

O potencial das *Engines Open Source* no desenvolvimento de jogos digitais com inteligência artificial

ALEX DANIEL DE LIMA

MATHEUS KHAIRALLAH DE ALMEIDA

PAULO ROBERTO TAZINAZO CÂNDIDO

Resumo

O mercado de jogos digitais configura-se como um dos setores mais dinâmicos e lucrativos da economia global contemporânea, impulsionado pela constante evolução tecnológica. Nesse cenário, as *engines open source* surgem como alternativas cada vez mais relevantes, oferecendo recursos robustos como técnicas de Inteligência Artificial. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial destas *engines* e sua importância para a democratização do acesso à criação de jogos. O desenvolvimento incluiu revisão bibliográfica de fontes acadêmicas, relatórios de mercado e documentos técnicos publicados entre 2005 e 2025. Foi pesquisado o panorama atual do mercado de jogos digitais, bem como a inserção de *engines open source* em empresas e projetos relevantes. Os resultados apontam que tais *engines* têm ampliado as possibilidades de inovação, reduzindo barreiras de entrada e fomentado o crescimento de comunidades colaborativas, ao mesmo tempo em que possibilitam a aplicação de técnicas avançadas de Inteligência Artificial no desenvolvimento de jogos. A pesquisa permite concluir que representam uma força estratégica para diversificação do mercado de jogos digitais, especialmente em um contexto de crescente valorização da criatividade e da inovação tecnológica.

Palavras-chave: Motores de código aberto; desenvolvimento de jogos; inteligência artificial; democratização tecnológica; inovação digital.

The Potential of Open Source Engines in the Development of Digital Games with Artificial Intelligence

Abstract

The digital games market is one of the most dynamic and lucrative sectors of the contemporary global economy, driven by constant technological evolution. In this scenario, open-source game engines are emerging as increasingly relevant alternatives, offering robust resources such as Artificial Intelligence techniques. The objective of this work was to evaluate the potential of these engines and their importance for democratizing access to game creation. The development included a literature review of academic sources, market reports, and technical documents published between 2005 and 2025. The current panorama of the digital games market was researched, as well as the insertion of open-source engines in relevant companies and projects. The results indicate that these engines have expanded the possibilities for innovation, reducing barriers to entry and fostering the growth of collaborative communities, while enabling the application of advanced Artificial Intelligence techniques in game development. The research concludes that they represent a strategic force for diversifying the digital games market, especially in a context of increasing appreciation for creativity and technological innovation.

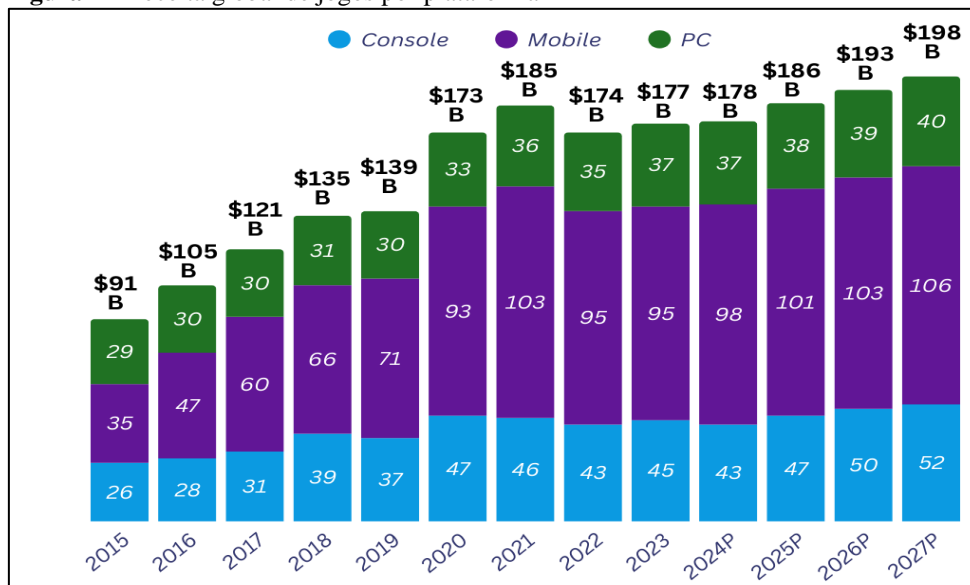
Keywords: *Open Source Engines; Game Development; Artificial Intelligence; Technological Democratization; Digital Innovation.*

1 INTRODUÇÃO

O mercado de jogos digitais consolidou-se como um dos setores mais expressivos e lucrativos da economia global nas últimas décadas. De acordo com Buijsman (2025), a indústria tende a movimentar aproximadamente US\$ 186 bilhões em 2025, com uma projeção de crescimento contínuo, atingindo US\$ 198 bilhões em 2027. O segmento *mobile* segue liderando o faturamento, representando mais da metade das receitas globais, seguido pelas plataformas de console e PC (Figura 1). Esse crescimento é impulsionado por fatores como a popularização

dos dispositivos móveis, a ampliação do acesso à internet e o desenvolvimento de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial, que têm diversificado os modelos de negócios e ampliado o alcance dos jogos digitais a diferentes públicos e regiões.

Figura 1 - Receita global de jogos por plataforma



Fonte: Buijsman, 2025.

Nesse contexto, as *engines open source* emergem como ferramentas fundamentais para democratizar o desenvolvimento de jogos digitais. Essas plataformas oferecem aos desenvolvedores, especialmente os independentes e iniciantes, acesso gratuito a recursos robustos para criação de jogos, promovendo uma maior inclusão e diversidade na indústria. Como destaca a PeerDH (2024), *engines open source* têm desempenhado um papel central ao permitir que criadores independentes superem barreiras técnicas e financeiras, gerando um ambiente mais acessível e equitativo. Além disso, segundo Finley (2022), o modelo colaborativo dessas ferramentas fomenta o compartilhamento de conhecimento e a construção coletiva de soluções, fazendo com que comunidades de desenvolvedores impulsionem continuamente a evolução dessas plataformas.

Paralelamente, a integração de técnicas de Inteligência Artificial (IA) nas *engines open source* tem ampliado as possibilidades criativas e técnicas no desenvolvimento de jogos. Segundo Smith (2022), o uso de recursos como redes neurais e sistemas de percepção baseados em IA estão permitindo que NPCs¹ se tornem mais desafiadores e adaptáveis, contribuindo para experiências de jogo mais realistas. Além disso, conforme argumenta Becker (2023), a combinação de IA com plataformas de código aberto reduz significativamente as barreiras técnicas, permitindo que desenvolvedores personalizem suas ferramentas e explorem soluções inovadoras de forma mais ágil e acessível.

Espera-se, com este artigo, contribuir para o entendimento sobre como a convergência entre código aberto e Inteligência Artificial tendem a moldar o futuro da indústria de jogos digitais.

¹ NPC (Non-Player Character, ou Personagem Não Jogador): refere-se a qualquer personagem em um jogo digital que não é controlado por um jogador humano. Esses agentes são governados pela inteligência artificial do jogo e possuem comportamentos pré-programados ou dinâmicos, interagindo com o jogador e o ambiente para enriquecer a narrativa, os desafios e a imersão da experiência lúdica.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Fundamentação metodológica

Este artigo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, do tipo revisão bibliográfica.

O levantamento de dados bibliográficos foi realizado no período de março a junho de 2025, utilizando bases de dados acadêmicas reconhecidas, como Google Scholar, SciELO (*Scientific Electronic Library Online*), IEEE Xplore, SpringerLink, além de fontes especializadas em tecnologia e desenvolvimento de jogos digitais, como *Gamasutra (Game Developer)*, *Unreal Engine Blog*, *Unity Blog*, *Open Source Initiative*, e relatórios de mercado da *Newzoo*.

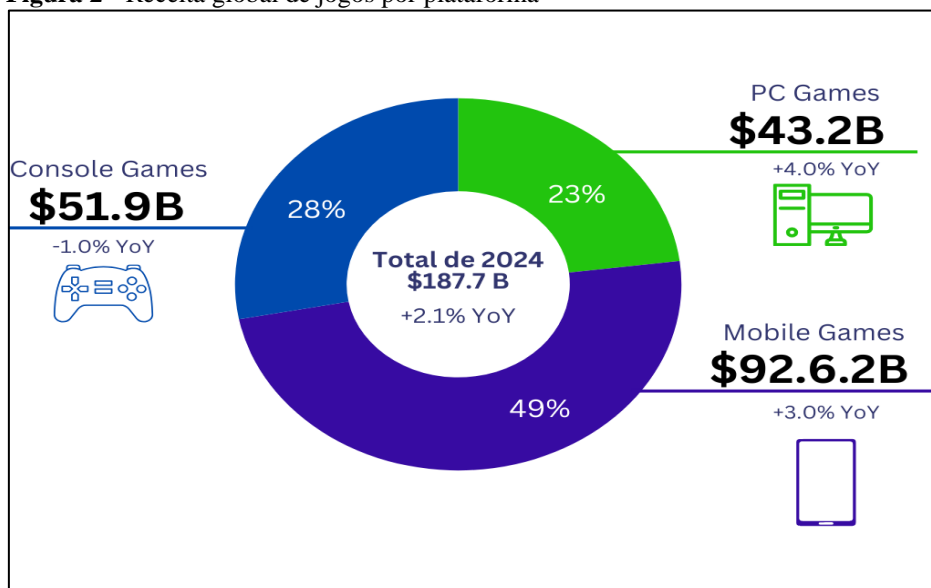
Os principais termos de busca utilizados foram: "*Open Source Game Engines*", "*Game Development with Open Source Tools*", "*Artificial Intelligence in Game Engines*", "*AI Techniques for Games*", "*Open Source and Game Democratization*", "*Engines Open Source para desenvolvimento de jogos*", "*IA em motores de jogos open source*", entre outros, em inglês e em português. O recorte temporal priorizou publicações dos últimos cinco anos (2020 a 2025), a fim de assegurar a contemporaneidade dos dados e a relevância tecnológica das informações coletadas.

Os critérios de inclusão adotados foram: publicações que abordassem diretamente o uso de *engines open source* no desenvolvimento de jogos, estudos e relatórios que relacionassem *engines open source* com a utilização de técnicas de Inteligência Artificial, e materiais que discutissem a democratização do acesso ao desenvolvimento de jogos digitais. Foram excluídas fontes sem comprovação científica, publicações excessivamente técnicas que não abordassem o impacto no cenário de democratização e artigos que não apresentassem relação direta com o tema proposto.

2.2 Panorama atual do mercado de jogos digitais

Conforme apresentado na Figura 2, em 2024, o mercado mundial de jogos eletrônicos atingiu uma receita estimada de US\$ 187,7 bilhões, representando um crescimento de 2,1% em relação ao ano anterior. Esse avanço foi impulsionado por uma base de jogadores que alcançou 3,42 bilhões de pessoas, um aumento de 4,5% em comparação com 2023. O segmento de jogos para dispositivos móveis manteve-se como o principal gerador de receita, respondendo por 49% do total, seguido pelos jogos para PC e consoles, que juntos representaram 51% do mercado.

Figura 2 - Receita global de jogos por plataforma



Fonte: Buijsman, 2024.

No cenário nacional, o Brasil destaca-se como o maior mercado de games da América Latina, com uma receita estimada de aproximadamente US\$ 2,6 bilhões em 2022, o que representa quase metade de todo o faturamento da região (Pacete, 2023). Esse desempenho evidencia a relevância do país no contexto latino-americano, tanto em termos econômicos quanto culturais. Além disso, o Brasil ocupa a 10ª posição entre os maiores mercados consumidores de jogos no mundo e figura como o 5º maior no segmento de jogos *mobile*, refletindo um crescimento consistente e expressivo nos últimos anos (Filho; Zambon, 2023).

2.3 A importância das *Open Source* no desenvolvimento de jogos digitais

Ao oferecerem plataformas gratuitas e acessíveis, as *open source* permitem que desenvolvedores independentes, educadores e entusiastas participem ativamente da indústria de jogos, sem as barreiras financeiras associadas a *softwares* proprietários.

Uma das principais vantagens das *open source* é a significativa redução de custos. De acordo com a Linux (2017), a adoção de *software* de código aberto pode proporcionar uma economia de 20% a 55% em comparação com soluções comerciais, considerando aspectos como aquisição, implantação, suporte e manutenção. Essa economia permite que desenvolvedores, especialmente os independentes e iniciantes, direcionem recursos financeiros para aprimorar a experiência do jogador, ao invés de investir em licenças de *software* proprietárias.

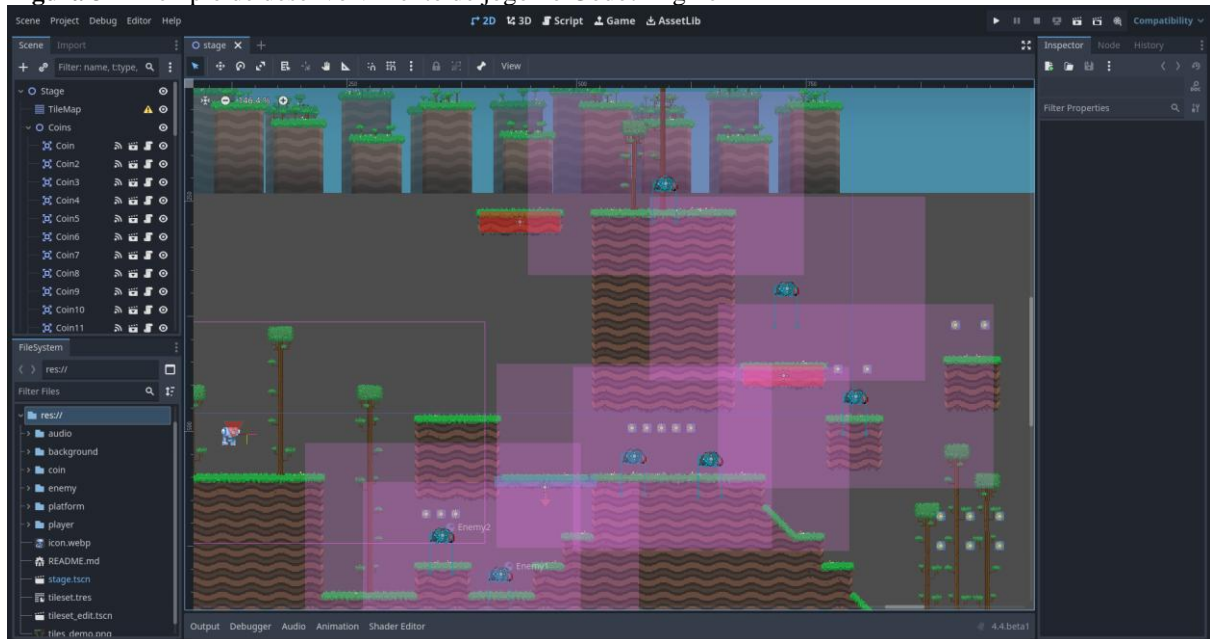
Além disso, o modelo de código aberto promove a inovação e a experimentação. Com uma ampla gama de recursos disponíveis, os desenvolvedores podem explorar novas ideias, testar diferentes abordagens e criar jogos únicos e inovadores.

O suporte da comunidade também é um ponto positivo das ferramentas de desenvolvimento de jogos digitais. Muitas delas possuem fóruns e comunidades *online* ativas, onde os desenvolvedores podem trocar experiências, tirar dúvidas e compartilhar conhecimento. Isso cria um ambiente colaborativo e estimulante, que ajuda no desenvolvimento de habilidades e na resolução de problemas.

Ferramentas como a *Godot Engine*, demonstrada na Figura 3, exemplificam claramente as vantagens do uso de plataformas de código aberto no desenvolvimento de jogos digitais. Trata-se de uma *engine* gratuita e *open source* que oferece suporte completo para a criação de

jogos em 2D e 3D, compatível com Windows, Linux, macOS, Android e HTML5 (Linietsky; Manzur, 2025). Sua interface visual, baseada no sistema de nós, facilita a organização dos elementos do jogo, sendo apontada como uma das mais acessíveis para desenvolvedores independentes e iniciantes (Alves, 2025). De acordo com a própria documentação oficial da engine, “o GDScript foi criado para otimizar a experiência do desenvolvedor, com sintaxe simples e integração nativa à *engine*, oferecendo desempenho e produtividade” (Linietsky; Manzur, 2025, p. 2). Assim, a *Godot* não apenas reduz barreiras técnicas, como também proporciona autonomia e controle total sobre os projetos desenvolvidos.

Figura 3 - Exemplo de desenvolvimento de jogo no Godot Engine



Fonte: Linietsky; Manzur, 2025.

2.4 Adoção e impacto das *Engines Open Source* no desenvolvimento de jogos digitais

A adoção de *engines* de código aberto no desenvolvimento de jogos digitais tem crescido significativamente nos últimos anos, refletindo uma tendência de democratização e inovação na indústria.

2.4.1 Empresas que utilizam *Engines Open Source*

Diversas empresas, tanto de pequeno quanto de grande porte, têm adotado *engines open source* ou apoiado iniciativas de código aberto em seus projetos de desenvolvimento de jogos digitais. A *Godot Engine* destaca-se como uma das principais plataformas utilizadas por estúdios independentes, devido à sua flexibilidade, constante evolução comunitária e à licença permissiva MIT², que permite uso comercial sem custos de licenciamento ou *royalties* (Linietsky; Manzur, 2025).

Entre as grandes corporações, a *Epic Games*, apesar de sua forte presença com a *Unreal Engine* (que possui modelo parcialmente *open source*), demonstrou apoio significativo ao ecossistema de código aberto ao liberar o acesso ao código-fonte completo da *Unreal Engine 4*

² A licença MIT é uma licença de software permissiva que permite o uso, cópia, modificação e distribuição do código-fonte com poucas restrições.

via *GitHub*³. Embora o acesso exija registro e aceite de termos específicos, esta prática promove colaboração e contribuições de desenvolvedores ao redor do mundo, estimulando a inovação tecnológica no setor (Unreal, 2024).

Além disso, empresas como a *Valve Corporation*, conhecida pela série *Half-Life* e pela plataforma *Steam*⁴, também incentivam práticas *open source* em suas tecnologias auxiliares, como a liberação do *Source SDK* para a comunidade de desenvolvedores independentes. Embora o motor *Source* original não seja integralmente *open source*, a disponibilização de ferramentas facilita a criação de jogos e modificações personalizadas (*mods*)⁵, fortalecendo o cenário independente (Valve, 2024).

Outro exemplo relevante é a *Amazon*, que disponibilizou gratuitamente o código-fonte do *Lumberyard Engine* (baseado na *CryEngine*), permitindo que desenvolvedores tivessem acesso a uma plataforma robusta sem custos de licenciamento. Posteriormente, o projeto evoluiu para o *Open 3D Engine* (O3DE), agora totalmente gerenciado pela *Open 3D Foundation*, em um modelo genuinamente *open source* (Amazon, 2024).

A disseminação de práticas *open source* por empresas de diferentes portes demonstra uma tendência de valorização da colaboração comunitária, da flexibilidade de desenvolvimento e da ampliação do acesso às tecnologias de ponta, fatores que contribuem para a democratização da indústria de jogos digitais.

2.4.2 Jogos desenvolvidos com *Engines Open Source*

Diversos jogos de destaque foram desenvolvidos utilizando *engines open source*, demonstrando a capacidade dessas ferramentas em atender a padrões de excelência técnica e artística no mercado contemporâneo de jogos digitais. Exemplo são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Jogos desenvolvidos com *engines open source*

Desenvolvedor	Jogo	Engine	Características
Consumer Softproducts	Cruelty Squad	Godot Engine	Jogo de tiros em primeira pessoa; artisticamente ambiciosos com estética deliberadamente grotesca.
(Linietsky; Manzur, 2021), (Couture, 2021)			
Team Salvato	Doki Doki Literature Club	Ren'Py (Python)	Novela psicológica que subverte expectativas ao mesclar narrativa aparentemente inocente com elementos de horror.
(Rothamel, 2008), (Salvato, 2017)			
Westwood Studios	Red Alert (Figura 4)	OpenRA	Recria clássicos da franquia “Command & Conquer”. Suporte a sistemas operacionais modernos e multiplayer online.
(Openra, 2017)			

³ GitHub é uma plataforma online para hospedagem e controle de versões de código-fonte, amplamente utilizada em projetos de software livre e colaborativo.

⁴ Steam é uma plataforma digital de distribuição de jogos eletrônicos desenvolvida pela empresa Valve Corporation. Lançada em 2003, permite aos usuários comprar, baixar, instalar e atualizar jogos, além de oferecer funcionalidades como comunidade online, sistema conquistas e gerenciamento de bibliotecas de jogos.

⁵ Mods são modificações criadas por usuários para alterar ou expandir o conteúdo de jogos digitais já existentes.

Figura 4 - Captura de imagem do jogo Red Alert feito no OpenRA



Fonte: OpenRa, 2017.

Exemplos como o da Figura 4 ilustram que, apesar dos desafios enfrentados por plataformas *open source* — como a ausência de suporte corporativo robusto em comparação com as *engines* proprietárias —, a qualidade dos jogos desenvolvidos demonstra que as *open source* são plenamente capazes de atender aos padrões técnicos e criativos exigidos pela indústria atual de jogos digitais.

2.4.3 Crescimento dos jogos criados com *Engines Open Source*

O uso de *engines open source* no desenvolvimento de jogos digitais tem crescido significativamente nos últimos anos, refletindo uma tendência de democratização e inovação na indústria. A *Godot Engine*, em particular, tem se destacado como uma das plataformas de código aberto mais adotadas, especialmente entre desenvolvedores independentes e pequenos estúdios.

Em 2024, de acordo com a VG Insights (2025), a *Godot Engine* foi responsável por 5% dos novos lançamentos na plataforma *Steam*, representando um aumento de 144% em relação a 2020. Esse crescimento é atribuído à sua arquitetura leve, licença permissiva (MIT) e atualizações significativas, como a otimização do *backend Vulkan*⁶ e o suporte aprimorado a C#⁷, que reduziram a diferença de desempenho em relação a engines proprietárias em projetos 2D e 3D de baixa complexidade (Vg Insights, 2025).

Além disso, a quantidade de jogos desenvolvidos com *Godot* e publicados na plataforma *Steam* tem aumentado significativamente. Segundo a Steam (2024), em 2024, foram lançados 781 jogos utilizando a *Godot Engine*, superando os 374 títulos de 2023. Essa tendência reflete

⁶ Vulkan é uma API (Interface de Programação de Aplicações) de baixo nível para gráficos 3D e computação, desenvolvida pelo Khronos Group. Ela atua como backend gráfico, oferecendo controle mais direto sobre a GPU, melhor desempenho e menor sobrecarga do que APIs mais tradicionais como OpenGL ou DirectX.

⁷ C# (pronuncia-se C-sharp) é uma linguagem de programação moderna, orientada a objetos e fortemente tipada, desenvolvida pela Microsoft como parte da plataforma .NET. Deriva das linguagens C e C++, incorporando diversos conceitos dessas tecnologias, ao mesmo tempo em que introduz mecanismos voltados à produtividade, segurança e robustez no desenvolvimento de software. É amplamente utilizada na criação de aplicações para desktop, web, dispositivos móveis e jogos digitais, sendo compatível com motores gráficos como Unity e Godot.

a crescente confiança da comunidade de desenvolvedores na capacidade da *engine* de atender às demandas do mercado.

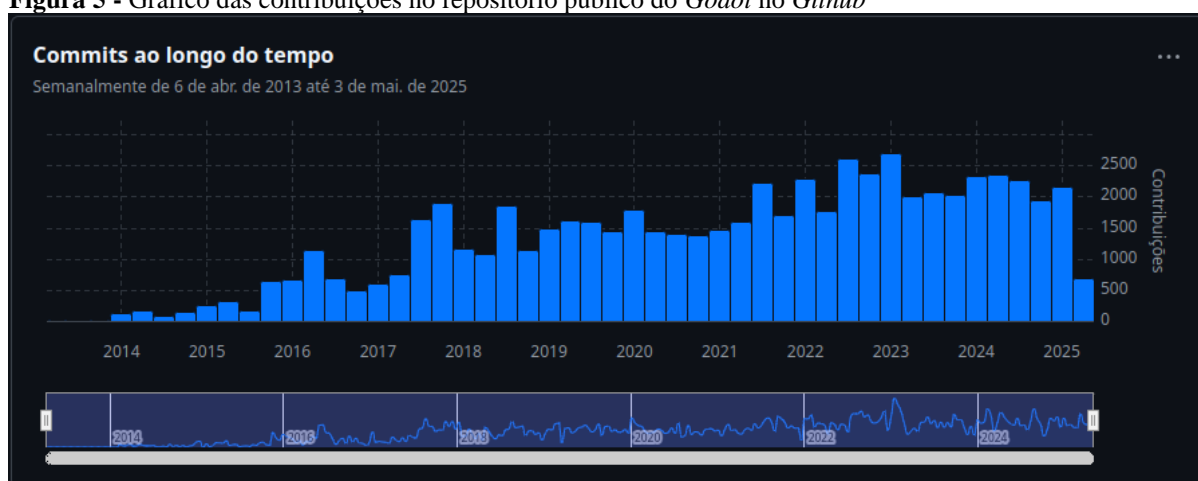
A popularidade da *Godot* também se evidenciou em eventos como a *Game Maker's Toolkit Jam 2024*, onde a *engine* foi utilizada em 37% dos projetos submetidos, um aumento significativo em relação aos 19% registrados em 2023 (GMTK, 2024). Esse crescimento é impulsionado por diversos fatores, incluindo a transparência no desenvolvimento, a ausência de taxas de licenciamento e a forte participação da comunidade, que contribui ativamente com melhorias e recursos adicionais. Essas características tornam as *engines open source*, como a *Godot*, uma opção cada vez mais atraente para desenvolvedores que buscam flexibilidade e controle total sobre seus projetos.

2.4.4 Participação da comunidade e evolução técnica

A comunidade desempenha um papel fundamental na evolução das *engines open source*, sendo responsável por propor melhorias, corrigir *bugs* e implementar novas funcionalidades. De acordo com a documentação oficial da *Godot*, “o projeto é mantido principalmente por membros da comunidade que colaboram voluntariamente com código, documentação e suporte” (Linietsky; Manzur, 2025). Essa dinâmica colaborativa garante que o desenvolvimento da *engine* esteja sempre alinhado com as demandas reais dos usuários.

No caso da *Godot*, esse processo é formalizado por meio das *Godot Improvement Proposals* (GIPs), um sistema de propostas públicas onde qualquer usuário pode sugerir, discutir e revisar mudanças na *engine*. Conforme ilustrado na Figura 5, observa-se uma linha do tempo que evidencia a participação ativa da comunidade no desenvolvimento do repositório oficial do *Godot*. No repositório oficial do *Godot* consta: “este repositório serve como o centro para propor, discutir e revisar novos recursos e aprimoramentos na *Godot Engine*” (Locurcio, 2024). Esse modelo permite que a evolução técnica ocorra de forma transparente, orientada por consenso e necessidades da comunidade global de desenvolvedores.

Figura 5 - Gráfico das contribuições no repositório público do *Godot* no *Github*



Fonte: Locurcio, 2024.

Além da programação, a comunidade tem participação ativa em outras frentes essenciais, como a produção de documentação, criação de tutoriais e o acolhimento de novos usuários. Segundo o guia para contribuidores da própria *engine*, a *Godot* busca “envolver tanto desenvolvedores experientes quanto iniciantes em um ecossistema aberto, onde o conhecimento é compartilhado livremente” (Linietsky; Manzur, 2025). Isso tem fortalecido o ambiente de aprendizagem colaborativo e estimulado a adoção da *engine* por públicos diversos.

Um reflexo direto dessa cultura participativa é o surgimento de projetos derivados, como a *Redot Engine* — um *fork*⁸ da *Godot* criado com o objetivo de tornar o desenvolvimento ainda mais transparente e centrado na comunidade. Como afirmado na página oficial do projeto, “*Redot* é um *fork* completamente gratuito e de código aberto da *Godot* sob a licença MIT muito permissiva. Sem amarras, sem *royalties*, nada. Os jogos dos usuários são deles, até a última linha de código da *engine*” (Albany, 2025).

Essa participação ativa da comunidade não apenas acelera o progresso técnico das *engines open source*, como também fortalece a democratização do desenvolvimento de jogos digitais, permitindo que desenvolvedores de diferentes contextos colaborem e se beneficiem das inovações coletivas.

2.5 Técnicas de inteligência artificial nas *Engines Open Source* para jogos digitais

A integração de técnicas de Inteligência Artificial (IA) em *engines* de código aberto tem desempenhado um papel fundamental na evolução dos jogos digitais, proporcionando comportamentos mais realistas e adaptativos para personagens não jogáveis (NPCs) e ambientes dinâmicos. Entre as principais técnicas implementadas nessas *engines* destacam-se as árvores de decisão, árvores de comportamento e redes neurais.

2.5.1 Árvores de decisão e árvores de comportamento

As árvores de decisão e as árvores de comportamento são estruturas amplamente utilizadas no desenvolvimento de inteligência artificial (IA) para jogos digitais, permitindo a simulação de comportamentos complexos por parte de agentes não controlados pelo jogador (NPCs). Como explica Rabin (2015), as árvores de decisão funcionam como diagramas que guiam a execução de ações com base em condições específicas, sendo eficazes para comportamentos previsíveis e reativos, como patrulhar uma área ou perseguir o jogador conforme sua posição ou nível de ameaça.

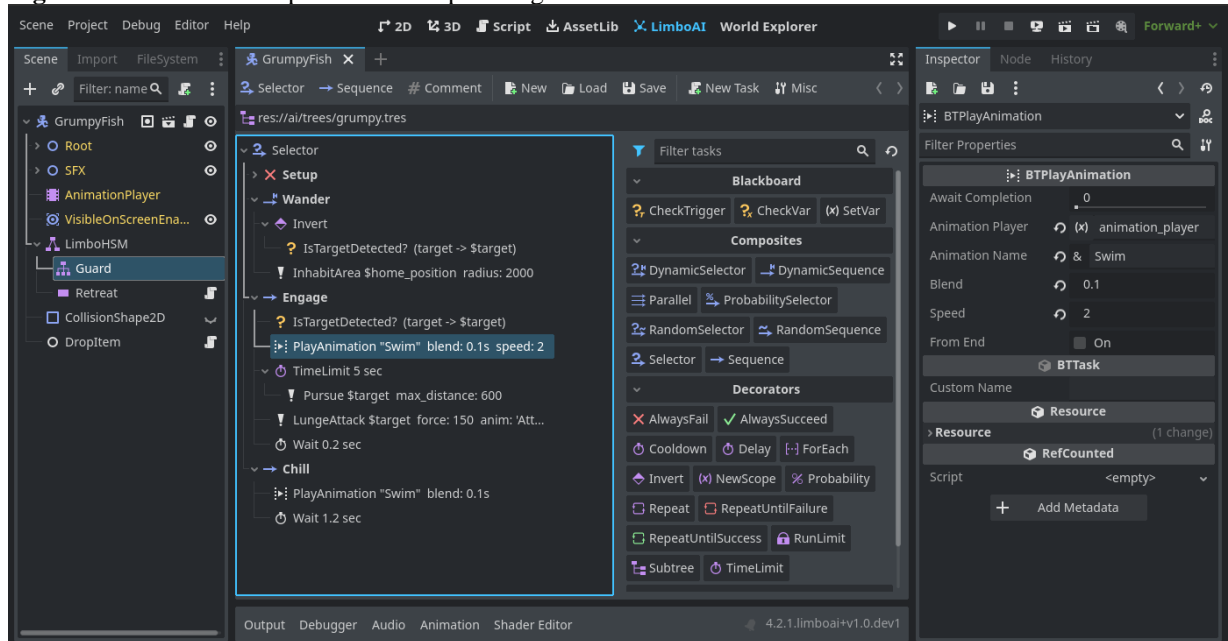
Por sua vez, as árvores de comportamento são uma evolução dessa lógica, oferecendo modularidade e controle mais refinado sobre os comportamentos. Elas utilizam nós hierárquicos para combinar diferentes ações e estados, resultando em decisões mais adaptativas. Segundo Isla (2005), esse modelo “permite a construção de agentes mais realistas e flexíveis, com manutenção simplificada do código”, sendo amplamente adotado em jogos que requerem IA mais refinada.

Na *Godot Engine*, essas estruturas podem ser implementadas por meio de *scripts* em *GScript*, com suporte a organização hierárquica de comportamentos por meio de classes e nós reutilizáveis. Além disso, a comunidade da *engine* tem criado ferramentas específicas que ampliam essas funcionalidades. Um exemplo é o *plugin LimboAI*, apresentado na Figura 6, que, segundo sua documentação, é “um módulo C++⁹ de código aberto para *Godot 4* que combina árvores de comportamento e máquinas de estado finito, com editor visual, depurador e compatibilidade com *GScript*” (Limboai, 2023).

⁸ Fork: no contexto de desenvolvimento de software open source, refere-se à criação de um novo projeto a partir da cópia do código-fonte de um projeto já existente. O fork permite que uma comunidade ou desenvolvedor independente continue a evolução do software de forma independente, muitas vezes para experimentar novas funcionalidades, corrigir limitações ou seguir uma direção diferente da do projeto original.

⁹ C++ é uma linguagem de programação de propósito geral, desenvolvida por Bjarne Stroustrup na década de 1980 como uma extensão da linguagem C. Caracteriza-se por oferecer suporte à programação orientada a objetos, programação genérica e recursos de baixo nível, sendo amplamente empregada em sistemas que exigem alto desempenho e controle preciso de recursos computacionais.

Figura 6 - Árvore de comportamento de personagem do LimboAI no Godot



Fonte: LimboaiAI, 2023.

Outra ferramenta de destaque é o *Beehave*, uma extensão que simplifica o uso de árvores de comportamento na *Godot* por meio de uma interface gráfica. Como descrito na página oficial, “*Beehave* é uma poderosa ferramenta que permite criar sistemas de IA robustos em *Godot Engine* usando estruturas de árvore com estados como SUCCESS, FAILURE ou RUNNING” (Beehave, 2024). Isso facilita tanto a prototipagem quanto a manutenção da lógica dos NPCs em projetos mais complexos.

Essas soluções demonstram como *engines open source* como a *Godot* vêm evoluindo para oferecer suporte técnico de alto nível ao desenvolvimento de inteligência artificial em jogos, contribuindo para a democratização do acesso a sistemas avançados de IA.

2.5.2 Redes neurais e aprendizado por reforço

As redes neurais artificiais têm se tornado essenciais no avanço da inteligência artificial (IA) aplicada aos jogos digitais, pois permitem que agentes virtuais aprendam e se adaptem a ambientes complexos. Essas redes, inspiradas no funcionamento do cérebro humano, são compostas por múltiplas camadas de unidades interconectadas (neurônios artificiais) capazes de identificar padrões em grandes volumes de dados. Segundo Beeching *et al.* (2021), as redes neurais oferecem uma estrutura poderosa para criar agentes autônomos com capacidade de generalização, aprendizado contínuo e tomada de decisões baseada em dados históricos e sensoriais.

Uma das técnicas mais eficazes no treinamento desses agentes é o aprendizado por reforço (*Reinforcement Learning* - RL), que possibilita o aprendizado por tentativa e erro, por meio da interação direta com o ambiente. Como define Sutton e Barto (2018), o RL consiste em um agente que realiza ações, recebe recompensas ou punições e, com base nisso, aprende estratégias ideais para atingir objetivos. Em jogos digitais, essa abordagem tem sido amplamente utilizada em tarefas como navegação, combate, exploração e adaptação de comportamento em tempo real.

No contexto das *engines open source*, a *Godot Engine* tem se destacado por oferecer suporte a essas tecnologias por meio do pacote *Godot RL Agents*, uma biblioteca desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Lyon e da Universidade de Lorraine. Segundo os autores

do projeto, "o *Godot RL Agents* permite a integração de ambientes de simulação interativos com algoritmos modernos de RL escritos em Python" (Beeching *et al.*, 2021, p. 3). A biblioteca conecta a *Godot* a *frameworks* populares como *Stable Baselines3*, *CleanRL*, *Ray RLlib* e *Sample Factory*¹⁰, possibilitando a criação de agentes inteligentes em ambientes 2D e 3D.

A integração com o padrão OpenAI Gym¹¹ também facilita a compatibilidade com diversas ferramentas de treinamento e avaliação. Além disso, o *Godot RL Agents* oferece suporte às arquiteturas com memória, como LSTM¹² e atenção, ampliando a capacidade dos agentes de lidar com tarefas sequenciais e cenários complexos. A biblioteca ainda inclui sensores dedicados à percepção ambiental, como detecção de colisões, visão e distância — fundamentais para IA aplicada a jogos.

Dois exemplos notáveis da biblioteca são os ambientes "FlyBy" e "Jumper", onde os agentes são treinados para navegar entre pontos em espaço tridimensional ou pular entre plataformas com precisão. Esses casos demonstram a aplicabilidade prática da ferramenta para desenvolver comportamentos sofisticados, mesmo em projetos independentes e de código aberto.

Com isso, o uso de redes neurais e aprendizado por reforço na *Godot Engine* representa um avanço significativo na democratização do acesso a tecnologias de IA tornando possível que desenvolvedores independentes experimentem técnicas de ponta que antes eram restritas a grandes estúdios e instituições de pesquisa.

2.5.3 Aplicações práticas e benefícios

A integração de técnicas de inteligência artificial (IA) em *engines open source* tem impulsionado avanços significativos no desenvolvimento de jogos digitais, proporcionando benefícios que abrangem desde a melhoria da experiência do jogador até a otimização dos processos de desenvolvimento.

Uma aplicação notável da IA é a criação de personagens não jogáveis (NPCs) mais realistas e inteligentes. Com algoritmos avançados de aprendizado de máquina, os NPCs podem aprender com as ações dos jogadores e adaptar suas estratégias de jogo, resultando em desafios mais dinâmicos e envolventes. Segundo Premoli (2024), técnicas como árvores de comportamento e redes neurais permitem que NPCs reajam de forma mais autêntica às interações dos jogadores, enriquecendo a narrativa e a imersão nos jogos.

Além disso, a IA possibilita a geração procedural de conteúdo, como ambientes e cenários, de forma automática e aleatória. Essa capacidade torna cada partida única, aumentando a imersão e o desafio para os jogadores. De acordo com So (2022), a utilização de algoritmos genéticos e programação heurística na geração procedural permite a criação de mundos virtuais complexos e variados, otimizando o tempo de desenvolvimento e oferecendo experiências diversificadas aos jogadores.

A IA também contribui para a personalização da experiência do usuário, ajustando os níveis de dificuldade com base no desempenho do jogador. Essa dificuldade adaptativa garante que o jogador se mantenha engajado e motivado ao longo do jogo. Conforme Silva (2015), mecanismos de ajuste dinâmico de dificuldade (DDA) adaptam a IA do jogo às habilidades do jogador, proporcionando desafios equilibrados e evitando frustrações ou tédio durante a partida.

¹⁰ São bibliotecas de código aberto em Python voltadas ao desenvolvimento de agentes de aprendizado por reforço, oferecendo diferentes algoritmos e estruturas de treinamento.

¹¹ OpenAI Gym é uma biblioteca de código aberto que fornece ambientes padrão para desenvolvimento e teste de algoritmos de aprendizado por reforço.

¹² LSTM é um tipo de rede neural recorrente capaz de aprender dependências de longo prazo, amplamente usada em tarefas sequenciais como previsão de séries temporais e processamento de linguagem natural.

No contexto das *engines open source*, o acesso ao código-fonte permite que desenvolvedores personalizem e otimizem os algoritmos de IA conforme as necessidades específicas de seus projetos. Essa flexibilidade promove a inovação e a experimentação, permitindo a criação de mecânicas de jogo únicas e adaptadas aos objetivos do desenvolvedor. Segundo Beeching *et al.* (2021), a integração de bibliotecas de aprendizado por reforço em *engines* como a *Godot* possibilita a implementação de agentes inteligentes em ambientes 2D e 3D, ampliando as possibilidades de desenvolvimento de IA em jogos digitais.

Em suma, a aplicação de técnicas de IA em *engines open source* no desenvolvimento de jogos digitais oferece uma série de benefícios que contribuem para a criação de experiências de jogo mais imersivas, desafiadoras e personalizadas, além de promover a inovação e a experimentação por parte dos desenvolvedores.

2.5.4 Desenvolvimento do protótipo de jogo e percepções sobre a *Godot Engine*

Com o objetivo de aplicar de forma prática os conceitos estudados sobre o uso de Inteligência Artificial em *engines open source*, foi desenvolvido pelos autores deste artigo, um protótipo simples utilizando a *Godot Engine 4.5*. O jogo, intitulado *AI Arena*, teve como propósito demonstrar o comportamento de diferentes tipos de IA em um ambiente controlado, utilizando recursos nativos da *Godot*.

O processo de desenvolvimento foi dividido em quatro etapas principais. A primeira consistiu no planejamento conceitual, buscando criar algo simples que evidenciasse as diferenças e vantagens de cada tipo de IA implementada. Na segunda etapa, foi elaborado o design das inteligências artificiais, definindo como reagiriam à presença do jogador e como ocorreriam as interações entre eles. A terceira etapa envolveu o desenvolvimento prático na *Godot*, aplicando os conceitos definidos na fase anterior e implementando os comportamentos por meio de *scripts* em *GScript*. Por fim, foi realizada a fase de testes e refinamento, na qual se observou o comportamento das IAs em diferentes situações, corrigindo falhas, casos extremos e otimizando as respostas dos agentes virtuais.

Entre os aspectos positivos da ferramenta, destacou-se o fato de a *Godot* já incluir um ambiente de desenvolvimento completo, com editor de código, editor de fases, sistema de interface gráfica e gerenciamento de nós e cenas. A linguagem *GScript*, semelhante ao *Python*, mostrou-se de fácil aprendizado, mas com performance superior devido à compilação própria, o que proporcionou um fluxo de desenvolvimento ágil e eficiente. O sistema baseado em nós também contribuiu para a modularidade e reutilização de componentes dentro do projeto.

Em relação às limitações observadas, notou-se que o sistema de *pathfinding* da *Godot*, embora bastante personalizável, oferece apenas o algoritmo A* por padrão. A inclusão de outros métodos, como *Depth-First Search* ou *Dijkstra*¹³, poderia ampliar as possibilidades de aplicação em diferentes cenários. Outra limitação percebida foi a ausência de um sistema nativo de árvores de decisão com pesos, o que exigiu a criação de um modelo próprio durante o desenvolvimento do projeto.

No que se refere à implementação das IAs, as primeiras versões foram relativamente simples, com inimigos que patrulhavam áreas fixas e perseguiram o jogador ao detectá-lo. Posteriormente, foi adicionado um comportamento de recuo estratégico baseado em árvores de decisão. Já os inimigos com redes neurais e aprendizado por reforço exigiram maior

¹³ Depth-First Search (DFS ou Busca em Profundidade) e Algoritmo de Dijkstra são algoritmos clássicos da Ciência da Computação usados em problemas de caminho e busca em grafos. O DFS explora o máximo possível em um ramo antes de retroceder, sendo útil para verificar conectividade ou existência de um caminho. Já o algoritmo de Dijkstra encontra o caminho de menor custo entre um nó inicial e todos os outros em um grafo com pesos não negativos, sendo amplamente aplicado em sistemas de navegação e *pathfinding* em jogos.

complexidade, incluindo ajustes e testes contínuos para calibrar os pesos das decisões. Embora o escopo do projeto não tenha permitido a implementação de aprendizado em tempo real, foram utilizados dados pré-computados de vinte rodadas para simular o comportamento adaptativo esperado dessas IAs.

De modo geral, a experiência com a *Godot Engine* foi positiva. O fato de ser *open source* e contar com uma comunidade ativa facilitou o processo de aprendizado e a resolução de dúvidas técnicas. As discussões em fóruns e grupos de desenvolvedores mostraram-se essenciais para identificar soluções e compreender limitações que poderão ser aprimoradas em futuras versões da *engine*.

O código-fonte do projeto e um vídeo demonstrativo do jogo estão disponíveis no repositório GitHub: <https://github.com/ZaikoXander/ai-arena>.

2.6 Análise crítica dos achados

A análise desenvolvida ao longo deste trabalho revelou que as *engines open source*, como a *Godot*, têm desempenhado um papel estratégico na democratização do desenvolvimento de jogos digitais, com crescente participação no mercado. Reforçando o argumento de que as ferramentas *open source* estão promovendo a descentralização do mercado e tornando o desenvolvimento acessível a um público mais amplo, que antes era limitado por barreiras técnicas e financeiras.

Técnicas de Inteligência Artificial estão elevando o nível de qualidade dos jogos, potencializando o surgimento de experiências de jogo mais imersivas e conteúdo personalizado para cada jogador.

Há desafios importantes para as *engines open source* que ainda enfrentam limitações em comparação com plataformas proprietárias, especialmente no que se refere à estabilidade, suporte técnico e funcionalidades avançadas para grandes produções.

Outro ponto crítico é a formação de profissionais capacitados para utilizar IA em *engines open source*. De acordo com relatório da Unesco (2021), apenas uma fração dos cursos técnicos voltados ao desenvolvimento de jogos oferece disciplinas que abordam IA aplicada. Isso indica uma lacuna educacional que pode limitar o aproveitamento pleno dessas tecnologias por novos desenvolvedores.

Além disso, a grande participação comunitária nas *engines open source*, embora positiva, pode gerar desafios em termos de padronização de qualidade e governança de projetos. A descentralização exige mecanismos de curadoria mais eficientes para evitar inconsistências técnicas e garantir a coesão entre as contribuições.

Constata-se que o futuro das *engines open source* e da aplicação de IA nos jogos digitais está diretamente ligado não apenas à evolução tecnológica, mas também ao fortalecimento das comunidades, à qualificação educacional e ao desenvolvimento de políticas públicas e privadas que incentivem a inovação aberta.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo analisar o potencial das *engines open source* no desenvolvimento de jogos digitais, com ênfase na integração de técnicas de Inteligência Artificial (IA) e seus impactos na democratização do acesso à criação de jogos. A partir de uma revisão bibliográfica abrangente, constatou-se que as ferramentas de código aberto vêm desempenhando um papel fundamental na transformação do cenário de desenvolvimento de jogos, ampliando oportunidades para desenvolvedores independentes, pequenos estúdios e novos entrantes no mercado.

A análise evidenciou que *engines* como a *Godot*, entre outras iniciativas de *software* livre, têm proporcionado acesso a tecnologias avançadas sem as barreiras tradicionais de custo e licenciamento. A participação ativa das comunidades de desenvolvedores contribui para a constante evolução técnica dessas plataformas, permitindo a rápida incorporação de inovações como redes neurais, aprendizado por reforço e árvores de comportamento. Essas tecnologias, por sua vez, enriquecem as experiências de jogo, tornam o processo de desenvolvimento mais eficiente e fomentam a criatividade e a experimentação.

Apesar dos avanços identificados, também foram observados desafios significativos, como a necessidade de maior estabilidade, suporte técnico especializado e estratégias eficazes de formação de novos profissionais capazes de explorar plenamente os recursos oferecidos por essas plataformas. Além disso, a ausência de padronização e governança consistente pode comprometer a qualidade técnica de projetos desenvolvidos de forma descentralizada.

Diante desse cenário, é possível considerar que o fortalecimento das *engines open source* e sua associação com técnicas de IA representam uma tendência promissora e transformadora na indústria de jogos digitais. A democratização do desenvolvimento impulsiona a diversidade criativa e promove um ambiente mais inclusivo e inovador, essencial para o futuro do setor em uma sociedade cada vez mais orientada pela tecnologia e pela colaboração aberta.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas explorem mais profundamente temas como a interoperabilidade entre diferentes *engines* e *frameworks* de IA, bem como abordagens educacionais para popularizar o ensino de desenvolvimento de jogos com inteligência artificial em ambientes formais de aprendizagem. Investigações nesse sentido podem contribuir para superar as limitações atuais e ampliar ainda mais o potencial transformador dessas tecnologias no mercado global de jogos.

REFERÊNCIAS

ALBANY, George. **Redot Engine - 2D and 3D cross-platform game engine**. GitHub, 2025. Disponível em: <https://github.com/Redot-Engine/redot-engine>. Acesso em: 16 maio 2025.

ALVES, Stanley. **Godot Engine: A alternativa Open Source para criar jogos**. InGames, 2025. Disponível em: <https://ingames.com.br/godot-engine-a-alternativa-open-source-para-criar-jogos/>. Acesso em: 15 maio 2025.

AMAZON. **Amazon Lumberyard**. Amazon AWS, 2024. Disponível em: <https://aws.amazon.com/pt/lumberyard/>. Acesso em: 16 maio 2025.

BECKER, Bernd. **Why Open Source Game Engines are important**. SentBack, 2023. Disponível em: <https://sentback.org/why-open-source-game-engines-are-important/>. Acesso em: 15 maio 2025.

BEECHING, Edward et al. **Godot Reinforcement Learning Agents**. arXiv, 2021. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2112.03636>. Acesso em: 19 maio 2025.

BEEHAVE. **Beehave - behavior tree AI for Godot Engine**. Godot Engine, 2024. Disponível em: <https://godotengine.org/asset-library/asset/1349>. Acesso em: 19 maio 2025.

BUIJSMAN, Michiel. **Global games market outlook: key growth drivers and challenges for 2025-2027**. Newzoo, 2025. Disponível em: <https://newzoo.com/resources/blog/global-games-market-update-q1-2025>. Acesso em: 15 maio 2025.

BUIJSMAN, Michiel. **The global games market will generate \$187.7 billion in 2024.** Newzoo, 2024. Disponível em: <https://newzoo.com/resources/blog/global-games-market-revenue-estimates-and-forecasts-in-2024>. Acesso em: 15 maio 2025.

COUTURE, Joel. **Examining the amoral world of big business in Cruelty Squad.** Game Developer, 2022. Disponível em: <https://www.gamedeveloper.com/design/examining-amoral-world-big-business-cruelty-squad>. Acesso em: 16 maio 2025.

DH, Peer. **The Role of Open Source Game Engines in democratizing Indie Game Development.** Peerdh, 2024. Disponível em: <https://peerdh.com/blogs/programming-insights/the-role-of-open-source-game-engines-in-democratizing-indie-game-development-1>. Acesso em: 15 maio 2025.

FILHO, Márcio; ZAMBON, Pedro. **Setor de games no Brasil movimentou R\$ 13 bilhões por ano, mas ainda sem uma política nacional adequada.** CartaCapital, 2023. Disponível em: <https://www.cartacapital.com.br/tecnologia/setor-de-games-no-brasil-movimentou-r-13-bilhoes-por-ano-mas-ainda-sem-uma-politica-nacional-adequada/>. Acesso em: 15 maio 2025.

FINLEY, Klint. **Open source is democratizing video game development.** GitHub, 2022. Disponível em: <https://github.com/readme/featured/open-source-democratizing-video-games>. Acesso em: 15 maio 2025.

GMTK. **Organizers of the GMTK Game Jam: Over the year, the share of Unity games declined sharply, while the share of Godot games increased.** App2top, 2024. Disponível em: <https://app2top.com/news/organizers-of-the-gmtk-game-jam-over-the-year-the-share-of-unity-games-declined-sharply-while-the-share-of-godot-games-increased-270588.html>. Acesso em: 16 maio 2025.

LIMBOAI. **LimboAI documentation.** LinboAI, 2023. Disponível em: <https://limboai.readthedocs.io/en/stable/>. Acesso em: 19 maio 2025.

LINIETSKY, Juan; MANZUR, Ariel. **Cruelty squad.** Godot Engine, 2021. Disponível em: <https://godotengine.org/showcase/cruelty-squad/>. Acesso em: 16 maio 2025.

LINIETSKY, Juan; MANZUR, Ariel. **Godot Engine 4.4 documentation.** Godot Docs, 2025. Disponível em: <https://docs.godotengine.org/en/stable/>. Acesso em: 15 maio 2025.

LINIETSKY, Juan; MANZUR, Ariel. **License.** Godot Engine, 2025. Disponível em: <https://godotengine.org/license/>. Acesso em: 15 maio 2025.

LINUX. **6 Reasons why open source software lowers development costs.** Linux Foundation, 2017. Disponível em: <https://www.linuxfoundation.org/blog/blog/6-reasons-why-open-source-software-lowers-development-costs>. Acesso em: 15 maio 2025.

LOCURCIO, Hugo. **Godot improvement proposals.** GitHub, 2024. Disponível em: <https://github.com/godotengine/godot-proposals>. Acesso em: 16 maio 2025.

OPENRA. **What is OpenRA?** OpenRA, 2017. Disponível em: <https://www.openra.net/about/>. Acesso em: 16 maio 2025.

PACETE. **O que fez o Brasil crescer mais que EUA e Japão nos games em 2023?** Forbes, 2023. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/12/o-que-fez-o-brasil-crescer-mais-que-eua-japao-e-coreia-nos-games-em-2023/>. Acesso em: 15 maio 2025.

PREMOLI, Breno De Oliveira; SILVA, Victor Amaral; CAVICHIOLLI, Adriane. **Estudo sobre o comportamento de npcs e inimigos em jogos digitais utilizando a inteligência artificial**. Centro Paula Souza, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/23495>. Acesso em: 19 maio 2025.

RABIN, Steve. **Game AI Pro 2: Collected Wisdom of game AI professionals**. 1. ed. New York: CRC Press, 2015.

ROTHAMEL, Tom. **The Ren'Py visual novel engine**. Ren'Py, 2008. Disponível em: <https://www.renpy.org/>. Acesso em: 16 maio 2025.

SALVATO. **Doki Doki literature club**. DDLC, 2017. Disponível em: <https://ddlc.moe/>. Acesso em: 16 maio 2025.

SILVA, Mirna Paula. **Inteligência artificial adaptativa para ajuste dinâmico de dificuldade em jogos digitais**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/ESBF-AARQWM>. Acesso em: 19 maio 2025.

SMITH, Matthew. **Machine learning could create the perfect game bosses**. Wired, 2022. Disponível em: <https://www.wired.com/story/machine-learning-ai-game-development-bosses-enemies/>. Acesso em: 15 maio 2025.

SO, Arthur Riuiti Pinheiro. **Geração procedural de conteúdos em jogos digitais utilizando metaheurísticas**. Repositório Institucional da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/33090>. Acesso em: 19 maio 2025.

STEAM. **Steam game releases summary for Godot Engine**. Steam DB, 2024. Disponível em: <https://steamdb.info/stats/releases/?tech=Engine.Godot>. Acesso em: 16 maio 2025.

SUTTON, Richard S.; BARTO, Andrew G. **Reinforcement Learning: an introduction**. 2. ed. Cambridge: Bradford Books, 2018.

UNESCO. **Artificial intelligence and education: guidance for policy-makers**. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2021. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>. Acesso em: 20 maio 2025.

UNREAL. **Accessing Unreal engine source code on GitHub**. Unreal Engine, 2024. Disponível em: <https://www.unrealengine.com/en-US/ue-on-github/>. Acesso em: 16 maio 2025.

VALVE. **Source SDK docs**. Valve Corporation, 2024. Disponível em: https://developer.valvesoftware.com/wiki/Source_SDK_Docs. Acesso em: 16 maio 2025.

VG INSIGHTS. **Analytics: only 13% of 2024 releases on Steam are made on proprietary engines**. App2top, 2025. Disponível em: <https://app2top.com/news/analytics-only-13-of->

[2024-releases-on-steam-are-made-on-proprietary-engines-277552.html](#). Acesso em: 16 maio 2025.