Para os sistemas de negociação de alta frequência maximizarem os seus lucros, é utilizada IA para realizar transações em frações de segundo, analisando grandes quantidades de dados de mercado em tempo real, identificando oportunidades de negociação e executando ordens de compra e venda numa velocidade que seria impossível para um ser humano. A utilização de IA, nestes sistemas, não só melhora a eficiência das transações como também reduz os custos operacionais e o risco de erros humanos. (SpringerLink)



Fig. 15. AIDA - Solução para processamento inteligente de documentos, focada na extração automática de dados e na gestão eficiente de documentos

Educação

No contexto educativo, a IA trouxe também avanços significativos, transformando a forma como o ensino e a aprendizagem são conduzidos. Plataformas de aprendizagem adaptativa ajustam-se às necessidades individuais dos alunos, oferecendo suporte personalizado e eficiente, e uma avaliação contínua e precisa do seu desempenho. Além disso, a IA cria materiais de estudo adaptados ao ritmo e estilo de aprendizagem de cada aluno, permitindo que os alunos avancem no seu próprio ritmo e recebam comentários imediatos sobre o seu progresso. Estas plataformas adaptativas demonstraram ser eficazes em melhorar a aprendizagem e consequentemente os resultados académicos. Por exemplo, sistemas como o **iTalk2Learn** e o **AIDA** da Pearson utilizam IA para fornecer instruções passo a passo em matérias como matemática, ajustando-se ao ritmo e estilo de aprendizagem de cada aluno, e intervindo quando os alunos encontram dificuldades específicas. (SpringerLink)(UNESCO)

A nível administrativo, as ferramentas de IA permitem automatizar tarefas, como a gestão de turmas e o acompanhamento do progresso dos alunos, libertando tempo para os educadores se concentrarem no ensino. Isso inclui a utilização de assistentes virtuais que podem responder a perguntas dos alunos e realizar tarefas administrativas básicas, tornando a gestão educacional mais eficiente. (ar5iv)

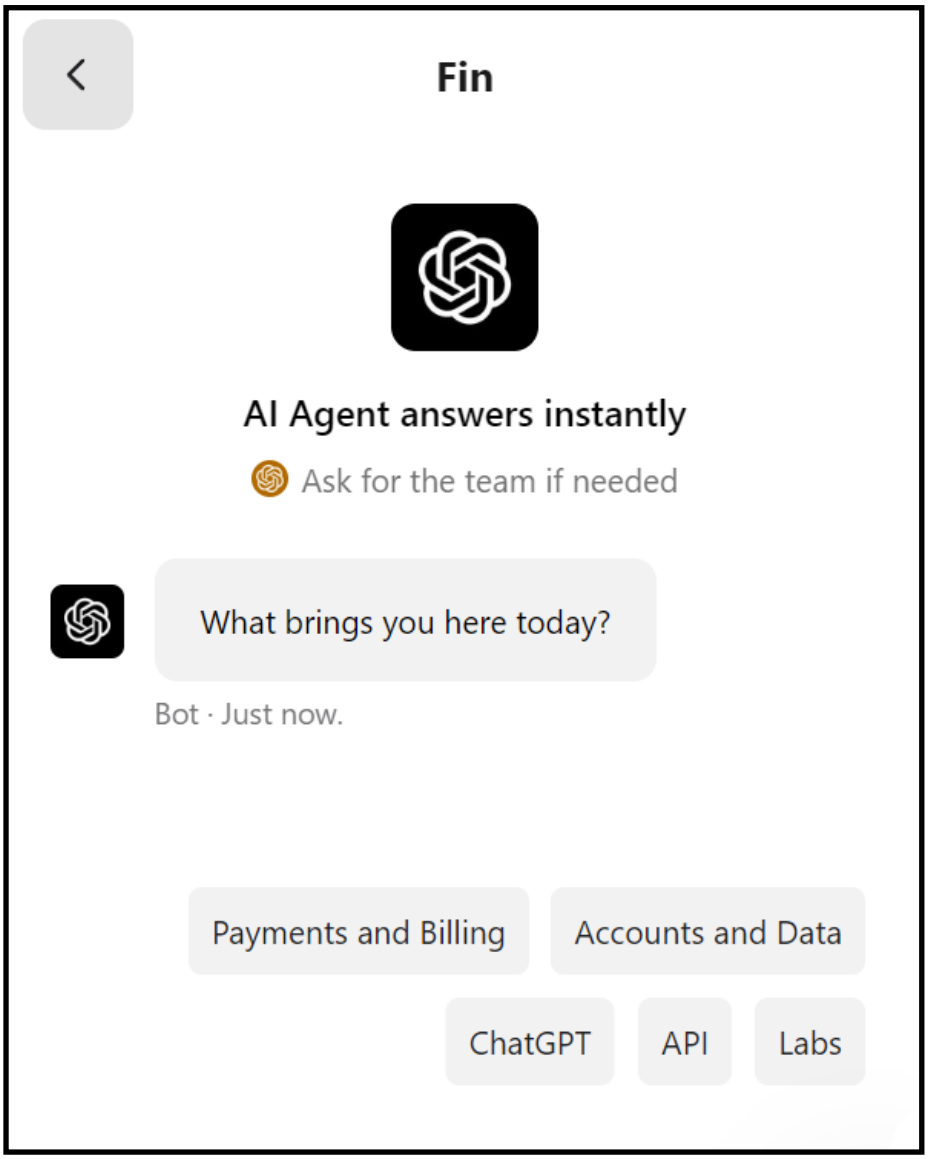


Fig. 16. Chatbot de apoio ao cliente da OpenAI

Comércio

No setor do comércio, a IA redefine tanto a experiência do cliente como a gestão operacional. Os algoritmos de IA são capazes de analisar o histórico de compras e as preferências dos consumidores para sugerir produtos personalizados, o que não só aumenta as vendas, mas também incrementa a satisfação do cliente. Por exemplo, graças à criação de recomendações de produtos altamente personalizadas, a IA melhora significativamente a experiência de compra e fomenta a lealdade do cliente. (Small Business Trends)(LeewayHertz - AI Development Company)

Por outro lado, algoritmos de previsão de procura e gestão de stock analisam dados históricos e padrões de consumo para prever com precisão as necessidades futuras, ajudando a minimizar os desperdícios e a manter níveis de stock adequados. Isto resulta numa operação mais eficiente e numa significativa redução de custos operacionais.

Outro destaque é o uso de **chatbots**[6] e assistentes virtuais, que garantem um atendimento célere e eficaz aos clientes. Estes sistemas de IA podem responder a perguntas frequentes, ajudar na navegação do site e resolver problemas comuns, melhorando a experiência do cliente e libertando tempo para os funcionários se concentrarem em tarefas mais complexas. (IBM - United States)(Poptin)

6. Programas de computador que simulam conversas humanas, utilizando processamento de linguagem natural e IA para interagir com utilizadores de forma automatizada.

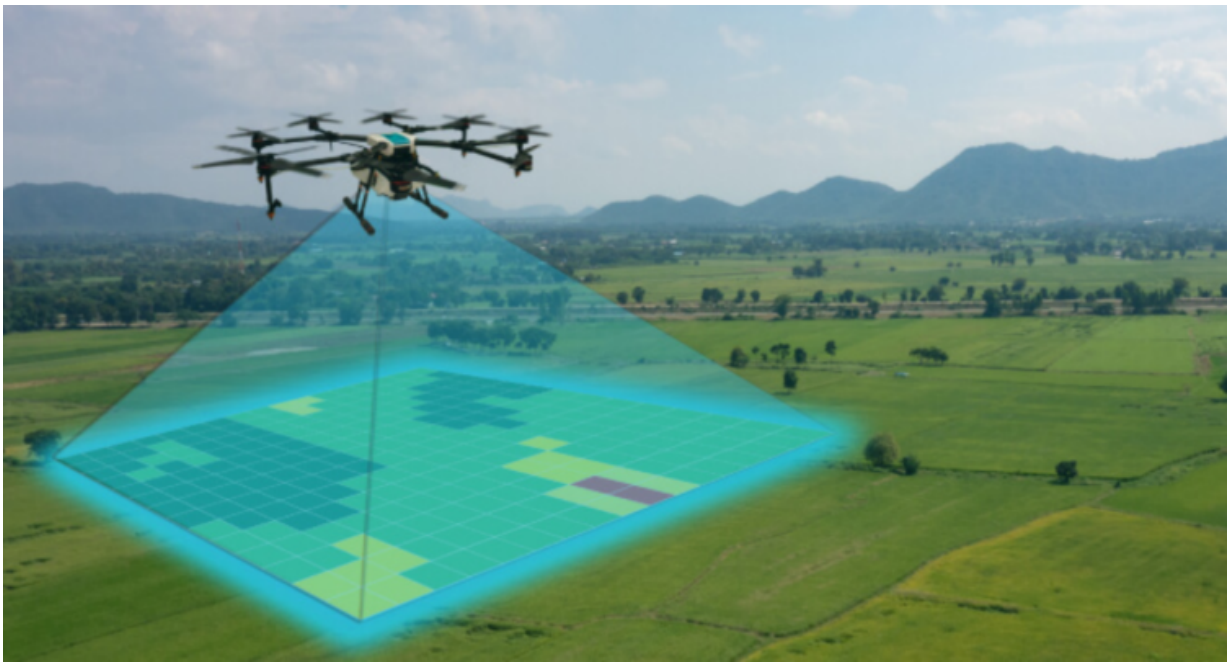


Fig. 17. Os drones estão equipados com sensores que conseguem detetar alterações na saúde e nos padrões de crescimento das plantas.

Agricultura

A IA também se estende à agricultura, onde a sua integração tem trazido grandes benefícios à produtividade e sustentabilidade. A monitorização de colheitas e solos, potenciada por sensores e drones, permite otimizar a produção agrícola através de intervenções muito precisas. Por exemplo, sistemas de monitorização de culturas com IA analisam dados em tempo real sobre a saúde das plantas, padrões de crescimento e condições ambientais, ajudando os agricultores a tomar decisões informadas sobre irrigação, fertilização e controlo de pragas. (Data Science Society)

Modelos de IA também antecipam condições climáticas, auxiliando os agricultores a tomar decisões estratégicas com maior precisão. A partir da análise de dados históricos e atuais, estes sistemas procuram prever condições meteorológicas específicas, permitindo aos agricultores ajustar os seus planos de plantio e colheita de acordo com as previsões, e reduzir, assim, perdas causadas por condições adversas. (The Farming Insider)

Além disso, a deteção precoce de pragas e doenças nas plantações, através da IA, facilita uma resposta rápida e eficaz, protegendo assim as culturas. Com base em imagens capturadas por drones ou câmaras, são detetados sinais iniciais de infestações ou doenças, o que leva a intervenções precisas minimizando o uso de pesticidas, e, consequentemente, reduz o impacto ambiental e melhora a sustentabilidade agrícola.

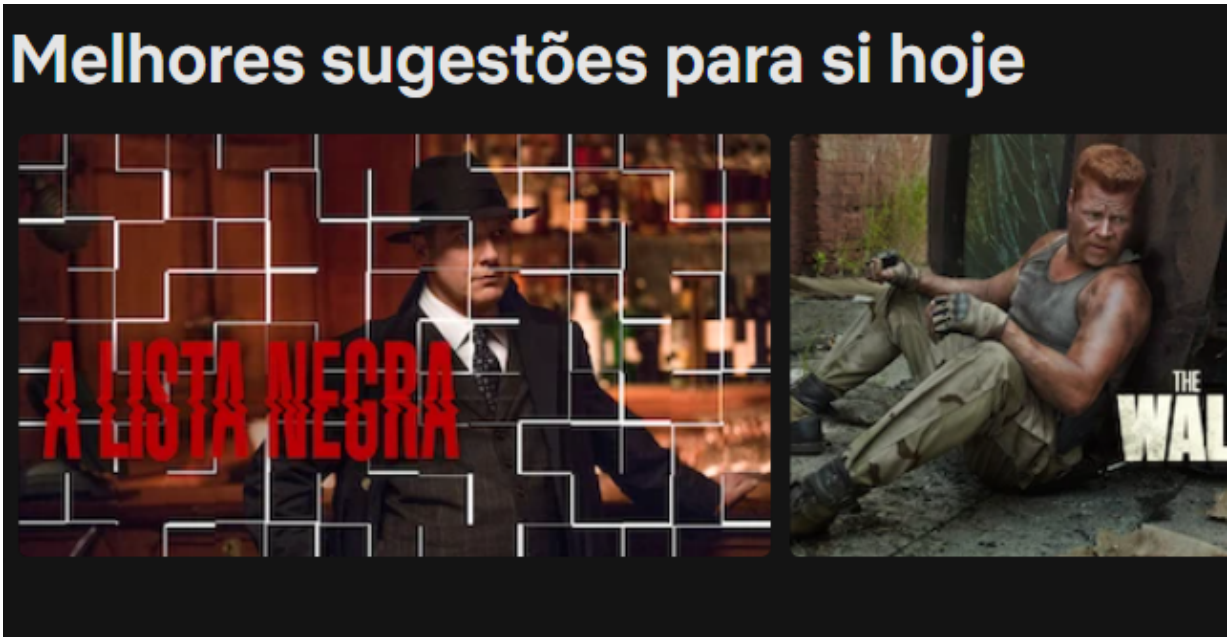


Fig. 18. Recomendações feitas pela IA da Netflix com base nos hábitos de visualização dos utilizadores.

Entretenimento

Na área do entretenimento, a IA está a explorar novas formas de desenvolver interação e personalização, ampliando as possibilidades criativas. Algoritmos avançados são capazes de gerar música, arte e literatura, expandindo os limites da criatividade humana. Por exemplo, ferramentas como o **AIVA** (Artificial Intelligence Virtual Artist) aplicam algoritmos de **deep learning** na composição de músicas originais e na criação de bandas sonoras personalizadas para filmes e jogos. (BlogPilot)(Elite Team)

Por outro lado, plataformas de **streaming** como Netflix e Spotify utilizam IA para recomendar filmes e músicas, conforme as preferências dos utilizadores. Através da análise dos dados de visualização e hábitos de consumo, essas plataformas conseguem oferecer recomendações personalizadas, em prol da melhoria significativa da experiência do utilizador e aumento do consumo de conteúdo. (Relevant Software) (LeewayHertz - AI Development Company)

No desenvolvimento de jogos, a IA torna personagens e ambientes mais inteligentes e interativos, proporcionando uma experiência de jogo imersiva. Empresas como a Ubisoft servem-se de algoritmos de IA para gerar conteúdo procedimental, criando mundos de jogos vastos e dinâmicos com paisagens realistas e elementos interativos. Além disso, a IA permite que **non-player character** (NPCs) reajam de maneira realista às ações dos jogadores, tornando a experiência de jogo mais envolvente. (Miquido)

PREDPOL®

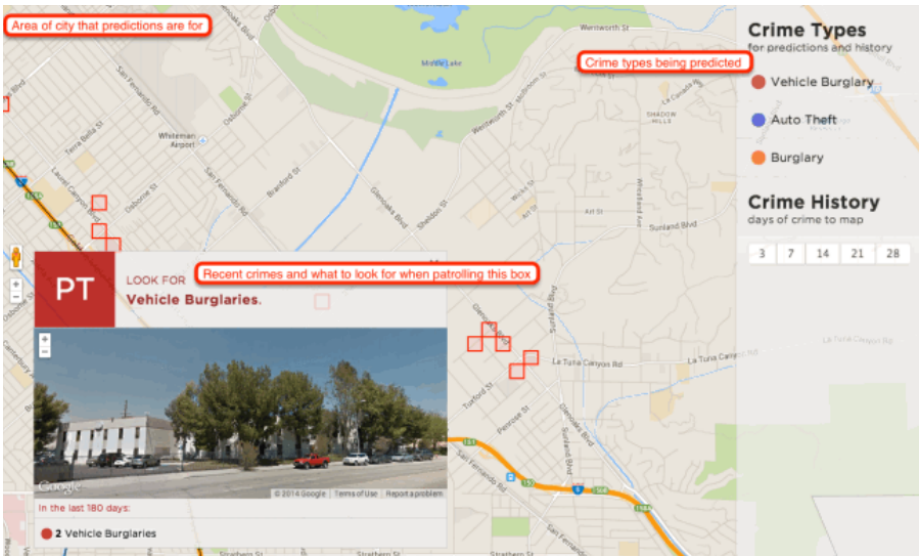


Fig. 19. PredPol atua como um plug-in do Google Maps, gerando "caixas" codificadas por cores de 45m2, indicando os tipos de crimes que supostamente ocorrem ou estão prestes a ocorrer nessa área.

Segurança

No que diz respeito à segurança, a IA está a implementar soluções inovadoras que reforçam a proteção de pessoas e informações. Sistemas de identificação baseados em IA são implementados para reforçar a segurança em locais públicos e privados. Através de reconhecimento facial e análise de comportamento, para identificar indivíduos suspeitos e monitorar atividades em tempo real, é possível garantir uma resposta rápida a possíveis ameaças. A análise de imagens captadas por câmaras de vigilância, através de IA, permite, ainda, a deteção de atividades suspeitas, prevenindo incidentes antes que ocorram. Por exemplo, a utilização de câmaras equipadas com IA permite à empresa chinesa Hikvision analisar padrões de movimento e comportamento, e, desta forma, contribuir para uma redução significativa da criminalidade em áreas monitorizadas.

Adicionalmente e de modo a auxiliar eficazmente a atuação das forças de segurança, algoritmos de IA viabilizam a análise de grandes volumes de dados para prever e prevenir crimes. Plataformas como **PredPol** utilizam dados históricos de criminalidade para prever futuras ocorrências, ajudando a polícia a patrulhar áreas de maior risco com mais eficiência. Sistemas de análise preditiva são implementados para identificar padrões de criminalidade, o que permite a implementação de medidas preventivas em tempo real. (Emerj Artificial Intelligence Research)(SpringerLink)



Fig. 20. Um U-2S como este realizou uma missão de reconhecimento simulada, utilizando um agente de IA para comandar o seu radar enquanto o piloto pilotava o avião.

Militar

Por fim, no campo militar, a IA está a revolucionar as estratégias de defesa e operações, graças a uma análise de dados de inteligência que proporcionam decisões mais rápidas e precisas. Além disso, a utilização de drones e veículos autónomos, equipados com IA, em missões de reconhecimento e patrulha, tem reduzido substancialmente os riscos para os soldados.

A cibersegurança também beneficia com IA na identificação e neutralização de ameaças de forma proativa. Outro ponto interessante é o uso de simulações de combate e treinos virtuais, alimentados por IA, que melhoram significativamente a preparação e a capacidade dos militares para enfrentar situações reais.

Dois exemplos notáveis de aplicação da IA no campo militar em 2020 são o ARTUμ da Força Aérea dos EUA e o AlphaDogFight da DARPA.

O ARTUμ foi testado pela primeira vez em voo num U-2 Dragon Lady, um avião de reconhecimento de alta altitude. Este algoritmo de IA atuou como copiloto, gerindo os sensores e a navegação tática durante uma missão de treino. Desenvolvido pelo U-2 Federal Laboratory da Air Combat Command, o ARTUμ foi treinado em mais de meio milhão de simulações para lidar com tarefas que normalmente seriam executadas pelo piloto, demonstrando a eficácia da colaboração entre humanos e máquinas nas operações militares. (Airforce Technology)(New Atlas)(Defense News)

Por outro lado, o AlphaDogFight, organizado pela DARPA, mostrou o potencial da IA em combates aéreos. Em 2020, um algoritmo desenvolvido pela Heron Systems derrotou um piloto humano em simulações de combate aéreo cinco vezes consecutivas. Este evento demonstrou que é possível desenvolver algoritmos capazes de realizar manobras complexas e superar pilotos humanos, preparando, assim, o terreno para futuras integrações de IA em combates aéreos reais. (Aviation Week)(JHU APL)

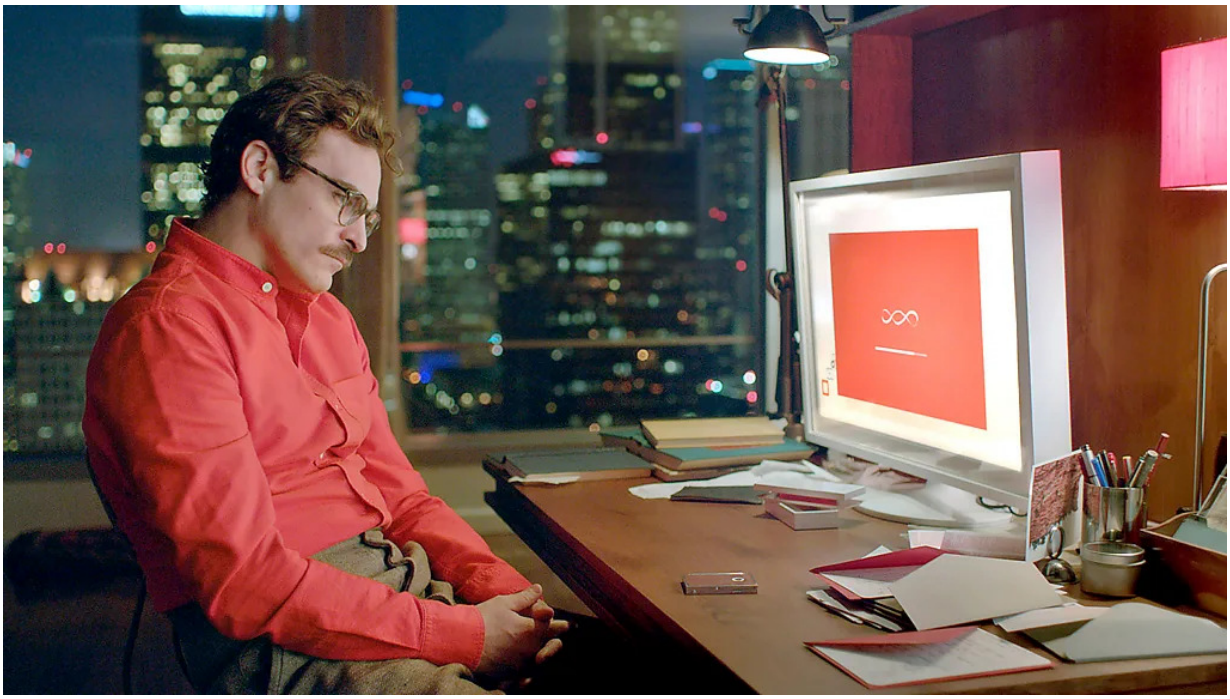


Fig. 21. Imagem do filme *Her* (2013), dirigido por Spike Jonze

A Revolução Silenciosa da IA

A abrangência das aplicações da IA evidencia o seu papel central na transformação de inúmeros setores da sociedade. Desde a saúde até à segurança, a IA está a redefinir processos, a otimizar operações e a criar novas possibilidades que anteriormente eram inimagináveis. O impacto da IA não se limita apenas a melhorias incrementais, pois, em muitos casos, está a revolucionar completamente a forma como as tarefas são realizadas e como as decisões são tomadas.

O que se observa é que a IA já desempenha um papel ativo e decisivo no mundo atual, moldando a nossa realidade de maneiras profundas e muitas vezes impercetíveis. À medida que continuamos a explorar e a expandir as suas capacidades, é provável que haja uma integração ainda mais profunda da IA em praticamente todos os aspetos da vida humana, sublinhando a sua importância como motor de inovação e progresso.



Desenho do autor, DALL-E e Adobe Firefly

02

IA na Arquitetura

"AI's gradual inception in Architecture calls for a broader reflection about its actual contribution."
Chaillou, 2022

Chaillou, S. (2022). Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice. Basel: Birkhäuser, página 62





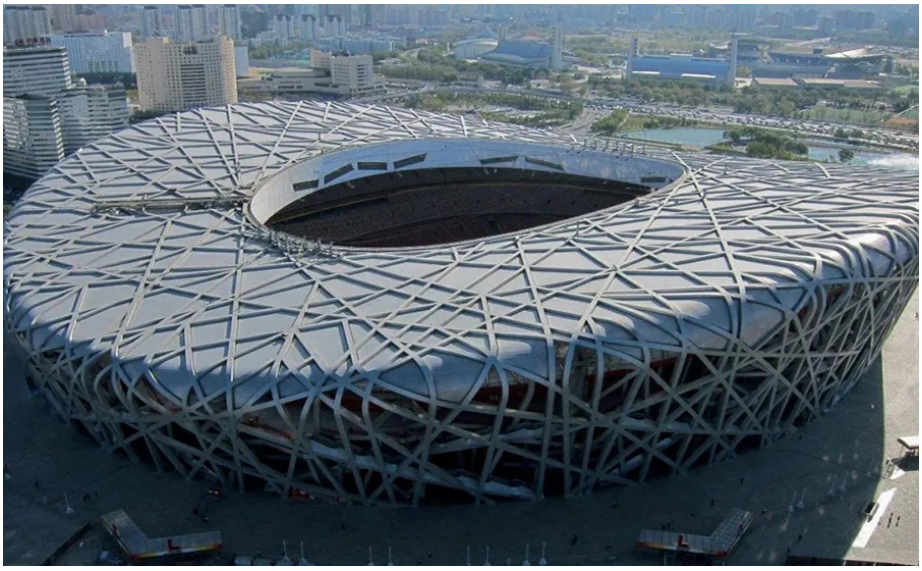
Fig. 22. Ivan Sutherland's Sketchpad DEMO em 1963
Fig. 23. Walt Disney Concert Hall projetado por Frank Gehry desde 1987 a 2003

Evolução Histórica da IA na Arquitetura

Na década de 60, as primeiras experiências com **CAD** (Computer-Aided Design) na arquitetura marcaram o início de uma nova era. Esta ferramenta, ainda que rudimentar, permitiu aos arquitetos iniciar o processo de esboço e modela**ção** digital dos seus projetos, abrindo caminho para futuras integrações entre tecnologia e design arquitetónico.

A chegada da década de 1970 trouxe uma evolução significativa nas ferramentas de **CAD**, tornando-as mais sofisticadas. Este desenvolvimento facilitou a criação de desenhos técnicos e precisos, e reduziu o tempo necessário em comparação com os métodos tradicionais de desenho à mão. Durante este período, também surgiram os primeiros conceitos de Building Information Modeling (BIM), que começaram a incorporar várias dimensões de dados em projetos arquitetónicos, estabelecendo a base para a futura integração da IA no processo de design e construção (Penttilã, 2006). Nesta década, um dos primeiros exemplos de arquitetura interativa foi o projeto **Generator** de Cedric Price. Embora nunca tenha sido construído, este projeto inovador utilizava sistemas cibernéticos para criar uma interação dinâmica entre o edifício e seus ocupantes, ajustando o espaço conforme as necessidades e desejos dos utilizadores (Price, 2003).

Os anos 80 foram marcados pela expansão considerável da integração da IA na arquitetura, especialmente com o uso mais frequente de softwares de **CAD**. Frank Gehry destacou-se como um dos pioneiros nesta área, utilizando o software **CATIA** para enfrentar a complexidade geométrica dos seus projetos, como o **Walt Disney Concert Hall** (Burry, 2011).



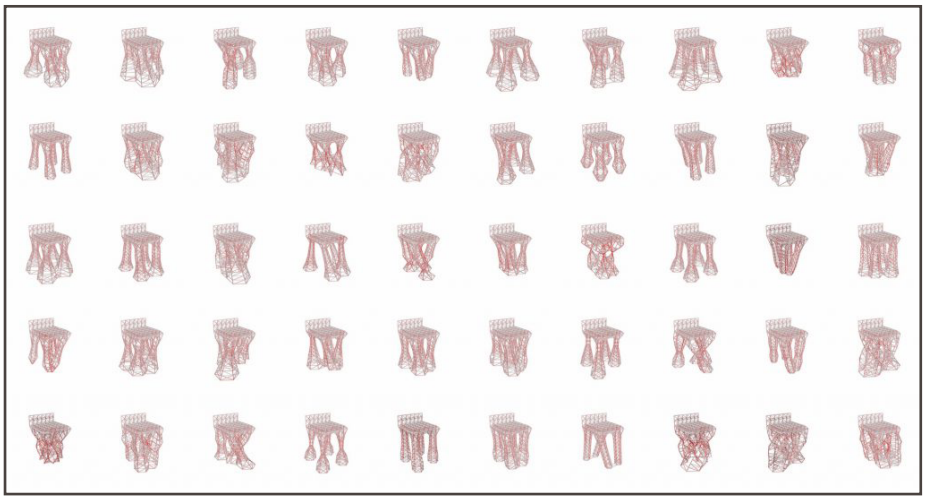


Fig. 24. Estádio Nacional de Pequim, onde foi usado IA para otimizar a estrutura, melhorando a eficiência e reduzindo o uso de materiais,mantendo a integridade estética e funcional do projeto.
Fig. 25. Geração de vários designs de cadeiras, utilizando o **Autodesk Generative Design**

Na década de 2000, a IA começou a integrar-se mais profundamente com o BIM, permitindo otimizar projetos arquitetónicos e melhorar a eficiência energética. Durante este período, ferramentas paramétricas, como o **Grasshopper** para **Rhino**, possibilitaram aos arquitetos explorar novas formas e automatizar partes significativas do processo de design, abrindo novas possibilidades criativas (Woodburry, 2010). Neste período, a **ETH Zurich** demonstrou o potencial da IA na arquitetura ao usar algoritmos genéticos para otimizar a estrutura do **Estádio Nacional de Pequim**, resolvendo desafios arquitetónicos de alta complexidade (Shea, 2005).

Nos anos 2010, com a introdução de ferramentas como o **Autodesk Generative Design**, a IA generativa ganhou destaque (Autodesk, 2019). Estas permitiram a criação de múltiplas opções de design baseadas em parâmetros específicos, enquanto o uso de **machine learning** se tornou comum para prever comportamentos de construção e analisar preferências dos utilizadores. A combinação de IA com robótica e fabricação digital começou a transformar a construção, permitindo a produção de componentes arquitetónicos com maior precisão e inovação.

Com isto, a evolução da IA na arquitetura demonstra um movimento contínuo em direção a uma maior eficiência, precisão e inovação. Compreender esta trajetória histórica é fundamental para situar o papel da IA na arquitetura contemporânea e antecipar futuras implicações.



Fig. 26. Imagens criadas por IA que demonstram que a mesma pode ser imprecisa, obrigando uma supervisão humana.

Desafios e Limitações

Embora a integração da IA na arquitetura tenha o potencial de transformar profundamente a maneira como os espaços são concebidos, projetados e construídos, essa transformação não está isenta de desafios significativos. A promessa de uma arquitetura mais eficiente, inovadora e sustentável enfrenta uma série de obstáculos que precisam de ser superados para que a IA possa ser implementada de forma eficaz e generalizada.

Neste subcapítulo, serão explorados os principais desafios e limitações que acompanham a implementação da IA na arquitetura.

Para Chaillou (2021) e Wang (2022), a eficácia dos modelos de IA depende da precisão e da qualidade dos dados disponíveis. No setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (**AECO**), os dados são frequentemente fragmentados, desorganizados e dispersos entre diferentes stakeholders, o que dificulta a criação de modelos robustos e generalizáveis. Além disso, muitos métodos tradicionais de aumento de dados, como a rotação e o espelhamento de imagens, não são aplicáveis na arquitetura devido a aspetos críticos como a orientação e a escala nas representações arquitetónicas.

Outro obstáculo é a complexidade dos algoritmos e a necessidade de controlo humano. Os algoritmos de IA, especialmente os avançados, como **neural networks** e **evolutionary algorithms**[7], são complexos e exigem grande poder computacional e conhecimento especializado, ou seja, embora a IA possa automatizar muitas tarefas, a supervisão humana ainda é necessária. Modelos como **GANs** e **swarm intelligence**[8] exigem definição de parâmetros específicos e

7. Métodos de otimização baseados em princípios da evolução biológica, como mutação e seleção, para resolver problemas complexos.

8.Comportamento coletivo emergente de sistemas descentralizados, inspirado em fenómenos naturais, utilizado para resolver problemas complexos.



Fig. 27. Imagem criada por IA. Foi pedido ao IA para criar um cão com 5 patas. Quando o prompt utilizado vai para além do impossível, como foi usado neste caso, a IA não consegue realizar a tarefa com sucesso.

acompanhamento constante por parte dos arquitetos para garantir que os resultados atendam às expectativas do projeto (Cudzik e Radziszewski, 2018). Isso torna-se particularmente desafiador quando se lida com **non-hierarchical algorithm**[9], que produzem resultados menos previsíveis e requerem uma maior capacidade de interpretação e ajuste.

A integração da IA nas ferramentas de desenho assistido por computador (CAD) e sistemas de modela**ção** de informação da construção (BIM) também apresenta desafios significativos. Muitas ferramentas atuais são limitadas e precisam de ser adaptadas para trabalhar em conjunto com softwares estabelecidos. A falta de padronização e a necessidade de customização podem criar barreiras para a adoção generalizada da IA na prática arquitetónica (Muntañola, 2022).

Por outro lado, a infraestrutura necessária para suportar ambientes inteligentes é outro aspeto a ter em conta. Sistemas de sensores, atuadores e redes de comunicação precisam de ser integrados de maneira eficiente para garantir a funcionalidade contínua dos espaços inteligentes. Adicionalmente, a dependência de hardware específico e a necessidade de manutenção regular representam barreiras técnicas significativas (Brites, 2018). A escalabilidade desses sistemas é uma preocupação adicional, uma vez que a expansão para aplicações em larga escala pode ser dispendiosa e logisticamente complicada.

Não menos importante são os custos associados ao desenvolvimento e implementação de sistemas de IA, que podem ser substanciais. A pesquisa, o desenvolvimento e a manutenção contínua de tecnologias avançadas exigem

9. Algoritmo que não segue uma estrutura de níveis ou camadas, tratando todos os elementos de forma igualitária no processo de tomada de decisão.

Hardware Type	Description	Cost Estimate	Additional Notes
GPUs	Essential for neural network training due to parallel processing capabilities.	~$10,000 per unit for Nvidia A100.	Rental costs: ~$1.14/hr on Google Cloud, ~$3.06/hr on AWS.
FPGAs	Suitable for AI applications; less expensive than GPUs but challenging to program.	From $5 to over $100,000, depending on capability.	Cost varies widely based on required performance.
ASICs	Custom-built for specific tasks, offering high performance for complex AI applications.	Variable, often high.	Cost dependent on customization and performance needs.

Fig. 28. Custos associados ao hardware necessário para o desenvolvimento de sistemas de IA.

investimentos significativos, o que pode limitar o acesso a essas inovações a grandes empresas ou projetos de alto orçamento. A democratização da tecnologia é essencial para garantir que os benefícios da IA sejam amplamente distribuídos (Chaillou, 2021).

Embora a IA possa oferecer soluções mais eficientes e sustentáveis, o próprio desenvolvimento e operação de sistemas de IA podem ter um impacto ambiental significativo devido ao consumo de energia necessário para treinar algoritmos complexos. Em arquitetura, o equilíbrio entre os benefícios trazidos pela IA e o impacto ambiental da sua utilização devem ser considerados, através de soluções que minimizem a pegada de carbono associada a essas tecnologias (Rosendo, 2022).

Em suma, é evidente que a implementação da IA na arquitetura enfrenta uma série de desafios complexos e multifacetados. A qualidade dos dados, a complexidade dos algoritmos e a integração com ferramentas existentes são apenas alguns dos obstáculos que precisam de ser superados. Além disso, os custos elevados e as preocupações ambientais também representam barreiras significativas. Cabe ao ser humano desenvolver estratégias eficazes para superar esses desafios, promovendo uma integração responsável e inovadora da IA que beneficie tanto os profissionais quanto a sociedade como um todo.

"The black-box nature of machine learning that might produce unexpected results or elusive solutions raises significant ethical concerns in architecture."

Wang, 2022

Wang, Q. (2022). Machine Learning in Architecture: The new relationship between architect, image, and tool. Lund: Faculty of Engineering, LTH, Lund University, página 63

Problemas éticos

Para além dos desafios e limitações, a incorporação da IA na prática arquitetónica também apresenta diversos problemas éticos que carecem de uma análise consciente. É neste sentido que os principais problemas éticos associados ao uso da IA na arquitetura serão explorados neste subcapítulo.

Uma das principais preocupações éticas é o impacto da automatização na força de trabalho. A IA tem o potencial de substituir tarefas repetitivas ou complexas, o que reduz a procura de profissionais qualificados. Embora possa aumentar a eficiência e reduzir custos, a automatização pode também resultar em desemprego ou deslocamento de trabalhadores (Muntañola, 2022).

Outro aspeto é a salientar é a recolha, armazenamento e processamento de grandes volumes de dados que levantam preocupações significativas ao nível da privacidade e segurança. Para Chaillou (2019), a gestão adequada desses dados é crucial para evitar abusos e garantir a conformidade com regulamentos de proteção de dados. As ferramentas de IA dependem frequentemente de grandes volumes de dados para funcionarem de maneira eficaz, o que, por sua vez, suscita questões relacionadas com a proteção de dados e a segurança, especialmente quando se trata de informações sensíveis de clientes e utilizadores dos espaços projetados. Assim, é essencial garantir que os dados sejam recolhidos e utilizados de forma ética, protegendo a privacidade dos indivíduos e implementando medidas robustas de segurança.

Adicionalmente, a crescente dependência da IA no processo de design pode levar a uma diminuição da autonomia e do controlo criativo dos arquitetos. Delegar decisões a sistemas



Fig. 29. Imagem do filme ***The Circle*** (2017), dirigido por James Ponsoldt.

automatizados pode comprometer a inovação e a originalidade. Portanto, é necessário manter um equilíbrio entre o uso da IA para aumentar a eficiência e a preservação da criatividade e da visão individual do arquiteto (Chaillou, 2021).

Outro desafio ético é a dificuldade em atribuir responsabilidade quando a IA é utilizada para tomar decisões de design. A esse respeito, Wang (2022) refere que a falta de transparência no processo de decisão da IA pode dificultar a atribuição de responsabilidade, especialmente em casos onde as decisões de design resultam em falhas ou problemas. Wang ainda destaca que, sem um entendimento claro de como as decisões foram tomadas pelo algoritmo, torna-se quase impossível determinar quem deve ser responsabilizado.

Como a implementação e o uso de tecnologias de IA é bastante dispendioso, criam-se também desigualdades entre grandes empresas de arquitetura e escritórios menores ou arquitetos independentes. Esta disparidade no acesso à tecnologia pode criar um ambiente desigual onde apenas os mais privilegiados podem beneficiar plenamente das vantagens da IA (Leach, 2022).

Resumindo, os problemas éticos da IA na arquitetura são complexos e multifacetados, exigindo uma abordagem cuidadosa e equilibrada. Regulamentações, políticas e práticas devem ser desenvolvidas para garantir o uso responsável e equitativo da IA, promovendo transparência, responsabilidade, inclusão e sustentabilidade. Somente assim seja possível aproveitar plenamente o potencial da IA para transformar a arquitetura de maneira positiva e ética.



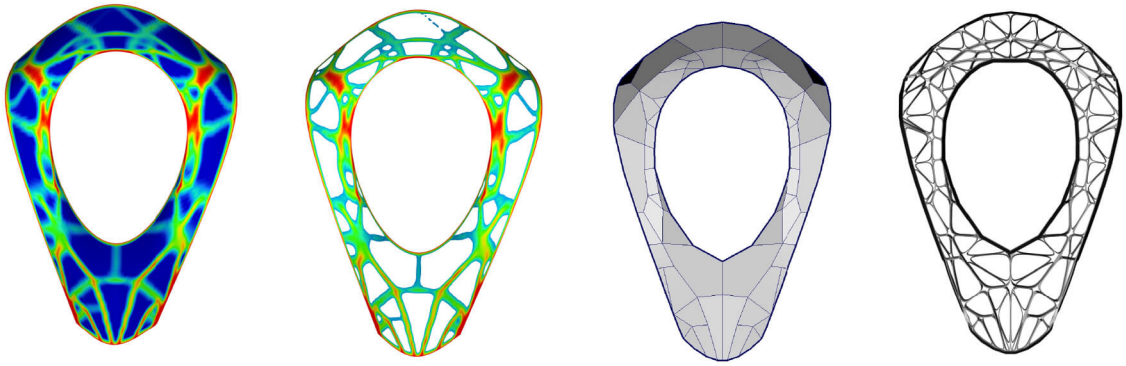


Fig. 30. Morpheus Hotel, projetado por Zaha Hadid Architects, onde a IA desempenhou um papel essencial na criação das formas complexas e na análise estrutural.
Fig. 31. Análise de forma e estrutura

IA aplicada à Arquitetura

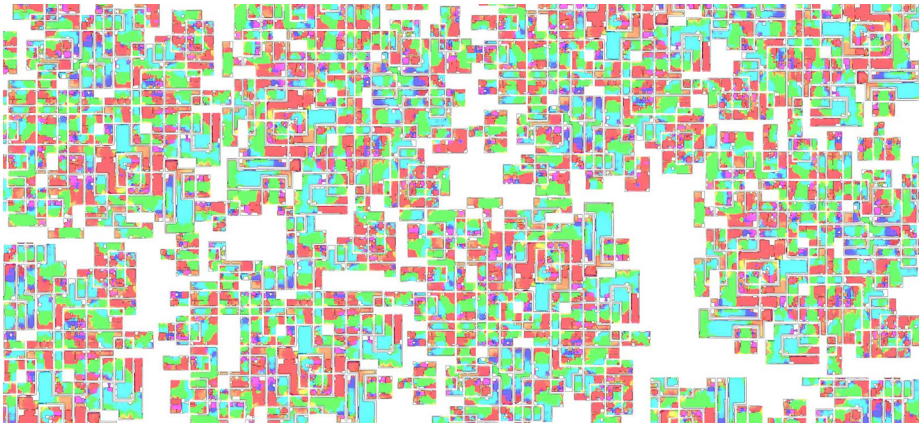
Nos últimos anos, a IA tem emergido de forma significativa em diversas áreas, e a arquitetura não é exceção. A aplicação da IA neste campo oferece uma vasta gama de possibilidades que estão a transformar profundamente a forma como os espaços habitados são concebidos e construídos. Desde a automatização de tarefas repetitivas e demoradas até à conceção de projetos arquitetónicos mais complexos e personalizados, a IA está a expandir os horizontes do que é possível criar.

O presente subcapítulo explora as diversas aplicações da IA na arquitetura, desde a fase inicial de conceção, onde as primeiras ideias são geradas, até à concretização final do projeto, em que a visão do cliente é materializada.

"AI is already embedded in standard architecture software, although most architects are probably not aware of it."

Leach, 2022

Leach, N. (2022). *Architecture in the age of artificial intelligence: An introduction to AI for architects.* London: Bloomsbury Visual Arts, página 4



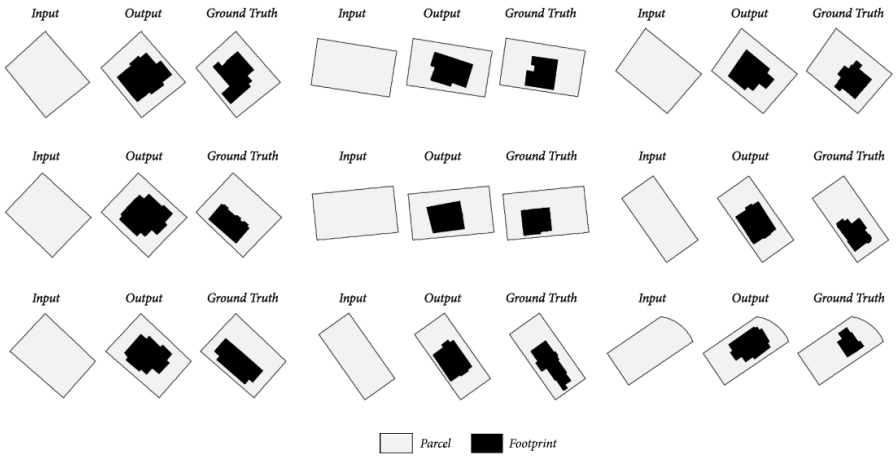


Fig. 32. GAN-Generated Masterplan.
Fig. 33. Resultados do primeiro modelo.

Conceção

Sendo a conceção de projetos arquitetónicos fundamental para a formulação e conversão de ideias iniciais em propostas concretas, a IA tem contribuído ao oferecer ferramentas efetivas que auxiliam os arquitetos a explorar e desenvolver conceitos de modo mais eficiente e inovador.

É neste sentido que a **Generative AI**[10] é usada para criar múltiplas opções de design, o que permite a exploração de novas formas e espaços. Ferramentas como o **generative design** combinam **parametric algorithms**[11] com IA para gerar resultados únicos baseados em variáveis definidas pelo arquiteto. Além disso, a IA pode analisar as preferências do cliente e sugerir designs personalizados, alinhando melhor os projetos às suas expectativas. Através de grandes volumes de dados históricos e contextuais, são desenvolvidas propostas mais precisas que atendem a critérios como funcionalidade, estética e sustentabilidade.

A título de exemplo, o **ArchiGAN**, desenvolvido por Stanislas Chaillou, utiliza **GANs** para gerar plantas e configurações de edifícios, o que possibilita aos arquitetos explorarem diferentes configurações de espaços internos de forma rápida e eficiente, através de três modelos interligados que trabalham em conjunto para automatizar o processo de design arquitetónico.

O primeiro modelo foca-se na produção de plantas a partir de uma base de dados de plantas existentes, aprendendo os padrões e características essenciais para criar novas plantas que seguem uma lógica arquitetónica consistente. Este processo envolve o uso de redes neurais que analisam milhares de plantas arquitetónicas existentes, identificando

10. IA que cria novos conteúdos, como textos, imagens ou música, a partir de padrões aprendidos em dados existentes.

11. Algoritmos que utilizam parâmetros variáveis para gerar diferentes resultados ou soluções, permitindo a personalização e a otimização de designs ou processos.

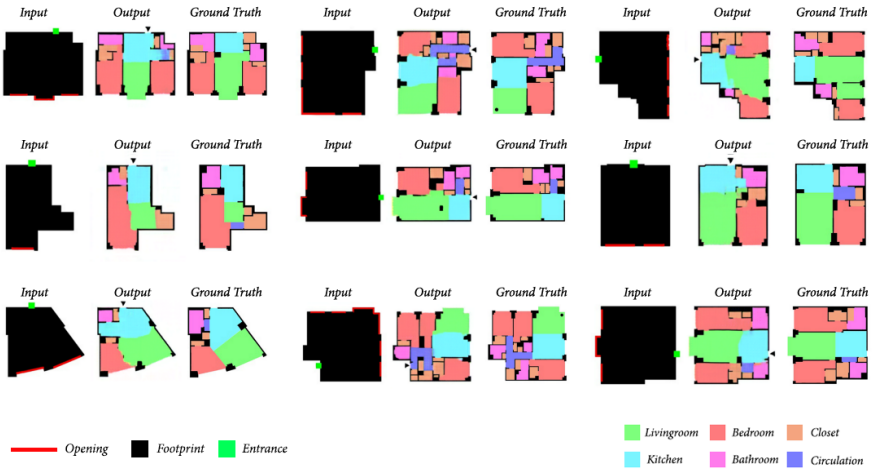


Fig. 34. Resultados do segundo modelo.

elementos comuns como distribuição de espaços, circulação interna e posicionamento de portas e janelas. Através desta análise, o modelo é então capaz de gerar novas plantas que não apenas imitam as características dos exemplos usados, mas também inovam ao propor configurações que otimizam o uso do espaço e melhoram a funcionalidade dos edifícios, soluções que talvez não fossem consideradas através de métodos tradicionais de design. O uso de uma base de dados extensa e diversificada garante que o modelo possa lidar com diferentes tipos de projetos, desde pequenas residências até grandes complexos habitacionais. Isso é possível porque o modelo aprende a reconhecer e a aplicar princípios arquitetónicos universais, enquanto incorpora variações específicas que podem ser ajustadas conforme o contexto do projeto.

Posteriormente, o segundo modelo aborda a distribuição interna e a ventilação dos espaços, ajustando as plantas geradas pelo primeiro modelo conforme os **inputs** específicos dos arquitetos, como a posição de portas e janelas. Este modelo garante que as plantas geradas não apenas sigam uma lógica arquitetónica consistente, mas também atendam a requisitos funcionais e estéticos específicos. Este processo envolve a definição precisa de parâmetros como a localização das entradas, a distribuição dos espaços e a ventilação natural, elementos essenciais para o conforto e a habitabilidade do projeto. Ao utilizar **neural networks** numa vasta base de dados de plantas detalhadas, o segundo modelo ajusta automaticamente a disposição interna, levando em consideração fatores como a circulação do ar, a iluminação natural e a conectividade entre os espaços. Para além disso, também se preocupa com a eficiência energética dos

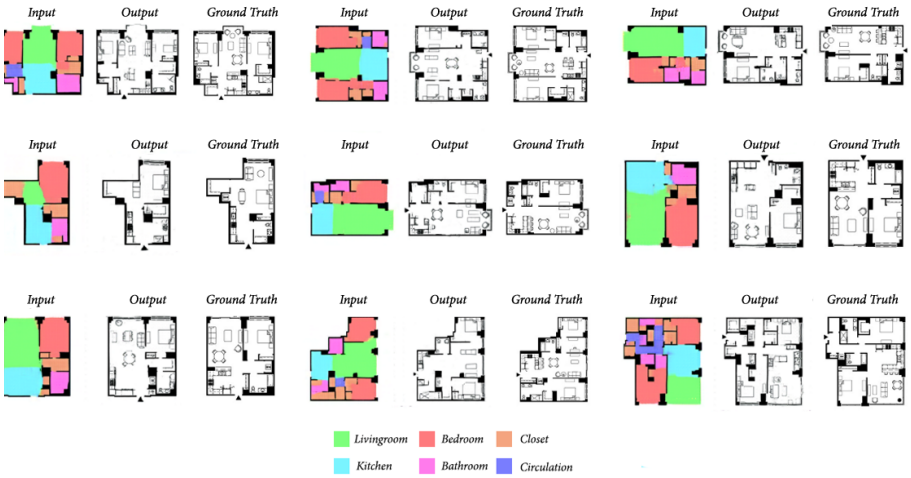


Fig. 35. Resultados do terceiro modelo.

edifícios. Ao otimizar a posição das janelas e a orientação dos espaços, o modelo pode melhorar significativamente a iluminação natural e a ventilação, reduzindo a necessidade de iluminação artificial e de sistemas de climatização. Isso não apenas contribui para a sustentabilidade, mas também pode resultar em economias significativas nos custos operacionais dos edifícios.

Finalmente, o terceiro modelo transforma as plantas e as configurações internas em ambientes habitáveis e funcionais, acrescentando um nível de detalhe que é essencial para a usabilidade e o conforto dos espaços. Assim, trata da disposição do mobiliário, utilizando os **outputs** do segundo modelo para preencher os espaços com configurações de móveis adequados. O processo começa com a análise da configuração interna gerada pelos modelos anteriores, levando em consideração a distribuição de espaços, a posição de portas e janelas, e a circulação interna. Também recorre a técnicas de IA para sugerir arranjos de mobiliário que maximizam a funcionalidade e a estética de cada espaço e, graças a uma vasta base de dados de configurações de interiores, aprende a identificar padrões de disposição que são tanto práticos quanto visualmente agradáveis. A capacidade de personalização é uma das principais vantagens deste modelo. Os arquitetos podem especificar preferências de estilo, tipos de mobiliário e até mesmo requisitos específicos dos clientes, e o modelo ajusta as suas sugestões de acordo com essas preferências, o que permite a criação de espaços que refletem o gosto pessoal dos usuários finais, enquanto mantém um alto nível de funcionalidade.

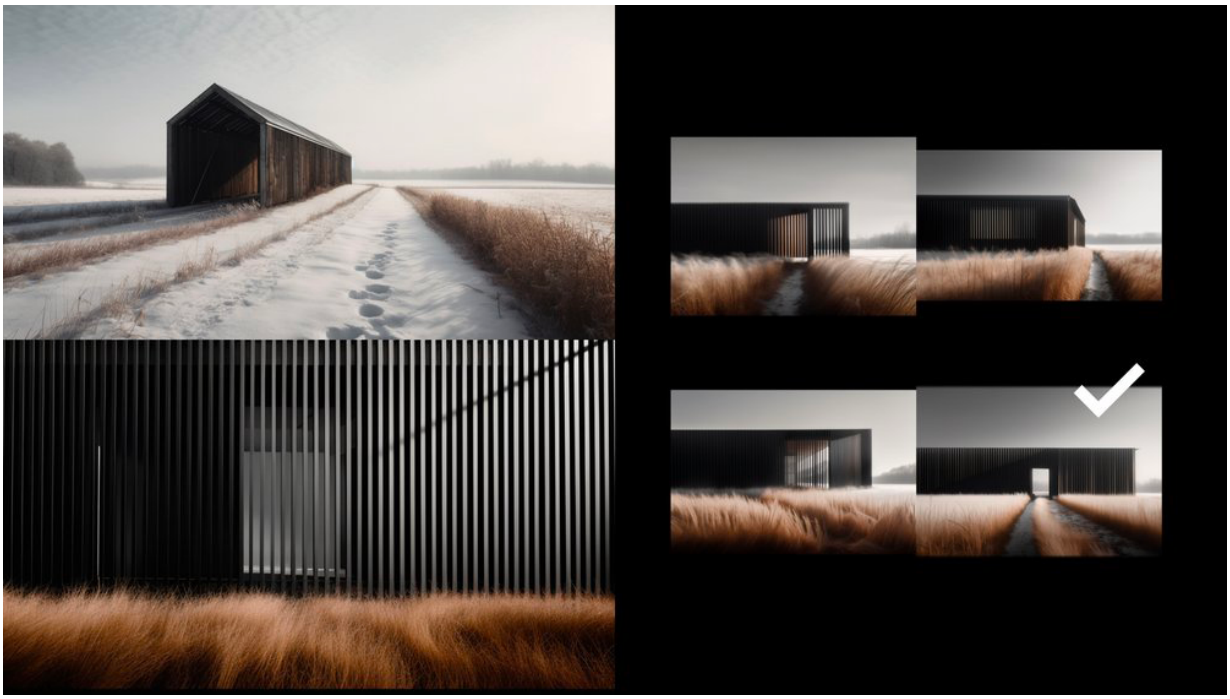


Fig. 36. 30x40 DESIGN WORKSHOP a utilizar Midjourney para obter diversas opções de design do projeto em estudo.

Outras ferramentas de IA como **Midjourney, DALL-E e Stable Diffusion** possibilitam a criação rápida de renderizações foto-realistas a partir de imagens e comandos textuais, facilitando a exploração de diferentes opções de design. Escritórios como Ankrom Moisan têm usado estas ferramentas para projetos comerciais. Por exemplo, **Midjourney** foi utilizado para criar uma grande variedade de renderizações para um projeto de habitação multifamiliar contemporânea Sea Ranch, na Califórnia, integrando restrições locais e o desejo do cliente em propostas de design com elementos distintivos como linhas angulares acentuadas e o uso de materiais como madeira de sequoia e vidro. O processo de design começou com a configuração inicial, onde imagens de referência do Sea Ranch foram carregadas no **Midjourney**, juntamente com descrições textuais detalhadas das características desejadas, como "estruturas revestidas de sequoia" e "ambiente costeiro". Com esses **inputs**, **Midjourney** gerou várias renderizações que combinavam os elementos tradicionais com as necessidades modernas do projeto, não descurando diferentes opções de materiais, divisões específicas e padrões de iluminação. A capacidade dessa ferramenta criar rapidamente múltiplas variações permitiu aos arquitetos discutirem sobre as ideias de design de forma ágil e a partir da exploração de diferentes combinações de elementos até encontrar uma que equilibrasse as restrições locais com a visão estética do cliente.

Uma outra ferramenta, que maximiza a funcionalidade e a eficiência dos designs, é o **Autodesk Dreamcatcher**, um sistema de design direcionado a objetivos que possibilita aos arquitetos definirem metas e restrições através de uma série de soluções possíveis que atendem a esses requisitos.

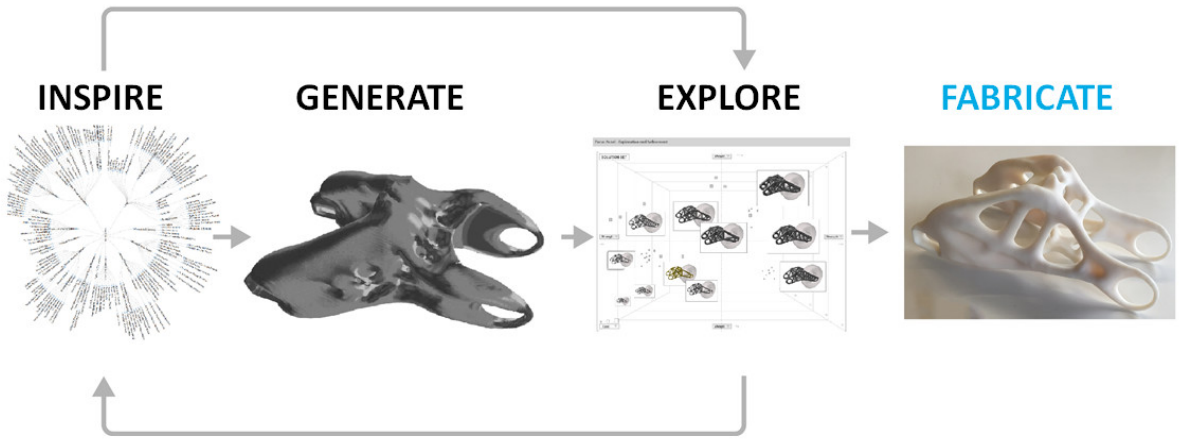
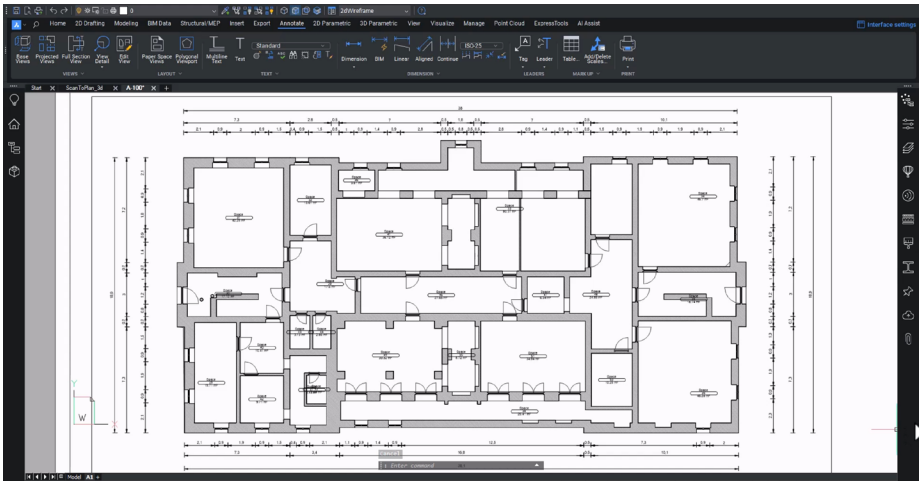


Fig. 37. Processo de criação do **Autodesk Dreamcatcher**.

O **power of cloud computing**[12] permite interpretar a intenção de design a partir dos objetivos especificados pelo arquiteto, gerando milhares de opções de design válidas. A IA avalia e recomenda as melhores versões, valorizando a inovação e criatividade, em vez de tarefas repetitivas de design. Além disso, o **Dreamcatcher** utiliza algoritmos evolutivos que tornam possível a criação de objetos otimizados que eram anteriormente impossíveis de fabricar. O sistema integra diferentes parâmetros, como requisitos funcionais, tipo de material, critérios de desempenho e restrições de custo, para gerar um espaço de design que atenda às necessidades específicas do projeto.

Em suma, a IA está a revolucionar a fase de conceção dos projetos arquitetónicos, proporcionando ferramentas que aumentam a eficiência, a precisão e a inovação no processo de design. A capacidade de gerar múltiplas opções de conceito, analisar preferências e otimizar o uso do espaço resulta em projetos mais funcionais, sustentáveis e alinhados com as expectativas dos clientes. Esta integração tecnológica não só melhora a qualidade dos projetos, mas também permite aos arquitetos focarem-se mais na criatividade e inovação.

12. Capacidade de processamento e armazenamento oferecida por servidores remotos acessíveis via internet.



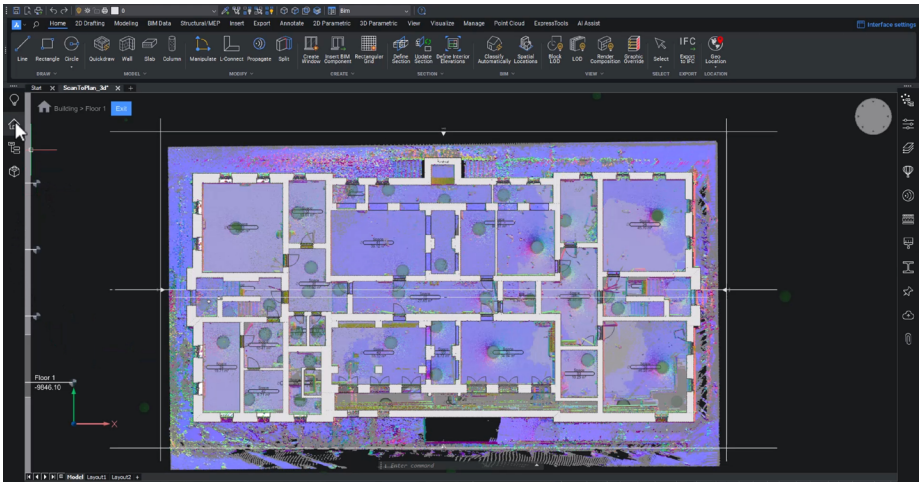


Fig. 38 e 39. BricsCAD BIM demonstra a facilidade de evoluir de um simples desenho 2D para atribuições de classificações detalhadas BIM.

BIM

O BIM representa uma revolução na forma como os projetos de arquitetura são concebidos, desenvolvidos e geridos. Esta tecnologia permite a criação de modelos digitais tridimensionais que integram uma vasta gama de informações sobre todos os aspetos de um edifício, desde a sua conceção até à demolição. A introdução da IA no contexto do BIM trouxe benefícios significativos, aumentando a precisão, eficiência e criatividade nos projetos arquitetónicos.

A automatização de tarefas através da IA tem revolucionado o processo de modela**ção** BIM, permitindo a execução de funções repetitivas de maneira mais rápida e precisa. Ferramentas como o **BricsCAD BIM** utilizam IA para atribuir classificações BIM automaticamente, libertando os arquitetos para se focarem em aspetos mais criativos do design.

Uma aplicação significativa da IA na modela**ção** BIM é a quantificação de materiais, necessária para o planeamento e a execução de projetos de construção. Ao utilizar algoritmos de IA, é possível analisar automaticamente grandes volumes de dados de modelos BIM para calcular com precisão as quantidades de materiais necessários para um projeto. Isso inclui a identificação de materiais, a estimativa de custos e a otimização do uso de recursos. Por exemplo, a utilização de **artificial neural networks** e **random forest algorithms**[13], combinados com **simple linear regression**[14], tem demonstrado um desempenho elevado na previsão de custos de materiais e mão de obra, o que resulta em estimativas mais precisas e confiáveis.

13. Métodos de machine learning que combinam múltiplas decision trees para melhorar a precisão das previsões.

14. Método estatístico que modela a relação entre duas variáveis através de uma linha reta.

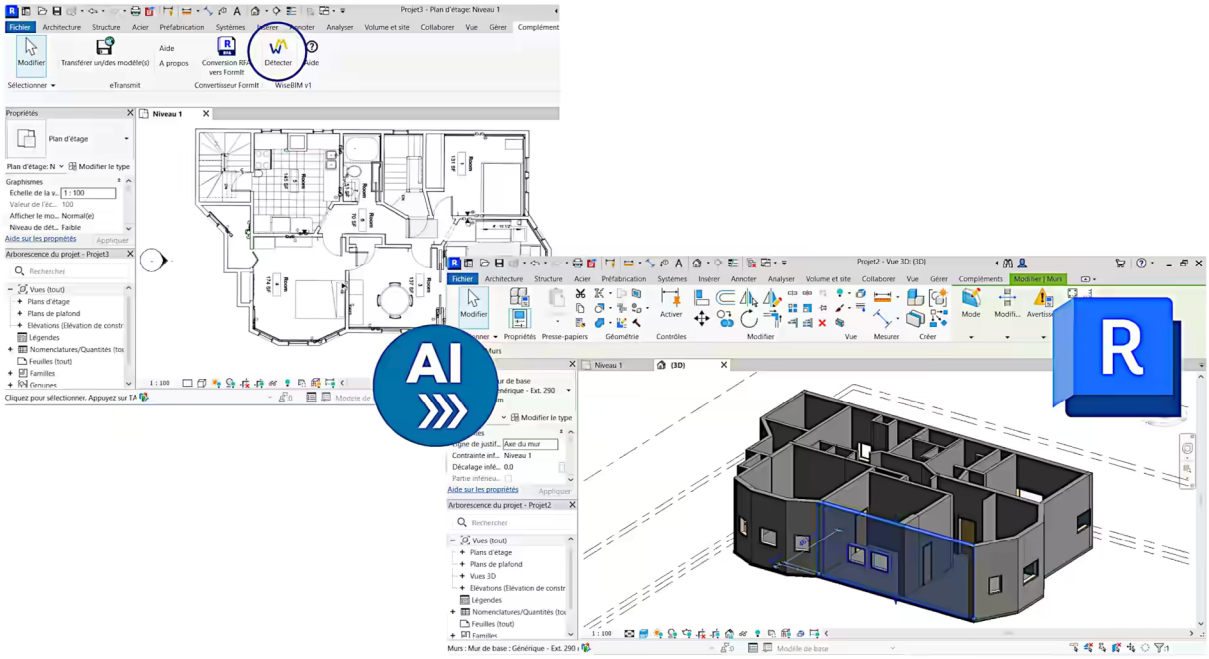


Fig. 40. WiseBIM apresenta a rapidez de transformar plantas 2D em modelos BIM 3D.

Por outro lado, a integração de **machine learning** com BIM permite não só a quantificação precisa, mas também a previsão de custos baseada em dados históricos e parâmetros específicos de cada projeto, reduzindo significativamente o tempo e os erros associados ao processo tradicional de estimativa manual. Adicionalmente, a automatização do levantamento de quantidades através de IA permite a deteção precoce de discrepâncias e a geração de relatórios detalhados, facilitando a gestão de materiais e a alocação eficiente de recursos ao longo do ciclo de vida do projeto. Este avanço tecnológico não só otimiza o processo de construção, mas também promove a sustentabilidade ao minimizar o desperdício de materiais e melhorar a precisão das encomendas de materiais necessários.

Outras áreas da modela**ção** BIM, onde a IA tem tido impacto, incluem a precisão dos modelos e da documentação, assim como a deteção de conflitos. Ferramentas como a **WiseBIM AI** para Autodesk Revit destacam-se por transformar automaticamente planos 2D em modelos BIM 3D, aumentando significativamente a precisão e a eficiência do processo de modela**ção**. Este software utiliza algoritmos avançados de deteção automática para criar representações detalhadas de elementos arquitetónicos como paredes, janelas, portas e lajes a partir de planos 2D, resultando numa minimização de erros e numa melhoria na qualidade do design final. A capacidade de transformar rapidamente planos 2D em modelos 3D detalhados não só economiza tempo, mas também reduz custos, permitindo, novamente, que arquitetos e engenheiros se concentrem em aspetos mais criativos e estratégicos do projeto. Para além disso, esta ferramenta permite detetar e resolver conflitos nas fases iniciais do projeto, o que não só



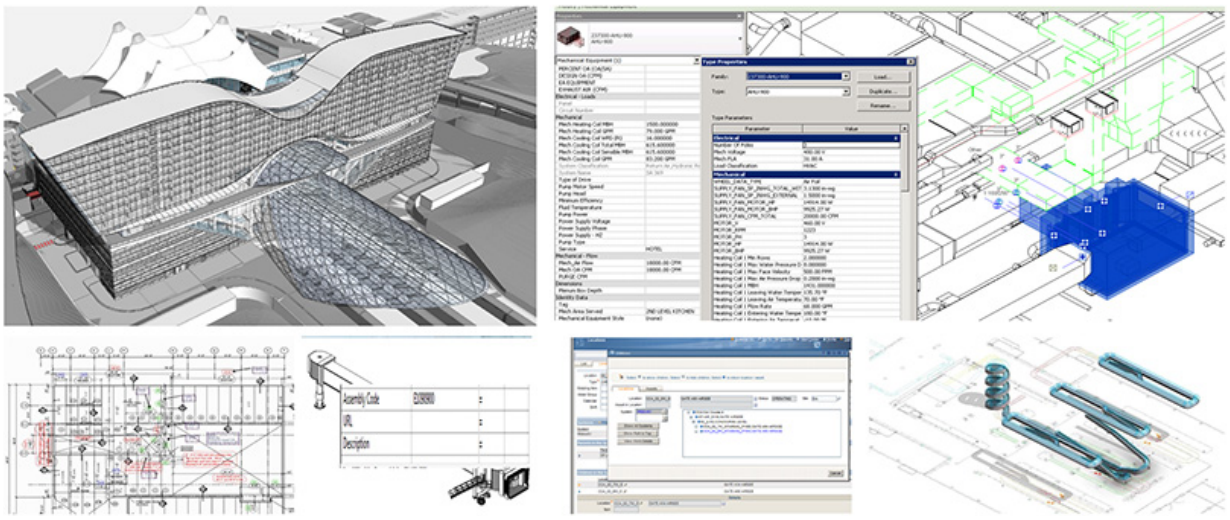


Fig. 41. Aeroporto Internacional de Denver, EUA.
Fig. 42. IA BIM aplicado no projeto do aeroporto. Assim, o proprietário do aeroporto recebe um modelo inteligente totalmente preenchido que contém todos os desenhos, detalhes, objetos, histórico e parâmetros operacionais para o ciclo de vida.

melhora a eficiência do processo de construção, como também contribui para a segurança e a qualidade geral do projeto, e tudo com menos intervenção manual.

Um exemplo prático do uso de BIM com IA é o projeto realizado pela Turner Construction no Aeroporto Internacional de Denver nos EUA. Este projeto envolveu a coordenação de uma rede complexa de sistemas elétricos e HVAC para garantir o funcionamento contínuo do aeroporto. A Turner Construction utilizou tecnologia BIM para modelar e coordenar esses sistemas complexos, continuando a colaboração baseada em BIM durante a fase de construção. Isso ajudou a manter o projeto dentro do cronograma e do orçamento, o que revela a eficiência e a precisão proporcionadas pela integração da IA e do BIM. Além disso, a implementação do BIM no Aeroporto Internacional de Denver contribuiu para a gestão do projeto de expansão, incluindo o desenvolvimento do Hotel e Centro de Trânsito. O BIM ajudou na coordenação dos cronogramas, na colaboração entre equipas e na manutenção eficiente das instalações ao longo da vida útil do edifício. A equipa utilizou modelos 3D detalhados para realizar estudos de viabilidade e otimizar o design e a construção. A utilização do BIM permitiu uma construção mais rápida e uma melhor gestão das instalações, acrescida de uma eficaz comunicação, automatizada, de alterações e atualizações.

Ademais, a integração de IA com BIM possibilita uma melhor visualização e entendimento do projeto por todas as partes envolvidas, através do uso de **augmented reality**[15] (AR) e **digital twins**[16]. Estes digital twins são réplicas virtuais dos edifícios reais que são atualizados em tempo real, o que proporciona uma gestão mais eficiente e sustentável das instalações.

15. Tecnologia que sobrepõe elementos digitais ao mundo real, melhorando a perceção do ambiente físico.

16. Réplicas digitais de objetos, processos ou sistemas físicos, usadas para simulação e monitorização em tempo real.



Fig. 43. AR Spatial Visualizer da AECOM.

Empresas como AECOM e HOK utilizam essas tecnologias para melhorar a coordenação e colaboração entre diferentes equipas, minimizando erros e melhorando a eficiência do projeto.

A AECOM, por exemplo, utiliza o **AR Spatial Visualizer**, uma ferramenta de realidade aumentada que integra BIM com AR para projetar modelos 3D no ambiente físico em escala real. Isso permite diretamente aceder, *in loco*, aos dados BIM, identificando problemas ocultos com maior precisão e facilitando a coordenação inteligente com menos esforço físico. Este visualizador espacial **AR** reduz o trabalho tradicional baseado em papel e melhora a precisão e a eficiência na comunicação e manutenção de **QAQC** (Garantia da Qualidade e Controle da Qualidade).

Por sua vez, a HOK utiliza **AR** e **VR**[17] para proporcionar uma melhor visualização e colaboração em projetos. A **virtual reality** permite passeios virtuais pelos edifícios antes da sua construção, ajudando a identificar falhas de design e otimizar configurações. Além disso, a **AR** fornece informações de segurança em tempo real para trabalhadores no local, alertando sobre riscos potenciais e promovendo um ambiente de trabalho mais seguro. Essas tecnologias melhoram a comunicação e a colaboração, ajudando a reduzir o risco de erros caros e atrasos no projeto.

17. Tecnologia que cria ambientes digitais imersivos, simulando a presença física em um espaço tridimensional.

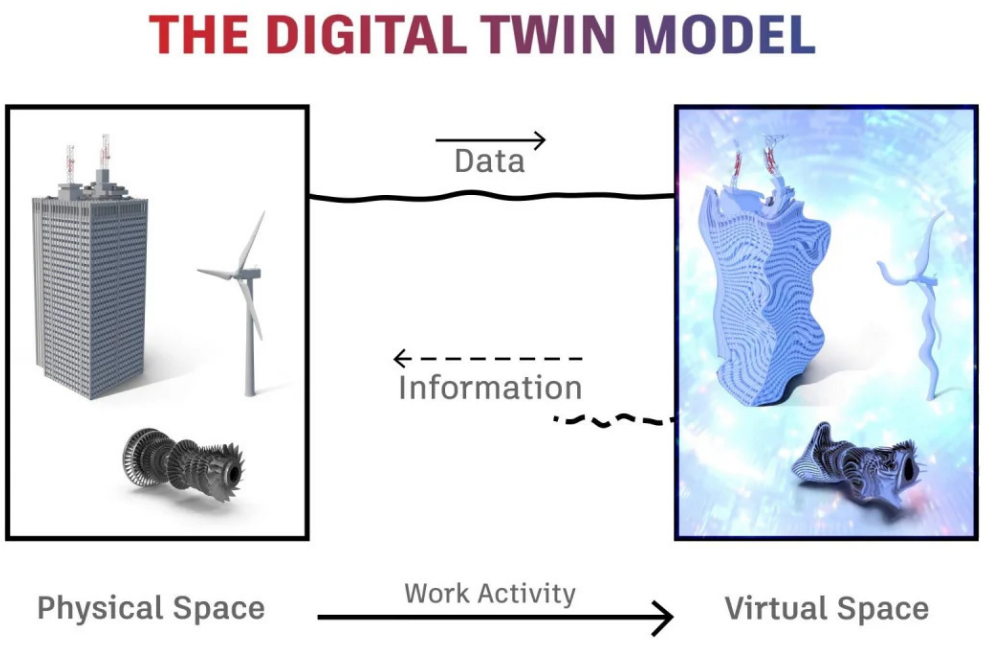


Fig. 44. Representação de **digital twins**.

Sintetizando, a integração da IA no BIM está a transformar radicalmente a indústria da construção, trazendo precisão, eficiência e inovação sem precedentes. A automatização de tarefas repetitivas, como a quantificação de materiais e a deteção de conflitos, permite que os arquitetos e engenheiros se concentrem em aspetos mais criativos e estratégicos do projeto. A combinação de IA com BIM melhora a visualização e a compreensão dos projetos através de tecnologias como a **augmented reality** e os **digital twins**, facilitando uma coordenação mais eficaz e reduzindo o risco de erros. Estas inovações não só otimizam os processos de construção e manutenção, mas também promovem uma gestão mais sustentável e eficiente das instalações ao longo do seu ciclo de vida. Assim, a adoção crescente destas tecnologias promete um futuro mais inteligente e seguro para a construção civil.

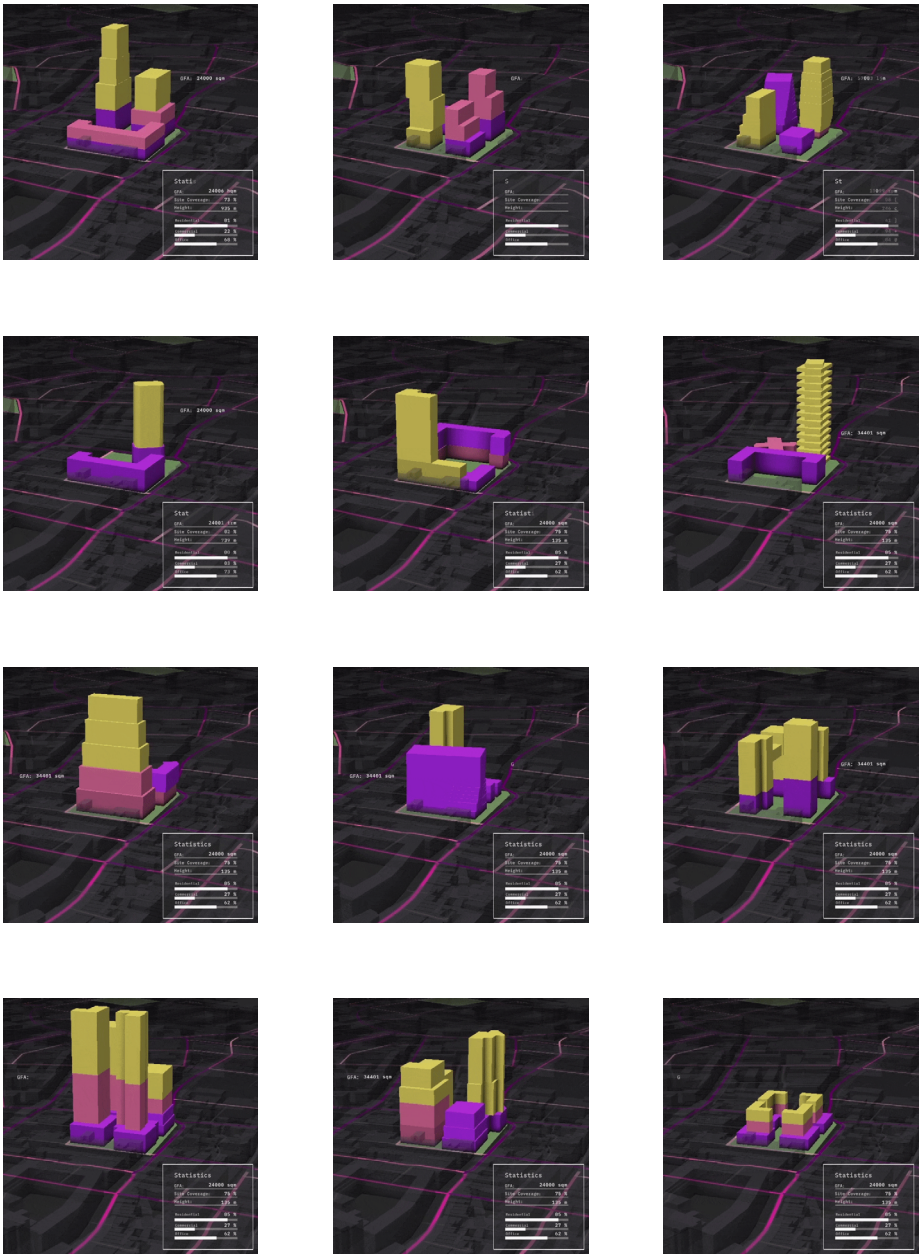


Fig. 45. Digital Blue Foam e as suas diversas análises espaciais.

Análise de dados

Tendo em conta que a análise de dados se tornou uma fase crítica em qualquer projeto arquitetónico, a integração da IA nesta etapa tem revolucionado a maneira como os arquitetos abordam o design e a construção. A capacidade de processar e interpretar grandes volumes de dados rapidamente permite tomar decisões mais informadas e precisas.

Primeiramente, é essencial na arquitetura moderna e a proliferação de tecnologias de IA e **machine learning** tem ampliado significativamente as capacidades de design dos arquitetos, permitindo uma análise mais robusta e a integração de dados complexos no processo de criação, o que não só aumenta a eficiência e a precisão, mas também promove a criação de espaços mais sustentáveis e funcionais. Em 2020, o catedrático Clayton Miller, em entrevista à ArchDaily, destaca que a ciência de dados automatiza e expande essas capacidades, ajudando a equilibrar desafios como desempenho energético, design passivo, neutralidade de carbono e bem-estar dos ocupantes.

Ferramentas como o **Digital Blue Foam** (DBF) exemplificam esta aplicação. Esta plataforma de design generativo e análise espacial permite criar modelos 3D rapidamente, integrando dados contextuais como edificações circundantes, topografia e clima local. A IA no **DBF** gera múltiplas soluções de design, facilitando a comparação e escolha da melhor proposta. Também, oferece funcionalidades como análise de iluminação natural, radiação solar e sombras, permitindo validar designs em tempo real sem a necessidade de software caro, e, ainda, suporta a estratégia de ***cidade de 15 minutos***[18], otimizando a disposição de serviços e amenidades para um planeamento urbano mais sustentável.

18. Conceito urbanístico em que todos os serviços essenciais estão acessíveis a pé ou de bicicleta em 15 minutos a partir da residência.

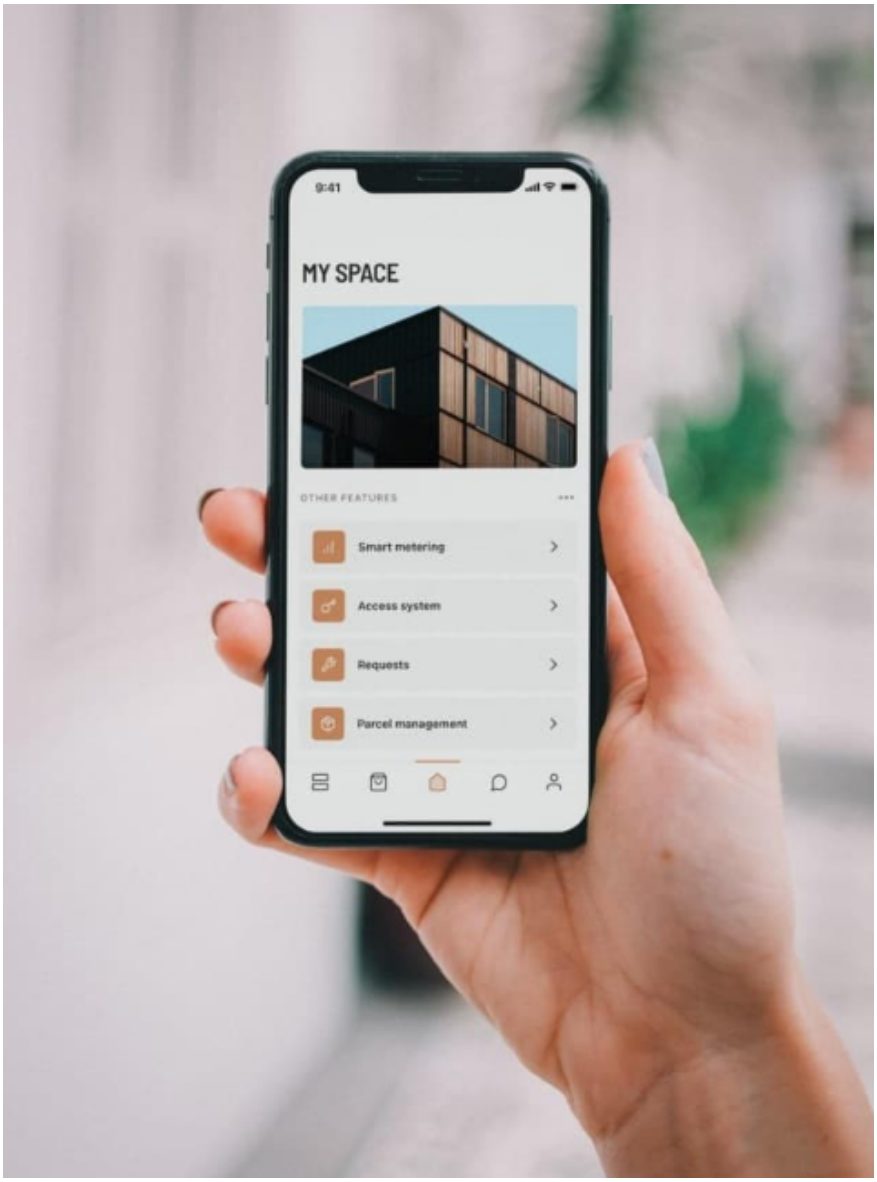


Fig. 46. Uma das vantagens do Spaceflow é ter acesso à informação através do telemóvel.

Por outro lado, a análise do comportamento dos usuários utilizando IA pode fornecer visões valiosas sobre como as pessoas interagem com os espaços. É exemplo disso o **Spaceflow** cuja análise permite a gestão de edifícios inteligentes e a recolha de dados sobre as preferências e expectativas dos ocupantes, otimizando os recursos e melhorando a experiência dos usuários. Através da digitalização de processos de gestão, como a emissão de tickets, reservas de recursos e gestão de documentos, o **Spaceflow** reduz a carga de trabalho de quem gere e aumenta a eficiência operacional. Além disso, a plataforma promove a interação e o senso de comunidade entre os destinatários através de canais de notícias, eventos e funcionalidades de mensagens.

Recorrendo a tecnologias de medição inteligente, o **Spaceflow** monitoriza, ainda, parâmetros ambientais como o consumo de energia e a qualidade do ar, fornecendo dados críticos para decisões informadas que promovem a sustentabilidade e o bem-estar das pessoas. Como a recolha e análise de respostas dos usuários é essencial para a melhoria contínua dos projetos arquitetónicos, a integração de sensores urbanos com tecnologia de IA permite medir e reagir a dados sobre qualidade do ar, poluição sonora e outras características do ambiente urbano. Isso contribui para um planeamento urbano mais sustentável e responsivo. O controlo de acesso móvel e a gestão de visitantes são outras das funcionalidades que, ao simplificar processos de entrada e aumentar a segurança, contribuem para uma experiência mais conveniente. A integração de outras ferramentas tecnológicas e a possibilidade de personalização da plataforma, para diferentes tipos de propriedades, permitem adaptar os espaços de maneira precisa às necessidades dos usuários.



Fig. 47. Kaiser Permanente Fontana Medical Center, projetado por HMC Architects.

Ferramentas de IA são também utilizadas para avaliar o desempenho dos edifícios após a ocupação, ajudando a identificar áreas de melhoria e garantindo que os edifícios atendam às expectativas de desempenho ao longo do tempo. Um exemplo prático dessa abordagem é o uso de **post-occupancy evaluations**[19] (POE) pela HMC Architects, através de um processo rigoroso que envolve várias etapas, desde a recolha de dados detalhados até a análise e identificação de ações corretivas. Por exemplo, no Kaiser Permanente Fontana Medical Center, na Califórnia, a HMC implementou grandes janelas e claraboias para maximizar a luz natural e utilizou fotos de natureza em áreas sem janelas, criando um ambiente mais calmo. Esses elementos foram identificados como benéficos através de avaliações pós-ocupação e respostas dos usuários, demonstrando a importância de ajustes contínuos baseados em dados reais. Além disso, a HMC adota um processo colaborativo com as POEs, envolvendo clientes e usuários finais para garantir que todas as necessidades sejam atendidas. Este processo inclui entrevistas com a equipa de liderança das instalações, pesquisas online com gerentes e ocupantes, e medições técnicas detalhadas. As informações recolhidas são analisadas para produzir relatórios que guiam melhorias contínuas no projeto e operação dos edifícios.

Num artigo de 2021, Carl Christensen, da Autodesk, menciona que a IA pode ajudar a antecipar e responder a desafios complexos, melhorando a eficácia e a eficiência do trabalho dos arquitetos para as quais contribui para uma análise de grandes volumes de dados históricos e contemporâneos, identificando padrões que podem indicar futuras solicitações ou problemas, vital para criar soluções arquitetónicas que sejam inovadoras e sustentáveis a longo prazo.

19. Avaliações realizadas após a ocupação de um edifício para medir a sua *performance* e a satisfação dos utilizadores.



Fig. 48. Vários tipos de análise do **Autodesk Forma**.

Christensen destaca que a integração da IA em ferramentas como o **Autodesk Forma** permite automatizar tarefas repetitivas e fornecer ideias baseadas em dados que simplificam a exploração de conceitos de design. Isto não apenas ajuda a prever as necessidades futuras, mas também melhora a qualidade dos projetos, permitindo que os arquitetos se concentrem em soluções criativas. Além disso, a capacidade da IA de analisar grandes volumes de dados ajuda a identificar padrões que podem antecipar necessidades futuras, como, por exemplo, espaços mais sustentáveis e eficientes energeticamente. Segundo Christensen, a proliferação de dados, IA e **machine learning** cria oportunidades para empoderar a profissão de arquitetura a enfrentar esses desafios, ajudando-os a trabalhar de forma mais eficaz e eficiente.

Portanto, a capacidade preditiva da IA é um aspeto relevante para o futuro da arquitetura. Não só melhora a eficiência e a eficácia dos processos de design, mas também permite a criação de soluções arquitetónicas baseadas em decisões mais informadas e eficientes, preparadas para enfrentar os desafios futuros de urbanização e mudanças climáticas, mantendo o controlo criativo nas mãos dos arquitetos enquanto automatiza tarefas repetitivas e pesadas.

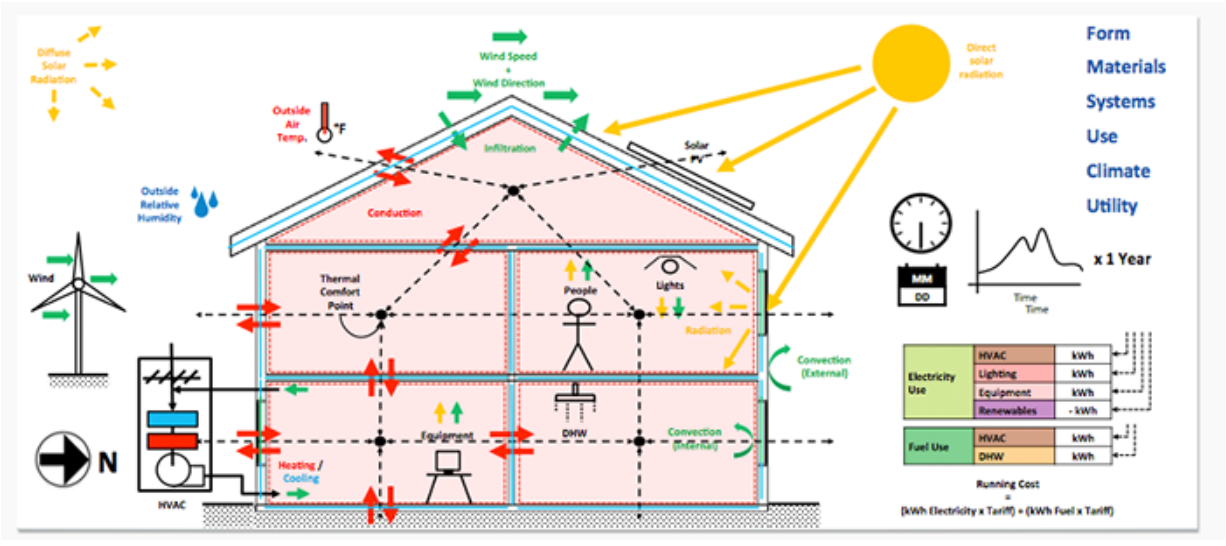


Fig. 49. Vários tipos de simulação do **Autodesk Green Building Studio**.

Simulação

Para prever e otimizar o desempenho dos projetos arquitetónicos antes da sua construção física, a simulação afigura-se como uma mais valia, uma vez que, na sequência de processos evolutivos da IA, esta fase se tornou ainda mais precisa e eficiente, permitindo uma revisão detalhada e abrangente de diversos aspetos de um edifício. Envolve a criação de modelos digitais que replicam o comportamento físico e funcional de um edifício, conhecidos como **digital twins**, e que permitem testar e avaliar diferentes cenários e configurações de forma virtual, economizando tempo e recursos.

É nesta fase que a IA é igualmente utilizada para otimizar o consumo de energia e a eficiência energética dos edifícios, graças aos algoritmos de **machine learning** que podem prever o consumo de energia de um edifício com base em variáveis como materiais de construção, orientação solar e clima local. Esta tecnologia não só contribui para a eficiência energética, mas também para o conforto térmico, acústico e visual, minimizando a necessidade de recursos mecânicos.

A título de exemplo, ferramentas como o **Autodesk Green Building Studio** utilizam IA para simular e otimizar o desempenho energético de edifícios existentes, permitindo a identificação de melhorias que podem reduzir o consumo de energia em até 30%. Esta plataforma de análise de desempenho energético usa o motor de simulação **DOE-2** para calcular o uso de energia por hora de todo o edifício. Pode criar modelos analíticos de energia a partir de modelos conceituais ou detalhados do Revit, bem como de arquivos **gbXML**[20] de outras ferramentas. Para além da simulação do uso total de energia, a plataforma oferece funcionalidades como alternativas de

20. Green Building XML, um formato de dados aberto usado para facilitar a troca de informações sobre edifícios entre diferentes ferramentas de simulação de desempenho energético.

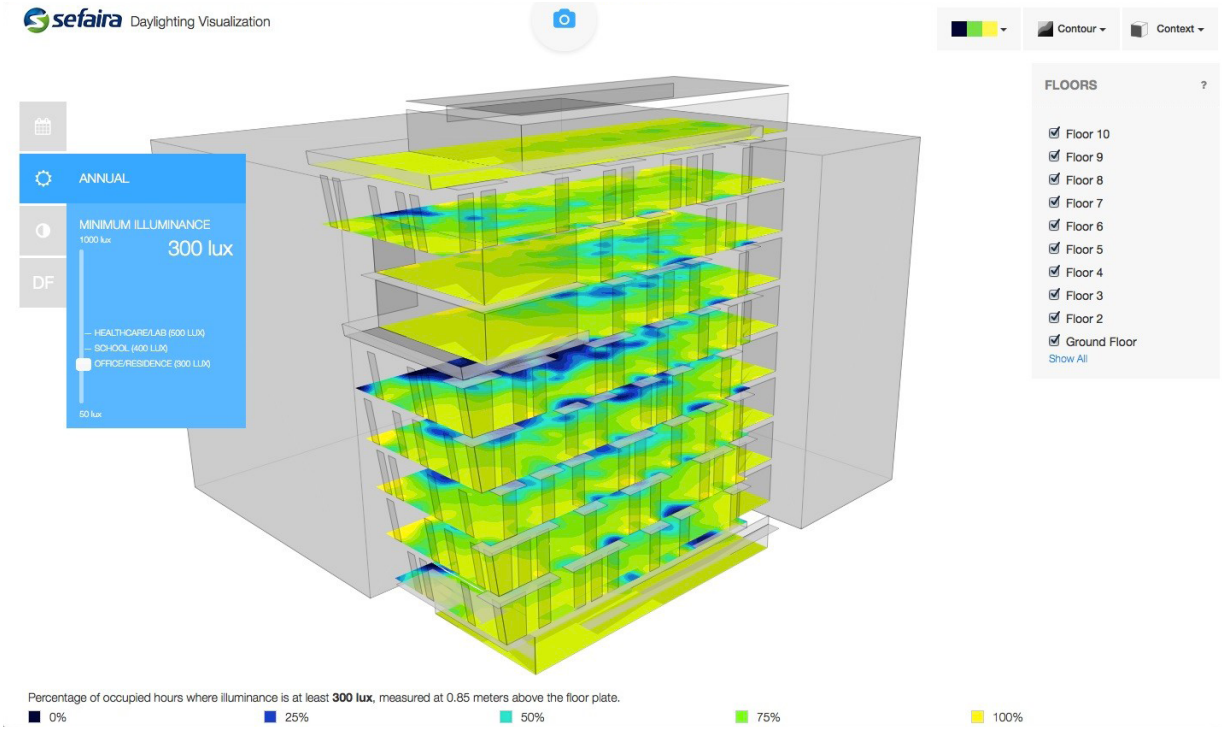


Fig. 50. Simulação de iluminação da **Sefaira**.

design, diagnóstico detalhado de dados climáticos e relatórios de emissões de carbono. Fornece, ainda, pontuações **ENERGY STAR** e qualificações para créditos de iluminação natural do **LEED**.

A **Sefaira** da Trimble, por outro lado, é utilizada para análises de desempenho ambiental em tempo real, focando-se na otimização de fatores como iluminação natural, ventilação e conforto térmico. Desta forma, os arquitetos e engenheiros conseguem avaliar rapidamente o impacto de diferentes estratégias de design em aspetos como consumo de energia e conforto dos ocupantes, utilizando simulações baseadas em física e dados climáticos locais. A integração de plataformas de modela**ção** como SketchUp e Revit facilita a incorporação de análises ambientais diretamente no fluxo de trabalho de design, ajudando a tomar decisões informadas para melhorar a sustentabilidade e o desempenho dos edifícios.

No caso da simulação estrutural, assistida por IA, é possível otimizar parâmetros e processos de simulação, acelerando iterações de design e melhorando a convergência de soluções. Isto inclui a medição de vibrações e a otimização do design estrutural para garantir a segurança e a eficiência dos edifícios. A integração de IA em simulações estruturais permite superar limitações de escalabilidade, precisão e tempo de ciclo de simulação.

A empresa norte-americana Thornton Tomasetti tem utilizado a IA de forma inovadora na modela**ção** estrutural de edifícios complexos, aplicando algoritmos de **machine learning** para prever como diferentes materiais e estruturas se comportarão sob diversas condições de carga. Uma das principais

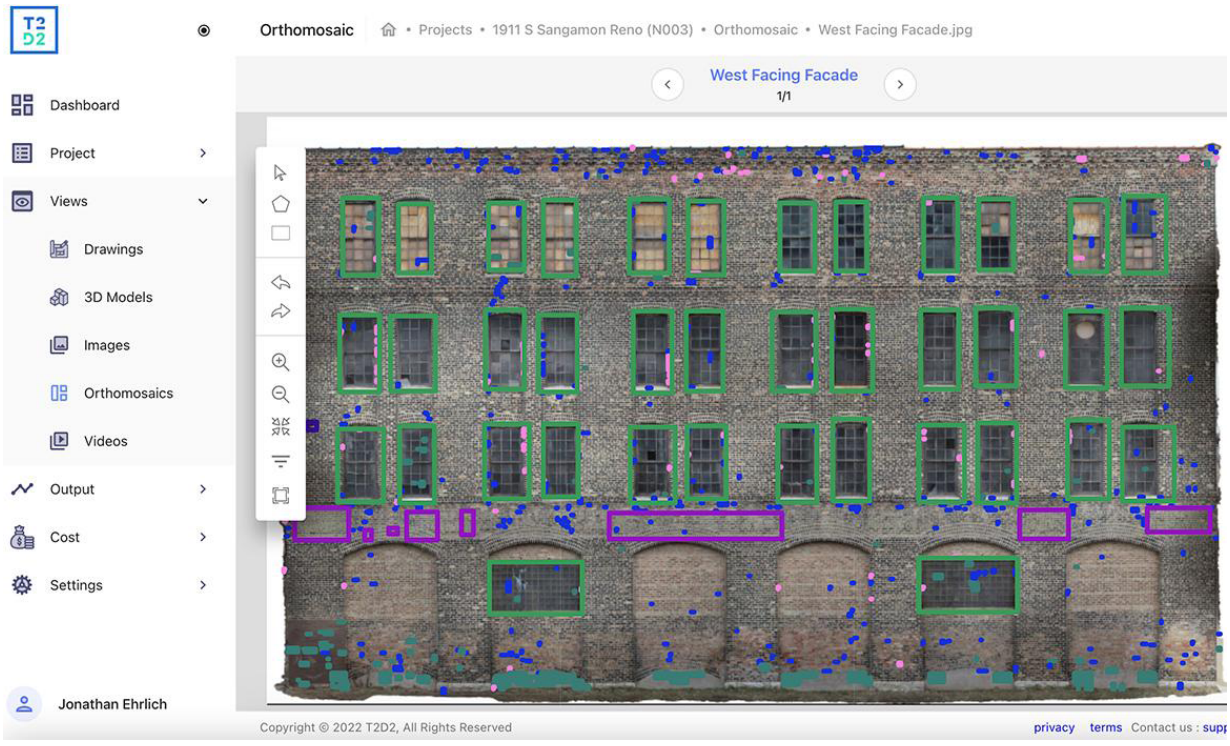


Fig. 51. Deteção de vários danos nesta fachada, realizada pelo **T2D2**.

ferramentas desenvolvidas pela empresa é a **T2D2** (Thornton Tomasetti Damage Detector), um software que utiliza visão computacional e **deep learning** para identificar e classificar danos em fachadas e materiais estruturais através da análise de imagens e vídeos. O **T2D2** foi inicialmente treinado para detetar danos em estruturas de betão, mas as suas capacidades foram expandidas para incluir materiais como alvenaria, tijolo e estuque. Este software não só acelera o processo de inspeção, como também aumenta a precisão ao identificar possíveis problemas que podem passar despercebidos em inspeções manuais. Além disso, a **T2D2** utiliza drones para coletar imagens, permitindo uma cobertura mais ampla e segura das estruturas a serem inspecionadas. Esta abordagem permite inspeções mais frequentes e económicas, prevenindo problemas maiores e economizando em reparações futuras. Através destas inovações, Thornton Tomasetti está a redefinir a forma como as inspeções estruturais são conduzidas, tornando-as mais eficientes e seguras.

Também os avanços na modelação e previsão dos fluxos de circulação de pessoas e veículos dentro e ao redor dos edifícios se tornaram essenciais para o planeamento urbano e a gestão de grandes espaços públicos, ajudando a otimizar a utilização do espaço e a melhorar a experiência dos utilizadores.

O escritório Zaha Hadid Architects tem aplicado IA para simular e otimizar fluxos de circulação em grandes projetos, como o Aeroporto Internacional de Pequim Daxing, onde a IA ajudou a planear os fluxos de passageiros para reduzir congestionamentos e melhorar a eficiência. Neste projeto, a utilização de IA permitiu modelar os movimentos

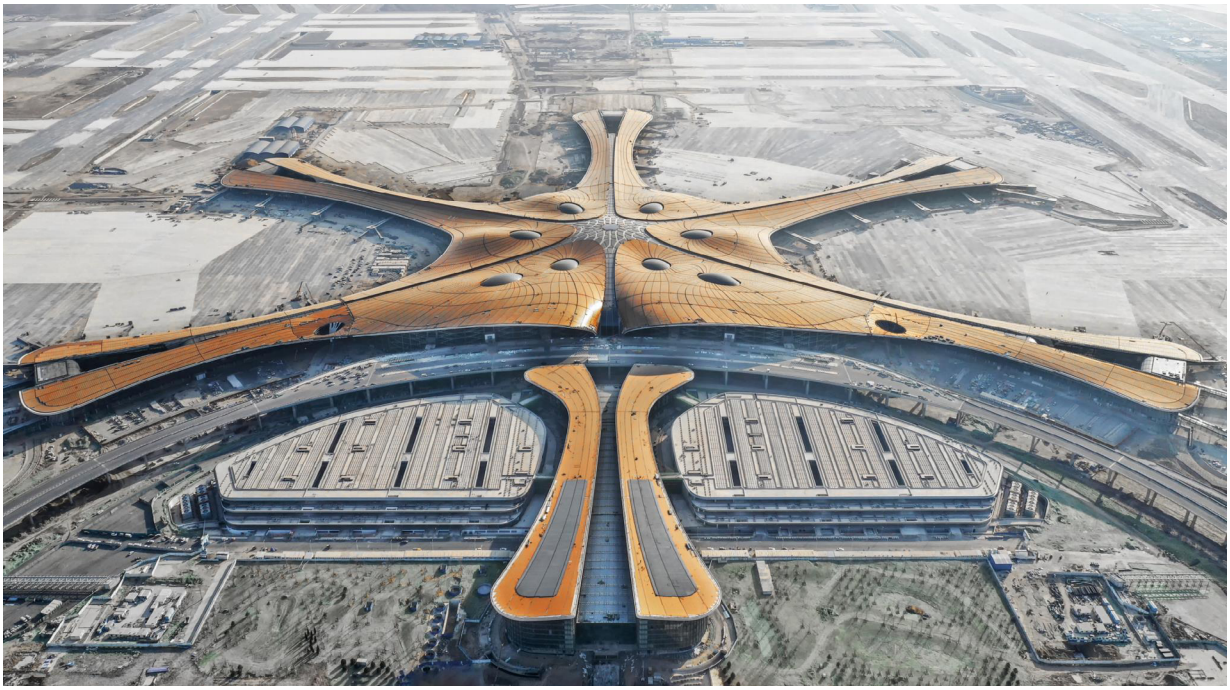


Fig. 52. Aeroporto Internacional de Pequim Daxing, projetado por Zaha Hadid Architects.

de pessoas dentro do aeroporto, ajudando a identificar e solucionar potenciais pontos de congestionamento antes mesmo da construção. Esta simulação procurou garantir que o design radial do aeroporto facilitasse a navegação eficiente dos passageiros, minimizando os tempos de caminhada até aos portões mais distantes para menos de oito minutos. A arquitetura do terminal, inspirada em formas tradicionais chinesas, organiza espaços interconectados ao redor de um pátio central e permite uma circulação fluida e intuitiva. É neste sentido que, a IA ajudou a planear essas interconexões, ajustando a configuração e a distribuição de serviços e amenidades de forma a otimizar o fluxo contínuo de pessoas. Além disso, as claraboias e a iluminação natural não só melhoram a experiência estética, mas também orientam os passageiros através do espaço. Este projeto demonstra como a simulação de fluxos com IA pode ser integrada ao design arquitetónico para criar ambientes mais eficientes e amigáveis para os utilizadores, garantindo que grandes infraestruturas como aeroportos possam lidar com um volume crescente de passageiros de forma sustentável e eficaz.

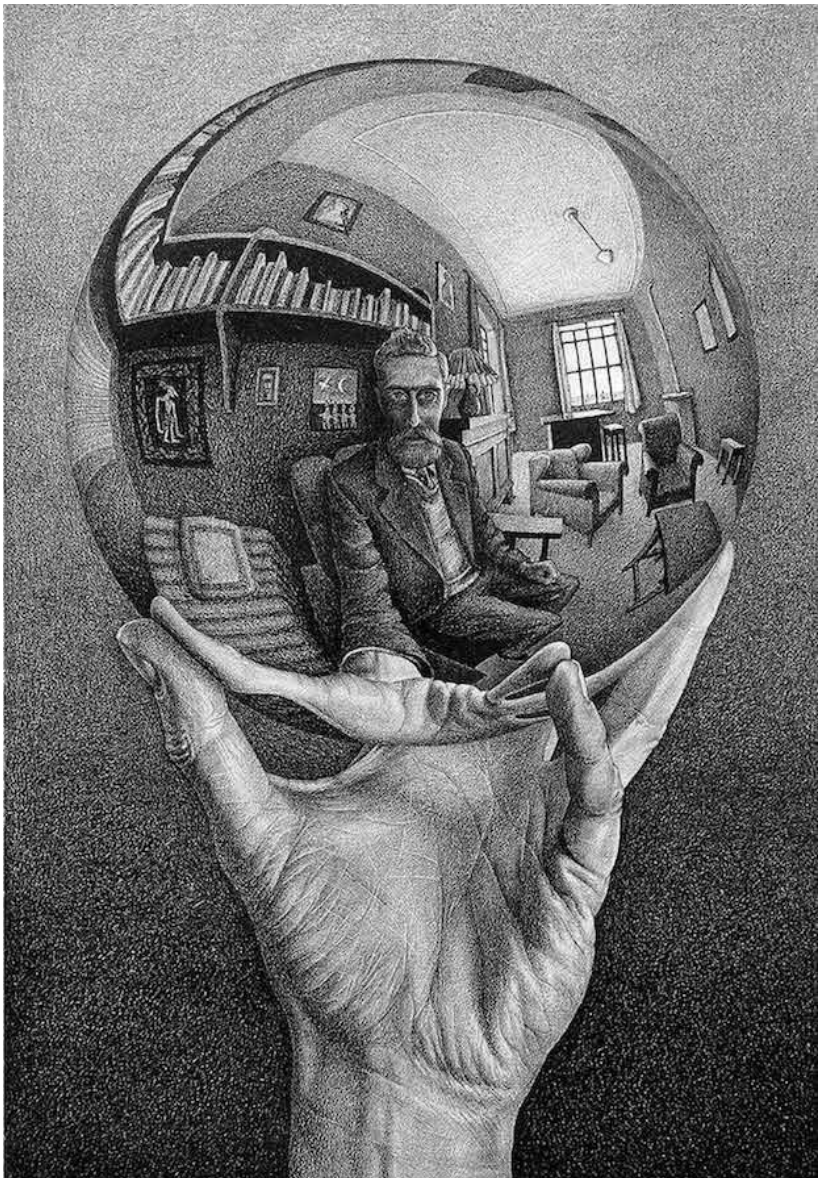


Fig. 53. A obra ***Mão com Esfera Reflectora*** de M.C. Escher exemplifica o conceito de simulação ao representar uma realidade refletida, onde o que é visto na esfera é uma recriação do ambiente.

A integração da IA na simulação arquitetónica tem transformado profundamente a forma como os projetos são concebidos, analisados e otimizados, numa abordagem mais precisa, eficiente e abrangente de diversos aspetos de um edifício, desde o desempenho energético até à segurança estrutural e ao conforto dos ocupantes. Ao utilizar algoritmos avançados e modelos digitais, os profissionais podem prever e adaptar-se a desafios complexos antes da construção física, economizando tempo e recursos. Esta capacidade de prever e otimizar permite que a arquitetura responda de maneira mais eficaz às exigências ambientais e funcionais, promovendo práticas sustentáveis e garantindo que as infraestruturas sejam mais seguras, eficientes e confortáveis. Em última análise, a IA, na simulação arquitetónica, não apenas melhora a qualidade dos projetos, mas também contribui para uma arquitetura mais resiliente e adaptada às necessidades do futuro.

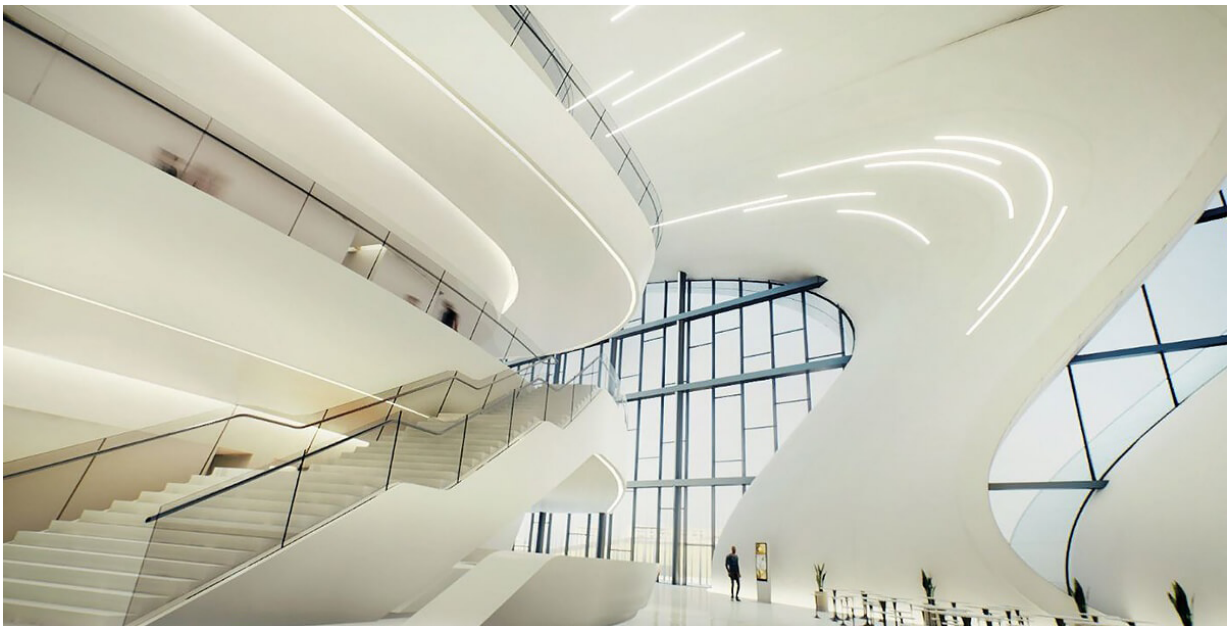


Fig. 54. Imagem foto realista de Zaha Hadid Architects, onde foi usado Unreal Engine.

Comunicação

Ao nível da comunicação de um projeto arquitetónico, é fundamental a transmissão clara e eficaz das ideias e intenções do arquiteto para diversos públicos, como clientes, construtores, autoridades reguladoras e o público em geral. Com a introdução da IA, surgem, em arquitetura, novas possibilidades para aprimorar este processo, tornando-o mais eficiente e abrangente.

A visualização de projetos arquitetónicos, com o auxílio da IA, tem vindo a ser uma ferramenta potenciadora de uma comunicação eficaz com os clientes. A capacidade de transmitir ideias complexas, de forma clara, envolvente e interativa, possibilita aos clientes a compreensão plena do projeto antes da sua construção. Nesta comunicação, três categorias principais se destacam: renders, vídeos e experiências imersivas como a **VR** e a **AR**.

No que concerne à criação de imagens altamente realistas, os renders, gerados a partir da IA, permitem comunicar visualmente o projeto aos clientes. Ferramentas como o **Unreal Engine** ajudam a criar imagens e animações com qualidade cinematográfica em tempo real, e a efetuar ajustes imediatos com base no retorno do cliente. Esta capacidade é decisiva para alinhar a visão do arquiteto com as expectativas do cliente, permitindo uma comunicação visual precisa e convincente.



Fig. 55. Através da IA, é possível utilizar **realtime ray tracing** no Chaos Vantage, obtendo ótimos resultados em pouquíssimo tempo.

Outra ferramenta a salientar é o **Chaos Vantage**, que utiliza **ray tracing**[21] em tempo real para permitir a exploração e comparação de diferentes variações de design com rapidez e precisão. Durante reuniões com clientes, podem ser visualizadas mudanças e ajustes instantaneamente, o que ajuda a evitar má comunicação e a garantir que o cliente veja exatamente como cada alteração afetará o resultado final.

Adicionalmente, o **DALL-E 2** oferece uma abordagem inovadora, permitindo gerar imagens a partir de descrições textuais, o que possibilita a exploração de conceitos visuais mais abstratos ou criativos.

Também os vídeos se afiguram eficazes na comunicação, pois permite ao cliente visualizar o projeto em movimento, oferecendo uma experiência mais dinâmica e envolvente. A IA otimiza a criação desses vídeos e permite que animações realistas sejam geradas rapidamente, o que é essencial para manter o cliente envolvido e entusiasmado com o projeto. Aplicações como o **Twinmotion** e o **Unreal Engine** são particularmente eficazes nesse contexto, permitindo que o cliente veja diferentes cenários do projeto com transições suaves e efeitos visuais realistas. O uso de vídeos ajuda a ilustrar o fluxo dos espaços, a interação da luz natural e a sensação geral do ambiente, facilitando uma compreensão mais profunda do projeto.

Por último, as tecnologias de **VR** e **AR** proporcionam experiências imersivas potenciadoras de um maior envolvimento do cliente. Através da **VR**, os clientes podem "entrar" no projeto, explorar os espaços como se estivessem fisicamente presentes, o que facilita uma compreensão

21. Técnica de renderização que simula o comportamento da luz para criar imagens digitais altamente realistas.



Fig. 56. Utilização de VR no Enscape.

intuitiva das proporções, iluminação e ambiente geral. Por exemplo, o **Enscape** permite que os clientes naveguem em modelos 3D em tempo real, ajustando automaticamente detalhes visuais para proporcionar uma experiência realista e interativa. Em projetos como o do Museu de Ciência e Tecnologia do Canadá, o uso da VR, pela empresa canadiana Diamond Schmitt Architecs, contribuiu para uma conexão emocional mais forte dos clientes a partir da exploração do edifício em 3D. Para além disso, ferramentas como o **ARki** permitem sobrepor modelos 3D em ambientes reais através da **AR**, o que é extremamente útil para mostrar ao cliente como o projeto se integrará no contexto existente, facilitando decisões informadas.

Outro aspeto a salientar, no contexto da comunicação de projetos arquitetónicos para o cliente, é o grafismo das plantas relevante para a transmissão de informações técnicas e estéticas de forma clara e visualmente apelativa. Com o auxílio da IA, os arquitetos podem criar múltiplas versões de plantas arquitetónicas, cada uma com diferentes estilos gráficos, para destacar diversos aspetos do projeto. Esta flexibilidade gráfica é essencial para adaptar a comunicação às necessidades e expectativas do cliente, permitindo uma apresentação mais precisa e personalizada.

O uso de IA no grafismo de plantas oferece, ainda, a possibilidade de responder rapidamente às necessidades dos clientes, produzindo múltiplas versões de uma planta para diferentes fins de comunicação. Por exemplo, ao preparar uma reunião com o cliente, o arquiteto pode apresentar uma versão da planta que enfatiza os fluxos de circulação, utilizando cores vibrantes e linhas dinâmicas para destacar

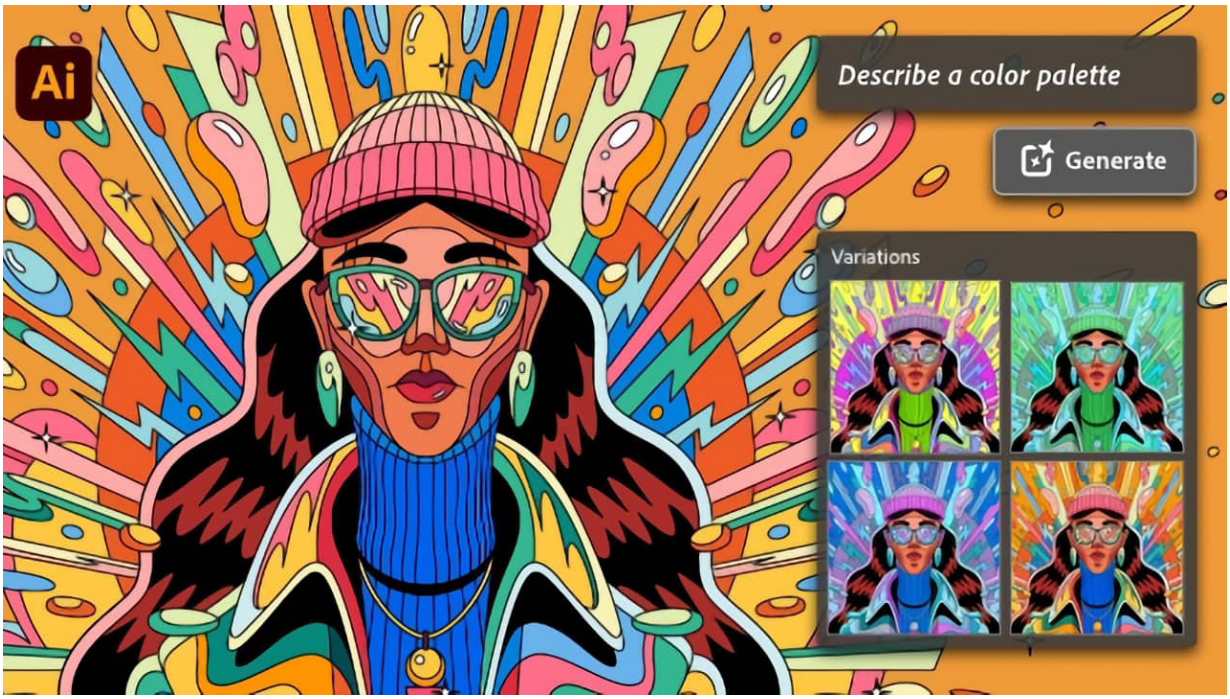


Fig. 57. Exemplificação das várias soluções que o **Generative Recolor** apresenta dentro dos parâmetros especificados.

percursos. Simultaneamente, pode oferecer outra versão focada nos materiais e acabamentos, usando texturas diferenciadas. Esta abordagem gráfica personalizada facilita ao cliente a compreensão dos diferentes aspetos do projeto, permitindo-lhe visualizar, de forma clara e direta, as soluções propostas. Além disso, a IA permite ajustar rapidamente essas versões com base nas opiniões recebidas, garantindo que a comunicação seja sempre precisa e eficaz, e resulte numa maior satisfação do cliente e numa tomada de decisões mais informada.

Para alcançar esses resultados, diversas ferramentas de IA podem ser empregadas. Uma delas é o **Adobe Illustrator**, complementado pelo **Generative Recolor**. Este recurso, alimentado pela IA do **Adobe Firefly**, permite aos arquitetos modificarem rapidamente as cores e estilos gráficos de plantas arquitetónicas. Através de **prompts**[22] de texto simples, como "campos de morangos" ou "deserto de terracota", a IA gera variações de cor em segundos, permitindo explorar múltiplas paletas de cores sem comprometer o design original. O **Generative Recolor** não só acelera o processo de criação, como também oferece a possibilidade de experimentar com cores e temas que talvez não tivessem sido considerados inicialmente, proporcionando ao cliente uma gama mais diversificada de opções visuais.

Outra ferramenta, conhecida pela sua capacidade de modela**ção** paramétrica avançada, é o **Rhino**, em combinação com **Grasshopper**, que consegue automatizar a criação de múltiplas versões de plantas. São ajustados automaticamente parâmetros gráficos, como a espessura das linhas, padrões de preenchimento e cores, de acordo com as necessidades do

22. Instruções ou sugestões fornecidas a um modelo de IA para guiar a geração de conteúdo ou respostas.

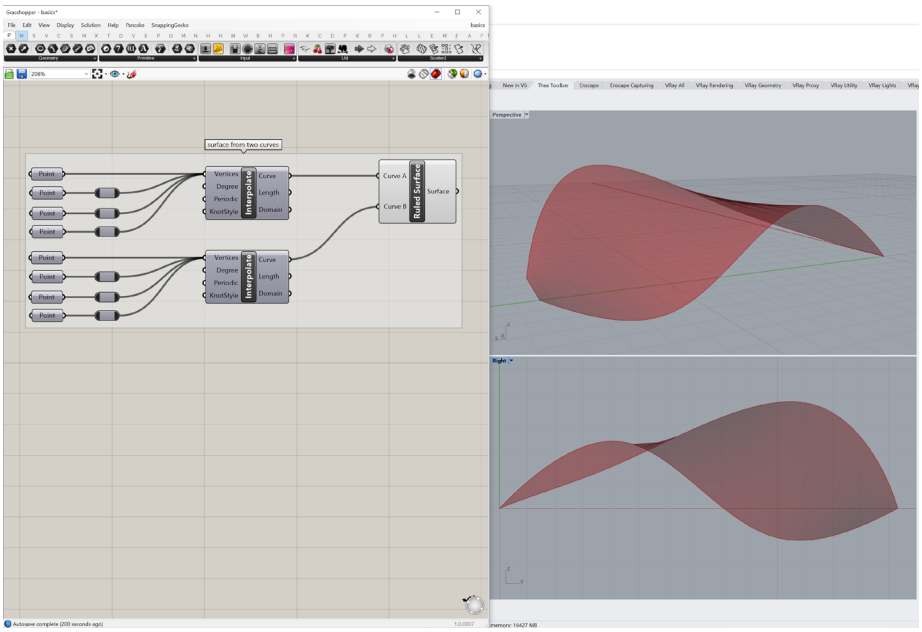


Fig. 58. Através da utilização do **Grasshopper**, é possível obter soluções complexas com apenas alguns **scripts**.

projeto e os comentários do cliente. Por exemplo, **Grasshopper** pode ser programado para gerar variações de uma planta onde diferentes aspetos, como a disposição espacial ou o uso de materiais, são destacados visualmente. Esta capacidade de automatização economiza tempo e simultaneamente permite explorar mais opções de design e apresentar alternativas visuais que atendam especificamente às preferências e expectativas do cliente.

Por sua vez, o **AutoCAD** também é uma ferramenta tradicionalmente associada à criação de desenhos técnicos, mas pode ser aprimorado com **scripts**[23] de IA personalizados que automatizam a criação de versões alternativas de plantas arquitetónicas e que permitem ajustes rápidos no grafismo, como a aplicação de diferentes estilos de sombreamento ou a alteração das representações de materiais, oferecendo aos arquitetos a flexibilidade de adaptar as plantas rapidamente durante reuniões com clientes.

Integradas no processo de comunicação com o cliente, estas ferramentas permitem aos arquitetos adaptar e personalizar a apresentação dos seus projetos de maneira eficiente, maximizando a clareza e a eficácia na transmissão das suas ideias.

Relativamente à organização e apresentação de conteúdo, a IA proporciona apresentações que são não só visualmente atraentes, mas também estruturadas para maximizar a clareza e o impacto da mensagem. Essa tecnologia permite uma personalização adaptada ao cliente, garantindo que cada apresentação reflita as necessidades e preferências específicas de quem a recebe.

23. Conjuntos de instruções programadas que automatizam tarefas ou processos em software.

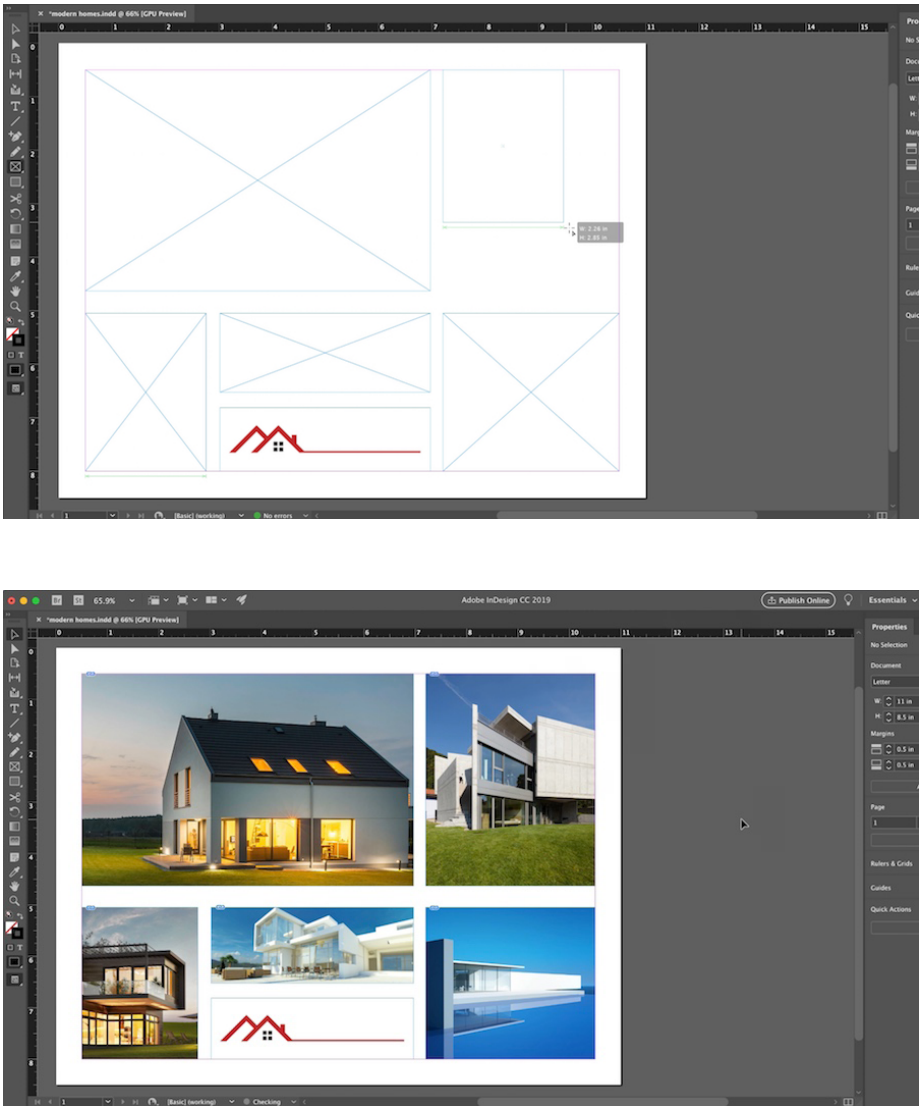


Fig. 59. Com **machine learning**, o Adobe Sensei rapidamente obtem a melhor disposição e exibição das imagens.

Na prática, ferramentas como o **Adobe Sensei**, integrado no **Adobe InDesign**, utilizam IA para otimizar o processo de design, sugerindo configurações automaticamente e ajustando a disposição dos elementos visuais, como imagens, textos e gráficos, para criar painéis equilibrados e impactantes. Além disso, esta ferramenta pode ajustar a tipografia e a paleta de cores, assegurando que o design final seja coerente e esteticamente agradável.

Plataformas como o **Canva Pro** também incorporam IA para auxiliar na criação de apresentações e painéis. Ao analisar o conteúdo inserido, o **Canva Pro** sugere estilos e layouts que ajudam a criar apresentações visuais de forma rápida e profissional, oferecendo modelos facilmente personalizáveis que permitem a colaboração em tempo real para facilitar o processo de aprovação.

Outra ferramenta, o **Pitch.com**, utiliza IA para estruturar e organizar o conteúdo de forma lógica e visualmente coerente através de uma análise que sugira automaticamente a melhor disposição gráfica para destacar as mensagens principais do projeto, assegurando uma comunicação clara e persuasiva adaptada ao público-alvo. O **Pitch.com** também oferece funcionalidades de colaboração em tempo real, para as equipas de design trabalharem juntas de maneira eficiente.



Fig. 60. Várias imagens geradas pela IA do **Beautiful.ai**.

Adicionalmente, o **Beautiful.ai** automatiza a criação de slides e painéis utilizando IA para ajustar dinamicamente o design à medida que o conteúdo é inserido. Esta aplicação simplifica o processo de design, garantindo que o resultado final seja sempre esteticamente agradável e funcional. Oferece uma variedade de modelos de design inteligentes que se adaptam automaticamente ao tipo de conteúdo, permitindo que o arquiteto se concentre na mensagem e na narrativa do projeto enquanto a IA cuida da estética. A possibilidade de criar apresentações interativas e visualmente impactantes, que podem ser facilmente ajustadas com base no retorno do cliente, torna o **Beautiful.ai** uma opção prática que combina eficiência com alta qualidade visual nas apresentações.

"Although the potential AI represents for Architecture is quite promising, it still remains contingent on designers' ability to communicate their intent to the machine."

Chaillou, 2019

Chaillou, S. (2019). AI + Architecture: Towards a New Approach. Harvard GSD, página 17.

A comunicação eficaz de projetos arquitetónicos é essencial para garantir que as ideias e intenções do arquiteto sejam compreendidas e valorizadas. A introdução da IA neste processo oferece ferramentas que não só aprimoram a qualidade das apresentações, mas também permitem uma personalização adaptada às necessidades e expectativas dos clientes. A IA possibilita uma comunicação mais clara, interativa e dinâmica, facilitando a compreensão de conceitos complexos e a tomada de decisões informadas. Ao integrar essas tecnologias, os arquitetos conseguem não apenas transmitir as suas ideias de forma mais eficaz, mas também aumentar a probabilidade de aprovação e sucesso dos projetos, uma vez que a relação com os clientes é fortalecida, garante que cada detalhe do projeto seja cuidadosamente apresentado e apreciado. Desde as primeiras aplicações de ferramentas digitais até as inovações mais recentes que combinam IA com design generativo, a arquitetura tem experimentado uma crescente incorporação de tecnologias avançadas que prometem transformar radicalmente o setor. A integração da IA não apenas aprimora a eficiência e a precisão dos projetos, mas também impulsiona a criatividade dos arquitetos, permitindo a exploração de novas possibilidades de design e a criação de soluções mais inovadoras e alinhadas com as necessidades dos clientes. Essas tecnologias, ao promoverem uma abordagem mais informada e sustentável, estão a redefinir o futuro da arquitetura, garantindo projetos que combinam funcionalidade, estética e respeito pelo meio ambiente.



Desenho do autor, DALL-E e Adobe Firefly

03

Considerações Finais

"A new type of thinking is essential if mankind is to survive
and move toward higher levels"

Albert Einstein, 1946

Einstein, A. (1946). Fonte desconhecida

A introdução da IA na arquitetura está a transformar profundamente a profissão, inaugurando uma nova era de automatização, eficiência de tarefas e colaboração interdisciplinar. Ferramentas avançadas como o BIM e algoritmos de machine learning têm revolucionado o trabalho dos arquitetos, automatizando tarefas repetitivas e complexas, como a criação de modelos tridimensionais e a análise de dados. Isso não só melhora a precisão e a qualidade dos projetos, mas também permite que os arquitetos se concentrem em aspetos mais criativos e estratégicos do design, potenciando a inovação e a criatividade dentro dos limites funcionais.

Também a IA facilita a colaboração interdisciplinar, integrando diferentes áreas de conhecimento, como a engenharia, ciência de dados e tecnologia da informação. Através do uso de plataformas como o BIM e digital twins, os arquitetos podem colaborar de maneira mais eficaz com outros profissionais, melhorando a comunicação e a eficiência ao longo do ciclo de vida do projeto. Isso resulta em projetos mais coesos, com uma melhor gestão de riscos e uma otimização dos recursos disponíveis.

Por outro lado, a IA está a reconfigurar o processo de design arquitetónico, introduzindo novas metodologias que transformam a prática tradicional. Ferramentas como GANs e algoritmos de otimização evolutiva permitem que arquitetos explorem uma vasta gama de soluções criativas de design. Ao automatizar iterações de design, com base em parâmetros específicos, a IA não só amplia as possibilidades criativas, mas também introduz um novo paradigma onde a estética e a funcionalidade podem ser equilibradas de forma mais eficaz.

DB

How do you see the new trend of artificial intelligence entering architecture planning?

TADAO ANDO

While I am excited about new technologies and believe they are useful in many cases, I am concerned about a future where architecture is created solely through the selective sorting of past data.
In addition to the functionality, economy, and technology that make up a predetermined harmony in a building, an architect's intervention brings a bit vague and contradictory odds with reality. It is these odds that make architecture unique and legitimize architects as a profession. The physical experience, embodied memory, and bodily senses of an architect are more reliable than the vast accumulation of data or its processing speed in a computer.

A IA permite igualmente uma maior otimização, onde múltiplos fatores, como sustentabilidade, custo e eficiência, são considerados simultaneamente. Isso possibilita que arquitetos identifiquem soluções de design mais eficientes e sustentáveis, enquanto mantém a liberdade criativa para explorar novas formas e estruturas. No entanto, é essencial que os arquitetos mantenham um papel ativo e crítico na supervisão desses processos, garantindo que a integridade e a intuição do design humano não sejam comprometidas pela dependência excessiva da tecnologia. Citando o arquiteto Tadao Ando, essa dependência pode comprometer a essência humana e a criatividade da arquitetura:

"Embora eu esteja entusiasmado com as novas tecnologias e acredite que elas sejam úteis em muitos casos, estou preocupado com um futuro em que a arquitetura seja criada exclusivamente através da seleção de dados passados. Além da funcionalidade, economia e tecnologia que compõem uma harmonia predeterminada num edifício, a intervenção do arquiteto traz consigo uma certa imprecisão e contradição com a realidade. São essas contradições que tornam a arquitetura única e legitimam os arquitetos como profissão. A experiência física, a memória incorporada e os sentidos corporais de um arquiteto são mais confiáveis do que a vasta acumulação de dados ou a velocidade de processamento de um computador."

Tadao Ando, entrevista concedida a Designboom, publicada a 6 de setembro de 2022, disponível em: https://www.designboom.com/architecture/interview-tadao-ando-andree-putman-lifetime-achievement-award-09-06-2022/.



Fig. 61. MIT - Viagem em **AR** à Casa Aalto, Aino e Alvar Aalto: Visão Compartilhada, Galeria A4, Tóquio - T. Nagakura e Grupo ARC

Neste sentido, importa referir a importância da formação contínua na aquisição de novas competências para se adaptarem profissionalmente a um ambiente dominado por ferramentas digitais cada vez mais inteligentes. Embora não seja necessário que se tornem especialistas em programação, análise de dados ou uso de recursos tecnológicos avançados, compreender os princípios fundamentais é uma mais-valia para os arquitetos puderem colaborar com outros profissionais e aproveitar ao máximo as potencialidades das tecnologias disponíveis.

Além disso, a IA está a transformar o processo de ensino/aprendizagem dos futuros arquitetos graças a uma abordagem educacional que integra tecnologias avançadas de IA, proporcionando o desenvolvimento de competências essenciais de forma mais eficaz e direcionada, preparando-os para os desafios contemporâneos da arquitetura. Assim como Elon Musk observa, numa entrevista dirigida por Jordan Peterson (julho, 2024), que o desenvolvimento da superinteligência digital prossegue independentemente das preocupações quanto aos seus riscos. A educação em arquitetura enfrenta um dilema semelhante. Podemos escolher ser meros espectadores ou participantes ativos na incorporação dessas tecnologias. Programas especializados, como os oferecidos pelo MIT e pela Bartlett School of Architecture, estão na vanguarda desta transformação, assumindo o papel de participantes ativos com o objetivo de direcionar a IA para um uso benéfico e ético. (Architecture MIT)(RealSpace)



Fig. 62. Ilustração da IA como ferramenta digital de apoio ao arquiteto.

No MIT, por exemplo, os alunos aprendem a utilizar tecnologias de fabricação digital e design assistido por IA, enquanto na Bartlett School of Architecture, há um incentivo à experimentação com design generativo e reflexões sobre as implicações éticas dessas tecnologias.

Esta combinação de teoria, prática e reflexão ética molda uma nova geração de arquitetos, capacitando-os a criar soluções inovadoras e socialmente responsáveis num mundo cada vez mais dominado pela tecnologia, alinhando-se à ideia de que a participação ativa no desenvolvimento da IA pode direcionar seu impacto para o benefício da humanidade.

Corroborando a opinião de Leach (2022), o arquiteto, no futuro, será cada vez mais visto como um "super-utilizador", um profissional que domina as ferramentas de IA para amplificar o seu impacto criativo e inovador. Este conceito sugere uma colaboração estreita entre humano e máquina, onde a tecnologia complementa as habilidades humanas, permitindo a exploração de novas fronteiras no design arquitetónico. A IA, longe de substituir o arquiteto, servirá como um parceiro digital, ajudando a resolver problemas complexos e permitindo que os arquitetos se concentrem nos aspetos mais inspiradores e desafiadores do seu trabalho. Este novo paradigma redefine o papel do arquiteto, não apenas como criador de formas, mas como gestor de tecnologias avançadas que podem transformar ideias em realidade de forma mais eficiente e precisa.

"(…) artificial intelligence has a potential to change the whole discipline giving it new possibilities and paths to explore. The breakthrough of artificial intelligence became crucial for the change of the way we think about creating architecture."

Cudzik, J., & Radziszewski, K., 2018

Cudzik, J., & Radziszewski, K. (2018). Artificial Intelligence Aided Architectural Design. Gdansk University of Technology, página 84

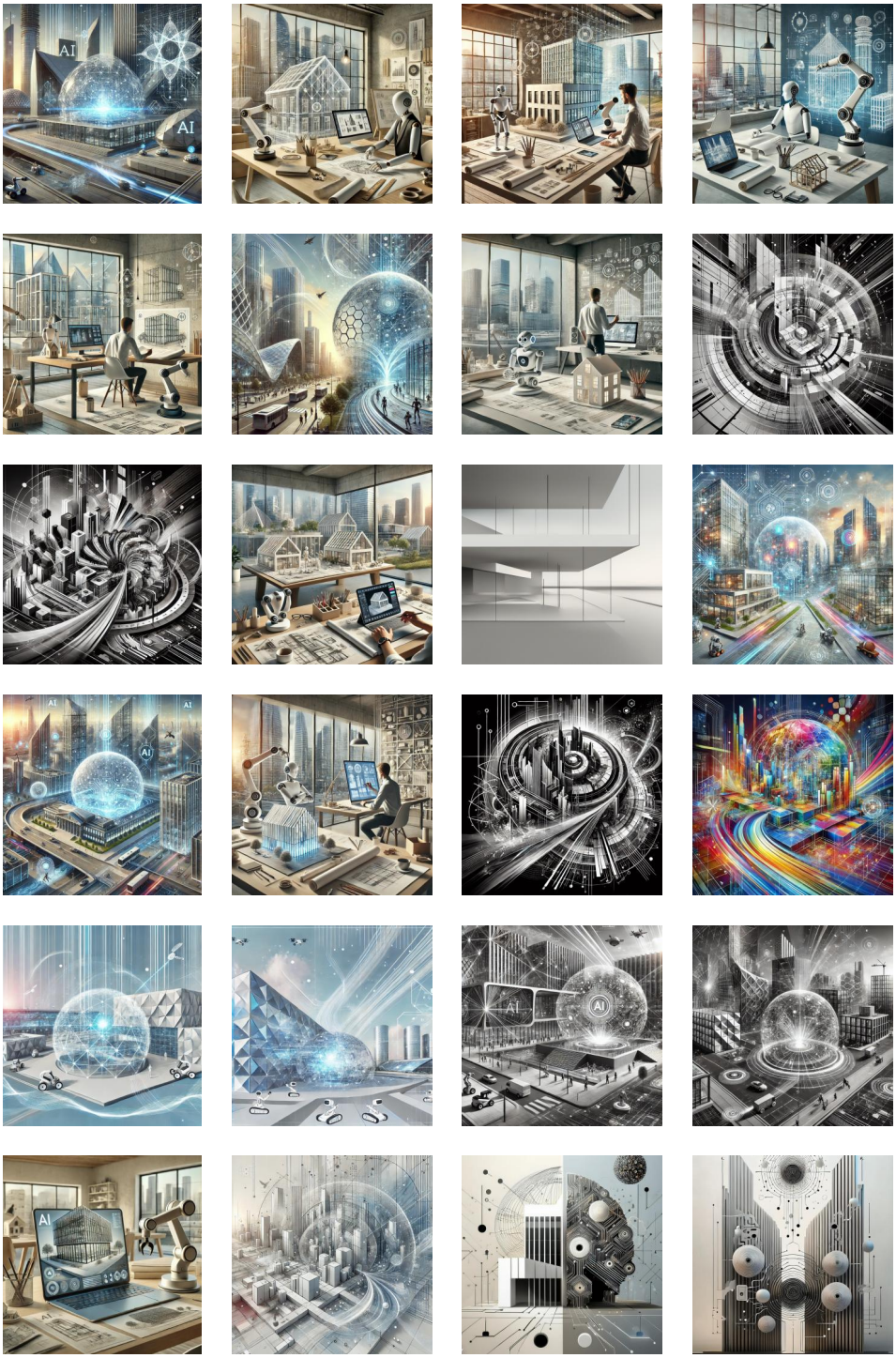


Fig. 63. Diversas imagens criadas pela IA.

04

Bibliografia

Dissertações e Teses

Brites, C. A. M. (2018). *A Caminho de uma Arquitetura Interativa: Da Cibernética à Inteligência Artificial* (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura, Universidade do Porto).

Chaillou, S. (2019). *AI + Architecture: Towards a New Approach* (Tese de Mestrado, Harvard Graduate School of Design).

Rosendo, B. S. (2022). *Supra-Arquitetura: Influências da Inteligência Artificial na Arquitetura* (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura, Universidade do Porto).

Wang, Q. (2022). *Machine learning in architecture: The new relationship between architect, image and tool* (Tese de Mestrado, Faculty of Engineering, LTH, Lund University).

Figueiredo, L. A. (2023). *Fronteiras da Criatividade: Interferências da Inteligência Artificial na Prática da Arquitetura* (Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura, Universidade do Porto).

Coelho, C. (2024). *AI-driven personalization in beauty retail: Exploring how AI-based applications influence customer satisfaction and brand loyalty* (Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Administração e Marketing).

Livros

Mitchell, W. J. (1990). *The logic of architecture: Design, computation, and cognition*. MIT Press.

Price, C., & Littlefield, D. (2003). *The square book*. Wiley-Academy.

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design*. MIT Press.

McCorduck, P. (2004). *Machines who think: A personal inquiry into the history and prospects of artificial intelligence* (2ª ed.). Natick, MA: A K Peters, Ltd. ISBN: 1-56881-205-1.

Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer. ISBN: 978-0387310732.

Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (3ª ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education. ISBN: 978-0-13-147139-9.

Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial intelligence: A modern approach* (3ª ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education. ISBN: 978-0-13-604259-4.

Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design* (Capítulos 2-3). New York: Routledge. ISBN: 978-0415779873.

Burry, M. (2011). *Scripting cultures: Architectural design and programming*. Wiley.

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning: With applications in R*. New York: Springer. ISBN: 978-1-4614-7137-0.

Alpaydin, E. (2014). *Introduction to machine learning* (3ª ed.). Cambridge, MA: The MIT Press. ISBN: 978-0-262-02818-9.
Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press.

Mitchell, M. (2019). *Artificial intelligence: A guide for thinking humans*. New York: Farrar, Straus and Giroux. ISBN: 978-0374257835.

Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial intelligence: A modern approach* (4ª ed.). Pearson.

Hottenlocher, D., Schmidt, E., & Kissinger, H. (2021). *A era da inteligência artificial*. Lisboa: Dom Quixote. ISBN: 978-972-20-7340-0.

Leach, N. (2022). *Architecture in the age of artificial intelligence: An introduction to AI for architects*. London: Bloomsbury Visual Arts. ISBN: 978-1-3501-6553-3.

Chaillou, S. (2022). *Artificial intelligence and architecture: From research to practice*. Basel: Birkhäuser. ISBN: 978-3-0356-2400-7.

Muntañola, J. (2022). *Artificial intelligence and architectural design: An introduction. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya*. ISBN: 978-84-19184-49-8.

Artigos e Conferêncais

McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*. Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4), 115-133. DOI: 10.1007/BF02478259.

Turing, A. M. (1950). *Computing machinery and intelligence.* Mind, 59(236), 433-460. DOI: 10.1093/mind/LIX.236.433.

Rosenblatt, F. (1958). *The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain.* Psychological Review, 65(6), 386-408.

Searle, J. R. (1980). *Minds, brains, and programs*. The Behavioral and Brain Sciences, 3(3), 417-424. DOI: 10.1017/S0140525X00005756.

Khan, B. H. (2001). *Web-based training*. Educational Technology Publications.

Ng, A. Y., & Jordan, M. I. (2001). *On discriminative vs. generative classifiers: A comparison of logistic regression and naive Bayes*. Advances in Neural Information Processing Systems, 14, 841-848.

Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's new media: Principles, theories, and methods of computer-aided design.* MIT Press.

McCormack, J., Dorin, A., & Innocent, T. (2004). *Generative design: A paradigm for design research.* In J. Redmond,

D. Durling, & A. de Bono (Eds.), *Proceedings of DRS 2004 - Futureground* (pp. 1-10). Melbourne, Australia: Design Research Society.

Shea, K., Aish, R., & Gourtovaia, M. (2005). *Towards integrated performance-driven generative design tools*. Automation in Construction, 14(2), 253-264. DOI: 10.1016/j.autcon.2004.07.002.

Penttilä, H. (2006). *Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression.* ITcon, 11, 395-408.

Urmson, C., Anhalt, J., Bagnell, D., Baker, C., Hebert, M., Kammel, S., ... & Whittaker, W. (2008). *Autonomous driving in urban environments: Boss and the urban challenge*. Journal of Field Robotics, 25(8), 425-466.

Chen, C. M., & Liu, C. H. (2008). *Personalized e-learning system using item response theory*. Computers & Education, 51(2), 1234-1253.

Woodbury, R. (2010). *Elements of parametric design* (Capítulos 2-3). New York: Routledge. ISBN: 978-0415779873.

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2012). *ImageNet classification with deep convolutional neural networks*. In Advances in Neural Information Processing Systems (Vol. 25, pp. 1097-1105). Curran Associates, Inc.

Amatriain, X., & Basilico, J. (2012). *Netflix recommendations: Beyond the 5 stars.* The Netflix Tech Blog.

Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., Van Den Driessche, G., ... & Hassabis, D. (2016). *Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search*. Nature, 529(7587), 484-489. DOI: 10.1038/nature16961.

Bojarski, M., Testa, D. D., Dworakowski, D., Firner, B., Flepp, B., Goyal, P., ... & Zieba, K. (2016). *End to end learning for self-driving cars*. arXiv preprint arXiv:1604.07316.

Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., Blau, H. M., & Thrun, S. (2017). *Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks*. Nature, 542(7639), 115-118.

Cudzik, J., & Radziszewski, K. (2018). *Artificial intelligence aided architectural design.* Conference paper. eCAADe 36. DOI: 10.52842/conf.ecaade.2018.1.077.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). *Deep learning in agriculture: A survey*. Computers and Electronics in Agriculture, 147, 70-90.

Scharre, P. (2018). *Army of none: Autonomous weapons and the future of war.* W. W. Norton & Company.

Li, Y., Chen, L., Zhao, Y., & Kong, X. (2019). *LSTM-based anomaly detection in cyber-physical systems*. Proceedings of the 2019 5th International Conference on Computer and Technology Applications, 106-111.

Zhang, H., Kang, B., & Hua, X. S. (2019). *S3FD: Single shot scale-invariant face detector.* Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 192-201.

Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., ... & Amodei, D. (2020). *Language models are few-shot learners*. In Advances in Neural Information Processing Systems (Vol. 33, pp. 1877-1901). Curran Associates, Inc.

Filmes

Scott, R. (Realizador). (1982). *Blade runner* [Filme]. Warner Bros.

Oshii, M. (Realizador). (1995). *Ghost in the Shell* [Filme]. Manga Entertainment.

Jonze, S. (Realizador). (2013). *Her* [Filme]. Warner Bros.

Tyldum, M. (Realizador). (2014). *The imitation game* [Filme]. The Weinstein Company.

Pfister, W. (Realizador). (2014). *Transcendence* [Filme]. Warner Bros.

Garland, A. (Realizador). (2015). *Ex machina* [Filme]. A24.

Villeneuve, D. (Realizador). (2017). *Blade runner 2049* [Filme]. Warner Bros.

Ponsoldt, J. (Realizador). (2017). The Circle [Filme]. STX Films.

https://news.mit.edu/2020/artificial-intelligence-identifies-new-antibiotic-0220

https://news.mit.edu/2023/using-ai-scientists-combat-drug-resistant-infections-0525

https://betterworld.mit.edu/artificial-intelligence-yields-new-antibiotic/

https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2402.17690

https://builtin.com/articles/self-driving-car-companies

https://arxiv.org/abs/2402.17690

https://www.coursera.org/articles/machine-learning-in-finance

https://link.springer.com/article/10.1007/s43546-023-00618-x

https://iabac.org/blog/the-invisible-hand-ai-in-financial-markets-and-algorithmic-trading

https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00074-z

https://www.unesco.org/en/articles/how-can-artificial-intelligence-enhance-education

https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2404.02798v1

https://smallbiztrends.com/ai-in-ecommerce/

https://www.leewayhertz.com/ai-for-e-commerce/

https://www.ibm.com/blog/ai-in-ecommerce/

https://www.poptin.com/blog/from-product-recommendations-to-chatbots-how-ai-is-enhancing-the-ecommerce-customer-journey/

https://www.datasciencesociety.net/ai-in-agriculture-how-crop-monitoring-and-precision-farming-are-changing-the-industry/

https://thefarminginsider.com/crop-monitoring-precision-farming-ai-tech/

https://blogpilot.ai/blogs/ai-technology-in-entertainment/

https://webisoft.com/articles/ai-in-entertainment-industry/

https://relevant.software/blog/ai-in-entertainment/

https://www.leewayhertz.com/ai-in-media-and-entertainment/

https://www.miquido.com/blog/how-is-ai-used-in-entertainment/

https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-crime-prevention-5-current-applications/

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-19-0108-9_27

https://www.airforce-technology.com/news/ai-algorithm-artu%C2%B5-flies-with-pilot-on-usafs-u-2-dragon-lady/

https://newatlas.com/military/artificial-intelligence-copilot-us-air-force-jet/

https://www.defensenews.com/air/2020/12/16/artoo-take-the-wheel-the-u-2-flew-for-the-first-time-with-an-ai-copilot/

https://aviationweek.com/aerospace/emerging-technologies/darpa-ais-dogfighting-win-shows-potential-teaming-humans

https://www.jhuapl.edu/news/news-releases/200828-AI-bests-human-fighter-pilot-in-AlphaDogfight-trial-at-APL

https://www.archdaily.com/937772/how-will-generative-design-impact-architecture

https://www.autodesk.com/design-make/articles/generative-design-architecture

https://www.autodesk.com/design-make/articles/generative-ai-for-architecture

https://amazingarchitecture.com/articles/generative-ai-in-architecture

https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture

https://www.archdaily.com/1018978/leveraging-ai-elevate-creativity-and-efficiency-in-the-aec-industry

https://snowballai.io/midjourney-vs-stable-diffusion/

https://midjourney.fm/blog-Which-is-better-Midjourney-v6-vs-DALLE-3-vs-Stable-Diffusion-XL-36881

https://developer.nvidia.com/blog/archigan-generative-stack-apartment-building-design/

https://forums.developer.nvidia.com/t/archigan-a-generative-stack-for-apartment-building-design/148745

https://autodesk.blogs.com/between_the_lines/2014/11/autodesk-project-dreamcatcher-goal-directed-design.html

https://www.digitalengineering247.com/article/autodesk-research-project-dreamcatcher-pushing-the-limits-of-generative-design/

https://www.research.autodesk.com/projects/project-dreamcatcher/

https://3dprintingindustry.com/news/the-dreamcatcher-project-autodesk-announces-next-gen-design-platform-58441/

https://integratedbim.com/ai-bim-automation-for-architecture/

https://www.cee.ed.tum.de/cms/research/research-groups/knowledge-representation-and-reasoning/ai-based-automation-of-repetitive-design-steps-in-bim-modeling/

https://www.buildingsmart.org/artificial-intelligence-in-bim-and-renovation/

https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture

https://www.archdaily.com/969461/how-architecture-firms-are-leveraging-ai-to-optimize-their-businesses

https://www.archdaily.com/1016554/how-architects-add-ai-to-their-digital-toolbox

https://architosh.com/2024/05/wisebim-ai-from-2d-plans-to-revit-bim-models/

https://wisebim.app/

https://www.neuroncloud.ai/digital-twin/

https://digital.aecom.com/project/AR-spatial-visualizer/

https://digital.aecom.com/article/digital-twin/

https://www.turnerconstruction.com/

https://www.theb1m.com/video/managing-denver-international-airport-with-bim

https://www.twinview.com/

https://airportimprovement.com/article/denver-intl-improves-efficiency-reduces-costs-building-information-modeling/

https://www.technostruct.com/blog/2023/12/26/how-augmented-reality-and-virtual-reality-are-transforming-bim/

https://www.archdaily.com/948970/clayton-miller-on-data-science-in-architecture-academic-and-industry-are-just-starting

https://www.archdaily.com/1003902/data-driven-architecture-delving-into-4-building-information-tools

https://www.archdaily.com/1001585/navigating-complexity-and-change-in-architecture-with-data-driven-technologies

https://www.archdaily.com/936533/6-visions-of-how-artificial-intelligence-will-change-architecture

https://www.archdaily.com/1009545/the-impact-of-ai-tools-on-architecture-in-2024-and-beyond

https://www.archdaily.com/995781/what-is-the-future-role-of-architects-in-the-age-of-ai-and-data

https://www.spaceflow.io/en

https://www.consciouscoliving.com/

https://www.producthunt.com/new/products/spaceflow

https://www.architectmagazine.com

https://www.ericsson.com

https://www.mdpi.com

https://matterport.com

https://hmcarchitects.com

https://www.ballinger.com

https://www.autodesk.com

https://www.ribaj.com

https://www.trxl.co

https://www.digitalbluefoam.com

https://docs.digitalbluefoam.com/docs/about/

https://www.aecmag.com

https://www.archdaily.com/954496/the-best-architecture-interviews-of-2020

https://www.archdaily.com/937869/comfort-interaction-and-efficiency-artificial-intelligence-in-architectural-projects

https://www.simscale.com/blog/ai-simulation/

https://parametric-architecture.com/exploring-the-ai-frontier-in-architecture-insights-from-joshua-vermillion/

https://archinect.com/news/article/150353676/zaha-hadid-architects-on-using-ai-in-workplace-design

https://www.realspace3d.com/blog/10-ways-ai-is-shaping-the-future-of-architecture/

https://www.e-architect.com

https://www.architectmagazine.com

https://www.archiscene.net

https://l-a-v-a.net/projects/philips-lighting-headquarters/

https://gbs.autodesk.com

https://help.autodesk.com/cloudhelp/ENU/BPA-GBSWebService/files/GUID-DC7557C2-FAD9-499B-84B9-E6E978AD347C.htm

https://www.autodesk.com

https://www.bimcommunity.com/resources/load/323/green-building-studio

https://www.bimsolutions.ca/autodesk-green-building-studio/

https://www.thorntontomasetti.com/news/thornton-tomasetti-launches-t2d2-ai-solution-company-detect-classify-and-monitor-deterioration

https://www.thorntontomasetti.com/project/t2d2

https://theconstructor.org/artificial-intelligence/machine-learning-software-for-facade-inspection/

https://www.archdaily.com/927483/beijing-daxing-international-airport-zaha-hadid-architects

https://archello.com/project/beijing-daxing-international-airport

https://mymodernmet.com/daxing-international-airport-zaha-hadid-architects/

https://www.theplan.it/eng/webzine/architecture/beijing-daxing-international-airport

https://www.archdaily.com/1009545/the-impact-of-ai-tools-on-architecture-in-2024-and-beyond

https://www.archdaily.com/1005225/a-new-tool-and-collaborative-workflow-for-the-future-of-architecture

https://site.co-architecture.com/artificial-intelligence-ai/top-14-ai-tools-for-architects-and-designers/

https://www.archdaily.com/1010426/prompting-creativity-the-role-of-ai-in-visualization-and-design-tools-for-architects

https://blog.enscape3d.com/ai-in-architecture

https://www.archdaily.com/936999/pioneers-6-practices-bringing-ai-into-architecture

https://www.chaos.com/chaos-vantage

https://www.archdaily.com/1008209/how-and-where-chaos-vantage-can-make-visualizing-architecture-easier

https://www.archdaily.com/987228/can-artificial-intelligence-systems-like-dall-e-or-midjourney-perform-creative-tasks

https://www.architectmagazine.com/technology/how-ai-and-real-time-rendering-are-shaping-architectural-practice_o

https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Constructing-ARVR-Experiences-BIM-360-Forge-and-AI-2018

https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Immersive-Design-Transforming-Architecture-Virtual-Reality

https://www.asti.com/blog/harnessing-remarkable-power-robotics-ar-vr-and-ai-in-aec

https://www.autodesk.com/autodesk-university/extended-reality-xr-virtual-augmented-mixed
https://blog.yulio.com/blog-vr-in-architecture-client-relationships

https://www.realspace3d.com/blog/ar-vr-in-architectural-visualization

https://blog.yulio.com/improving-architectural-client-communication-with-vr-and-ar

https://www.archdaily.com/1004256/explore-the-future-of-architecture-with-augmented-reality

https://www.yulio.com/case-studies

https://architecture.mit.edu/computation

https://www.realspace3d.com/blog/ai-in-architectural-education-preparing-the-next-generation/

Fig. 1 - https://d135u4jtzauizi.cloudfront.net/ex-machina-thumb_916-mobile.jpg

Fig. 2 - desenho do autor

Fig. 3 - https://databasecamp.de/en/ml/semi-supervised-learning-en

Fig. 4 - https://files.tecnoblog.net/wp-content/uploads/2020/01/amazon-echo-lazar-gugleta-ub4cgggyf2o-unsplash.jpg

Fig. 5 - https://thispersondoesnotexist.com/

Fig. 6 - https://c02.purpledshub.com/uploads/sites/41/2022/10/GANSpreview-tb-f1fb529.jpg?w=1029&webp=1

Fig. 7 - imagem do autor e DALL-E

Fig. 8 - https://tefal.ee/media/cache/show_main/ca/b5/a8536e9223eea6ec9c62dfeed1be.jpg

Fig. 9 - https://images.prismic.io/turing/659d7aad531ac2845a274355_Deep_neural_network_25a8b6fa7f.webp?auto=format,compress

Fig. 10 - desenho do autor

Fig. 11 -https://hai.stanford.edu/news/ai-index-state-ai-13-charts

Fig. 12 - https://news.mit.edu/sites/default/files/styles/news_article__image_gallery/public/images/202002/MIT-New-Antibiotic-01_0.jpg?itok=5yXUoF19

Fig. 13 - https://assets.whichcar.com.au/image/upload/s--IqWZPjmh--/c_fill,f_auto,q_auto:good/t_p_4x3/v1/archive/whichcar/2020/02/03/-1/tesla.jpg-t.jpg

Fig. 14 - imagem do autor e DALL-E

Fig. 15 - https://i.ytimg.com/vi/VHWXJYHBJQ8/maxresdefault.jpg

Fig. 16 - https://help.openai.com/en/collections/3742473-chatgpt

Fig. 17 - https://theagrotechdaily.com/wp-content/uploads/2023/03/TAD1-2-750x402.png

Fig. 18 - imagem do autor

Fig. 19 - https://www.muckrock.com/news/archives/2018/jul/11/predpol-manual/

Fig. 20 - https://imageio.forbes.com/specials-images/imageserve/5fda6ffac8eaf4371750c490/A-U-2S-like-this-one-flew-a-simulated-reconnaissance-mission-on-Monday-using-an-AI/960x0.jpg?format=jpg&width=1440

Fig. 21 - https://ichef.bbci.co.uk/images/ic/1024xn/p01pqw85.jpg.webp

Fig. 22 - https://www.scan2cad.com/blog/cad/cad-evolved-since-1982/

Fig. 23 - https://pt.wikipedia.org/wiki/Walt_Disney_Concert_Hall

Fig. 24 - https://i0.wp.com/www.re-thinkingthefuture.com/wp-content/uploads/2024/01/3.-Beijing-National-Stadium-Beijing-cover_900_584.jpg?w=999

Fig. 25 - https://adsknews.autodesk.com/app/uploads/2018/04/Chair-Iterations-1024x648.jpg

Fig. 26 - https://qph.cf2.quoracdn.net/main-qimg-499889c32d842d4981694c6a63d3bb40

Fig. 27 - imagem do autor e DALL-E

Fig. 28 - https://www.akkio.com/post/cost-of-ai

Fig. 29 - Ponsoldt, J. (Realizador). (2017). The Circle [Filme]. STX Films. Imagem extraída de 01:00:04.

Fig. 30 - https://www.metalocus.es/sites/default/files/styles/mopis_news_gallery_first_deskop/public/metalocus_zha_morpheus_ivan-dupont_04.jpg?itok=7aEK-W3C

Fig. 31 - https://altair.com.es/images/ZHA_MacauWebImages_04.jpg

Fig. 32 - https://developer.nvidia.com/blog/archigan-generative-stack-apartment-building-design/

Fig. 33 - https://developer.nvidia.com/blog/archigan-generative-stack-apartment-building-design/

Fig. 34 - https://developer.nvidia.com/blog/archigan-generative-stack-apartment-building-design/

Fig. 35 - https://developer.nvidia.com/blog/archigan-generative-stack-apartment-building-design/

Fig. 36 - https://thirtybyforty.com/blog/using-ai-as-design-tool-in-my-architecture-practice

Fig. 37 - https://www.linkedin.com/pulse/autodesk-research-project-dreamcatcher-pushing-limits-bruce-jenkins

Fig. 38 - https://www.bricsys.com/bricscad/m?srsltid=AfmBOooa0nxJJ0tjLy1NmxwtGRx1QPJ564xqiAYmU4ympa3L4Jzp2UUh

Fig. 39 - https://www.bricsys.com/bricscad/m?srsltid=AfmBOooa0nxJJ0tjLy1NmxwtGRx1QPJ564xqiAYmU4ympa3L4Jzp2UUh

Fig. 40 - https://wisebim.app/

Fig. 41 - https://pt.linkedin.com/pulse/aeroporto-internacional-de-denver-dia-metodologia-leonardo

Fig. 42 - https://www.bimcommunity.com/experiences/load/85/denver-s-airport-expansion-primes-a-push-toward-bim

Fig. 43 - https://digital.aecom.com/static/afd0352b47f8b68bceb114e0ab6e73d6/56fdd/AR_Spatial_Visualiser_Image_08c4957d8d_7f98b68138.jpg

Fig. 44 - https://embed-ssl.wistia.com/deliveries/a1e96919abef6c2437e9fb9f1feaacf1c14ddb41.webp?image_crop_resized=1280x720

Fig. 45 - https://www.digitalbluefoam.com/

Fig. 46 - https://www.spaceflow.io/en

Fig. 47 - https://hmcarchitects.com/portfolio/healthcare/kaiser-permanente-fontana-medical-center/

Fig. 48 - https://www.trxl.co/content/images/size/w1200/2023/05/Autodesk-Forma_Compare-proposals-1.jpg

Fig. 49 - https://gbs.autodesk.com/gbs

Fig. 50 - https://www.archdaily.com/631986/sefaira-incorporates-customizable-graphics-into-daylight-visualization-software

Fig. 51 - https://www.thorntontomasetti.com/capability/t2d2

Fig. 52 - https://www.publico.pt/2019/09/25/fugas/fotogaleria/aeroporto-pequim-397385

Fig. 53 - https://mutante.pt/2017/09/exposicao-escher-lisboa/

Fig. 54 - https://www.unrealengine.com/en-US/uses/architecture

Fig. 55 - https://develop3d.com/aec/wp-content/uploads/2020/12/2020_12_2020_Chaos_neoscape-nyc-chaos-vantage-06.jpg

Fig. 56 - https://www.archdaily.com/catalog/us/products/33540/how-to-unlock-architectural-excellence-with-real-time-rendering-and-vr-enscape

Fig. 57 - https://www.redsharknews.com/hubfs/adobe%20illustrator%20generative%20recolor.jpg

Fig. 58 - https://baharmon.github.io/basics

Fig. 59 - https://creativecloud.adobe.com/cc/learn/indesign/web/recompose-image-catalogs-sensei?locale=en-ID

Fig. 60 - https://www.beautiful.ai/topic/presentation-templates

Fig. 61 - https://architecture.mit.edu/computation

Fig. 62 - imagem do autor, DALL-E e Adobe Firefly

Fig. 63 - imagens do autor, DALL-E e Adobe Firefly