

Uma sociedade de *companions* inteligentes na metaversidade para incrementar a aprendizagem ao longo da vida

Germana Nóbrega¹, André Pains¹, Fernando Cruz²

¹Depto. de Ciencia da Computação - Instituto de Ciências Exatas
Universidade de Brasília (UnB)
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte - 70.910-900, Brasília - DF

²Faculdade UnB Gama (FGA) – Universidade de Brasília (UnB)
Campus Gama, Setor Leste – 72.444-240 – Gama – DF

gmnobrega@unb.br, andre.pains@aluno.unb.br, fwcruz@unb.br

Abstract. *The impacts of the popularization of Artificial Intelligence (AI) have been the subject of social debates, promoted by the mainstream media or academia. Aiming to provide under-graduating students with personalized and specific support throughout their education, we propose to explore technologies capable of identifying possibilities and offering information that assists in decision-making during their academic life. The proposed solution, in addition to the backend, regarding the design of an artificial companion, also includes a frontend in a metaverse environment, where a learner can have an immersive experience through the various digital twins of physical spaces on campuses.*

Resumo. *Impactos da popularização da Inteligência Artificial (IA) vêm sendo tema de debates sociais, promovidos pela grande mídia ou pela academia. Buscando prover a estudantes universitária/os um acompanhamento personalizado e com especificidade ao longo de sua formação, propõe-se explorar tecnologias capazes de identificar possibilidades e ofertar informações que auxiliem em tomadas de decisão durante a vida acadêmica. A solução proposta, além de backend, relativamente à concepção de companion artificial, prevê ainda frontend em ambiente metaverso, onde uma pessoa-aprendiz poderá ter uma experiência de imersão pelos vários gêmeos digitais de espaços físicos dos campi.*

1. Introdução

A popularização da Inteligência Artificial (IA) nos anos recentes tem sido tema de amplos debates sociais, incluindo iniciativas da grande mídia¹ e da academia – na ótica das ciências do artificial², das ciências humanas [Yu 2023], entre outras. Tais reflexões se fazem cada vez mais necessárias dada a amplitude sem precedentes que vem sendo alcançada por aplicações dessas chamadas “IA’s”, nas mais variadas áreas do conhecimento, e.g. nas artes³, ou aplicações de propósito geral, a exemplo de Processadores de Linguagem Natural (PLN) provedores de informação como o ChatGPT [Fuchs 2023].

¹<https://www.youtube.com/watch?v=tcmntVEQr2o>

²<https://www.educompbrasil.org/simposio/2024/>

³<https://www.ufmg.br/espacodoconhecimento/inteligencia-artificial-e-arte/>

Quando aplicadas à educação, algumas dessas tecnologias mais recentes podem aportar a (questionável) sugestão de serem disruptivas no absoluto. Entretanto, os trabalhos das principais comunidades acadêmico-científicas da área datam de mais de 3 décadas, como pode ser observado no histórico da comunidade ITS (do inglês, *Intelligent Tutoring Systems*), desde 1988⁴, liderada por Claude Frasson, e da AIED (do inglês, *Artificial Intelligence in Education*), desde 1993⁵, por John Self.

Um salto, do ponto de vista das contribuições dessas comunidades, deve-se possivelmente aos dados de entrada para os mecanismos de inferência (indutiva). Tais mecanismos, outrora mais focados em personalização individualizada ou pequenos grupos, passaram a trabalhar também sobre traços massivos de utilização por discentes, tirando proveito de resultados de *big data* [Baig et al. 2020] e consolidando as chamadas analíticas de aprendizagem (a.k.a *learning analytics*) [Viberg et al. 2018]. Como consequência, ampliou-se o espectro de pessoas usuárias beneficiadas, a exemplo de discentes em cursos massivos (a.k.a *MOOCs*), docentes nesse mesmo contexto seja formal ou não-formal, e ainda gestores educacionais [Zhu et al. 2022]. Nesse âmbito, as analíticas operam sobre dados comuns a um quantitativo massivo de estudantes.

Uma outra possibilidade de analíticas é operar sobre dados massivos, porém heterogêneos, de uma mesma pessoa-aprendiz ao longo do tempo [Schreck et al. 2023]. Tal possibilidade permitiu ampliar o leque de contribuições das tecnologias educacionais para a chamada aprendizagem continuada, ao longo da vida (a.k.a LLL, do inglês *Lifelong Learning*) [Poquet and De Laat 2021] e incrementar significativamente o projeto dos assistentes pessoais de aprendizagem [Apoki et al. 2022]. Nessa direção, [Johnson and Lester 2018] traz a distinção dos agentes (pedagógicos) relacionais como sendo aqueles capazes de estabelecer relações de mais longo prazo com a pessoa-aprendiz, sendo mais adequados como *companions* para suporte à LLL.

Do exposto, elaborou-se a seguinte Questão de Pesquisa (QP), a fim de guiar o trabalho ora apresentado: Como tirar proveito da popularização da IA para a criação de artefatos computacionais capazes de assistir individualmente uma pessoa-aprendiz ao longo da vida, e especificamente durante o período universitário?

Partindo-se dessa QP, o objetivo geral deste trabalho é conceber e prototipar artefatos computacionais, *frontend* e *backend*, capazes de prestar assistência personalizada a uma pessoa-aprendiz em período universitário ao longo de todo o seu curso, identificando oportunidades de interação de cunho técnico e social, e visando a facilitar a aprendizagem ao longo da vida. No que segue, destacam-se trabalhos relacionados a algumas das principais temáticas deste trabalho (Seção 2) e compartilha-se com a comunidade o status corrente do projeto (Seção 3), bem como os desdobramentos seguintes já previstos. Considerações finais encerram este artigo (Seção 4).

2. Trabalhos Relacionados

Nesta seção, destacam-se alguns trabalhos relevantes nas temáticas de agentes pedagógicos, aprendizagem ao longo da vida e metaverso na educação, que entendemos como estreitamente relacionados ao presente projeto.

⁴<https://iis-international.org/its/>

⁵<https://iaied.org/conferences>

2.1. Agentes pedagógicos

No âmbito de comunidades IA na Educação como as mencionadas na Seção 1, as pesquisas sobre os chamados “agentes pedagógicos” vêm evoluindo ao longo de mais de 2 décadas, conforme reportado em [Lane and Schroeder 2022]. As contribuições dessas entidades para incrementar a aprendizagem têm sido destacadas em estudos longitudinais, e.g. [Johnson and Lester 2018] que distingue agentes pedagógicos - voltados a disciplinas ou conteúdos específicos em contexto formal - de agentes (pedagógicos) relacionais - capazes de estabelecer relações de mais longo prazo com a pessoa-aprendiz, sendo mais adequados como *companions* para suporte à aprendizagem ao longo da vida. Abordagens da computação afetiva têm sido também exploradas nos agentes pedagógicos em prol de vários aspectos humanos individuais que podem afetar o processo de aprendizagem e.g. [Azevedo 2020]. Outros estudos secundários mais recentes, e.g. [Apoki et al. 2022], trazem distinções como agentes adaptativos e agentes inteligentes, entre outras, podendo projetos mais complexos envolver uma combinação das mesmas.

Outras abordagens mais recentes, por sua vez, dedicam-se especificamente aos chamados Sistemas Multiagentes Cognitivos (SMAC), que estendem a concepção de SMA ao considerarem cada agente como sendo dotado de conhecimento. Aplicações de SMACs podem ser encontradas para desempenhar tarefas que demandam resposta imediata e consciente, a exemplo de robôs móveis [Hajduk et al. 2019], mas também em aplicações para educação (não formal), a exemplo de recomendação personalizada sobre cursos massivos [Amin et al. 2024], mediante grande volume de informação.

2.2. Metaverso na educação

Conforme destacado acima, a abordagem de agentes pedagógicos já remonta a mais de 2 décadas, tendo sido tema de estudos secundários recentes pela comunidade IA na Educação, que apontam tendências e desafios futuros. Avançando em sinergia, outros trabalhos recentes incluindo comunidades que compartilham interesse em ambientes educacionais, vêm explorando tais agentes em ambientes imersivos, seguindo possivelmente uma tendência de atratividade face às gerações Z e Alfa [Aslan et al. 2024, Dai et al. 2024, Iqbal and Campbell 2023, Rinn et al. 2023, Petersen et al. 2021, Tarouco 2019].

Particularmente os ambientes de metaverso revelaram-se oportunos em momento pandêmico, como apoio à educação formal [Han et al. 2023], muito embora sérias defasagens de aprendizagem já se façam registrar na literatura, oriundas daquele momento [Aguaded et al. 2023]. As possibilidades abertas por essas tecnologias para a educação, no chamado “novo normal”, têm sido crescentemente exploradas em trabalhos internacionais [Sutikno and Aisyahrani 2023, Hwang and Chien 2022, Wang et al. 2022, Lin et al. 2022] e vêm reganhando atenção nacional [Araujo et al. 2024, de Classe and de Castro 2023, de Classe et al. 2023, Damasceno et al. 2023, Machado et al. 2023].

2.3. Aprendizagem ao longo da vida potencializada pelas tecnologias

Indo além da individualização no aspecto cognitivo ou restrito à educação formal, comunidades de IA na Educação vêm destacando projetos que consideram várias dimensões

de cada estudante (e.g. a dimensão afetiva) [Hasan et al. 2020], e a educação em sentido mais amplo, como a aprendizagem ao longo da vida⁶ [Poquet and De Laat 2021].

Neste projeto, busca-se conceber assistentes artificiais capazes de acompanhar os contextos não formal e informal [Kawagoe and e Silva 2020], visando uma aprendizagem mais abrangente, e seguindo iniciativas sobre padrões internacionais de especificação [Schreck et al. 2023], como Registro Abrangente de Aprendiz (CLR, do inglês *Comprehensive Learner Record*), do consórcio IMS Global⁷.

3. Rumo a uma sociedade multiagentes de *companions* inteligentes

Nesta seção apresentam-se progressivamente os elementos para concepção e prototipagem de uma sociedade de *companions* artificiais na qual cada *companion* objetiva prestar assistência personalizada a uma pessoa aprendiz ao longo de seu curso universitário. A exposição é organizada partindo dos elementos de *frontend* adotados (Seção 3.1) até aqueles que compõem as escolhas para implementação de *backend* (Seção 3.2).

3.1. Metaversidade: o ambiente de *frontend* em preparação

O ambiente planejado para interação discente-*companion* apoia-se na “metaversidade” [Sutikno and Aisyaharani 2023], em uma sinergia de serviços de campus universitário e metaverso, gerando possibilidades inéditas em ambientes híbridos, real e virtual imersivo.

A plataforma de código aberto Decentraland⁸ foi recentemente estudada e inicialmente testada em trabalhos de nossa equipe [Juvito and Soares 2023, Barbosa et al. 2024], tendo sido adotada para uma primeira versão de nossa prova de conceito. Decentraland introduziu recentemente os *Non-Player Characters* (NPCs), personagens propostos para enriquecer experiências virtuais das pessoas jogadoras podendo interagir de maneira programada [Campitiello et al. 2024, Pretty et al. 2024].

Na Figura 1, ilustra-se uma representação metafórica do *companion* como uma *raposa*, que deverá ser capaz de interagir com o avatar da pessoa assistida através das cenas da metaversidade, deixando transparente a estrutura do *backend*. No cenário típico, o assistente artificial traz informação atualizada e personalizada para o (avatar do) assistido.

A ideia de um pet para NPC *companion* deverá ser aprofundada, porém preliminarmente seguiu alguns dos critérios do projeto DynaLearn [Wißner et al. 2012], tais como apelo afetivo, ecológico, expectativa moderada quanto a habilidades linguísticas, entre outros. No DynaLearn, a concepção dos personagens virtuais foi liderada pela Profa. Dra. Elisabeth André⁹, pesquisadora veterana com significativas contribuições e várias premiações na área de IHC, incluindo as temáticas de Interfaces Multimodais, Computação Afetiva e Personagens Virtuais.

3.2. Resultados parciais em *backend*

Nesta seção, apresentam-se progressivamente os elementos que compõem o *backend*, sobretudo no tocante à sociedade de *companions*. Tais artefatos incluem uma sociedade de assistentes artificiais cognitivos, uma linguagem de representação de conhecimento, seus meios de persistência, além de mecanismos de inferência sobre tal linguagem.

⁶<https://iaied.org/showcase/1e1z2NxNtaUWWYY2w2w86I>

⁷<https://www.1edtech.org/initiatives/digital-credentials/clr>

⁸<https://decentraland.org/>

⁹<https://www.uni-augsburg.de/en/fakultaet/fai/informatik/prof/hcm/research/dynalearn/>



Figura 1. Cena do campus elaborada em trabalho recente de nossa equipe [Juvito and Soares 2023] e diálogo típico entre aprendiz e seu *companion*.

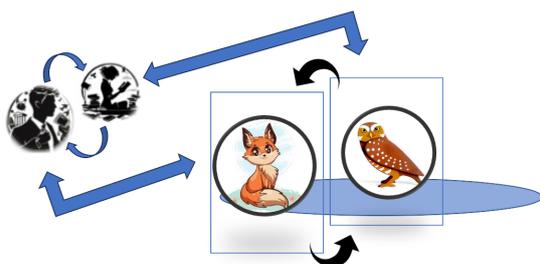


Figura 2. Ilustração de personas com perfis distintos para cenários de testes alfa, e 3 tipos de interação, a saber, H-H, H-C e C-C.

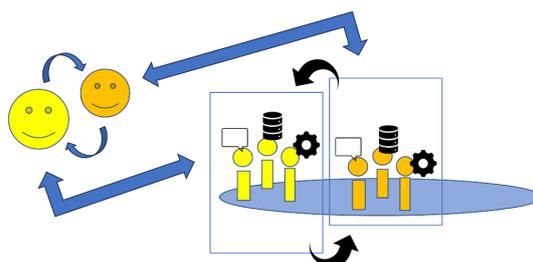


Figura 3. Sociedade com 6 agentes abstraído 2 *companions*.

3.2.1. Personas para cenários ilustrativos da implementação *backend*

Para fins de alfa-testes, destacam-se 2 personas com perfis distintos:

- Heva, universitária formanda que seguirá carreira acadêmica; Ao longo do seu curso, esteve sempre atenta a editais sobre bolsas de Iniciação Científica; e
- Adamastor, universitário calouro, que pretende empreender a partir de incubação de empresa de desenvolvimento de jogos; Editais de incubação o interessam.

Os tipos de interação são ilustrados na Figura 2: as setas largas representam a interação entre *companion* assistente e pessoa aprendiz assistida. Além dessas, as interações entre os *companions* artificiais são ilustradas pelas setas ligando os pets. Já a comunicação entre pessoas humanas vem sendo ancorada em Rede Social Descentralizada [Torres et al. 2022].

3.2.2. Da modelagem organizacional da sociedade

Ensaio preliminares rumo à modelagem do *companion* pretendido permitiram identificar 3 papéis distintos que tal assistente poderia desempenhar. Assim sendo, o meta-modelo AGR (*Agent-Group-Role*) [Ferber et al. 2003] foi adotado, resultando em uma tríade de entidades independentes porém que se comunicam, deixando transparecer à pessoa assistida, entretanto, a sensação de interagir com 1 única entidade artificial.

Os papéis identificados incluem: (i) um agente de conversa, a ser concebido como processador de linguagem natural; (ii) um agente de inferência dedutiva, capaz de responder a questões segundo seu conhecimento e (iii) um agente de inferência indutiva, dotado de mecanismos de aprendizagem de máquina para fins de atualização de conhecimento.

A modelagem segundo a álgebra AGR deve ser compartilhada em artigo futuro, que deverá incluir demais grupos da sociedade. Ao invés disso, privilegiou-se para este artigo esboçar o grafo correspondente ao grupo *companion* (Figura 4) e sua tríade de papéis (*Chat*, *Dedução* e *Indução*).



Figura 4. Ilustração da modelagem de um *companion*: grupo e 3 papéis.

Esse esboço de grafo nos permite revisitar a Figura 2, suprimindo os pets icônicos a fim de revelar sua representação AGR para *backend*, resultando na Figura 3.

3.2.3. Da modelagem de conhecimento de cada *companion*

Estudos secundários relevantes, e.g. [Stancin et al. 2020, Tapia-Leon et al. 2018], destacam as ontologias como forma de representação de conhecimento em aplicações educacionais em geral, mas também em agentes pedagógicos especificamente, incluindo agentes conversacionais [Júnior et al. 2017], capazes de processar linguagem natural.

Seguindo tais abordagens à modelagem de conhecimento, o trabalho ora reportado adotou a representação em linguagem de ontologia que permitisse responder a Questões de Competência (QC) tais como:

- QC1: *Companion*, você sabe qual carreira eu pretendo seguir?
- QC2: *Companion*, você sabe qual carreira meu colega pretende seguir?

Observe-se que QC1 permite à pessoa-aprendiz verificar o status de conhecimento de seu *companion* a respeito de si mesma, enquanto que QC2 permite questionar seu próprio *companion* a respeito de um(a) colega. Por decisão de projeto, estabeleceu-se que cada *companion* conversa apenas com a pessoa que assiste. Por outro lado, os agentes artificiais são capazes *tecnicamente* de trocar mensagens buscando responder às indagações de suas pessoas assistidas. Entretanto, a despeito da possibilidade técnica, essa conversação

artificial requer tratamento em termos de ética em sistemas computacionais e vem sendo cuidada em trabalhos da equipe em paralelo ao que ora se reporta.

A Figura 5 mostra elementos da modelagem construída (classes, indivíduos, propriedades e regras SWRL), incluindo as duas personas propostas para os cenários de testes alfa. No perfil de cada estudante constam somente informações sobre suas próprias pretensões de carreira, embora ciente da existência de outra/os colegas. As regras SWRL permitem ao *companion* deduzir se sua pessoa assistida tem interesse em uma oportunidade sempre que ela se apresenta, sendo identificadas e informadas por agentes de monitoramento que ficaram de fora desta apresentação.

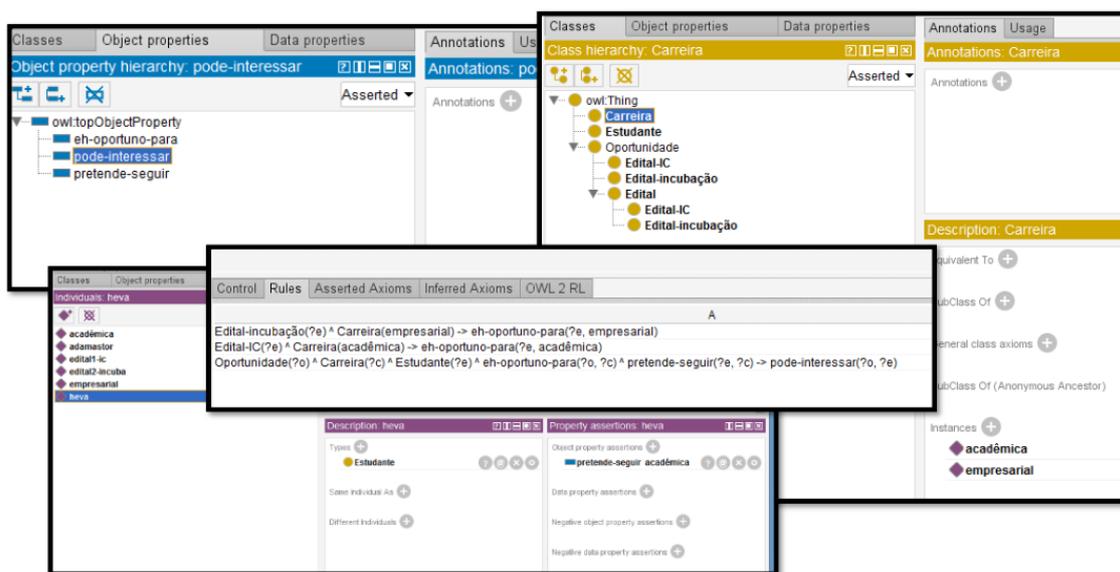


Figura 5. Elementos da modelagem ontológica.

3.2.4. Do modelo organizacional ao protótipo da sociedade de agentes cognitivos

Conforme supramencionado, a modelagem da sociedade seguiu o metamodelo AGR [Ferber et al. 2003], passível de implementação no *Multiagent Development Kit - MaDKit*¹⁰. A plataforma permite gerir o ciclo de vida dos agentes, porém o comportamento de cada um fica a cargo da aplicação. Assim, de acordo com as decisões de projeto do trabalho ora reportado, procedeu-se inicialmente à integração do modelo ontológico para que os cenários planejados pudessem ser demonstrados. A janela esquerda ilustrada na Figura 6 faz as vezes de um avatar interagindo com seus NPCs e, neste momento, nos permite de simular I/O para testar a dinâmica do *backend* (agente Madkit na janela da direita).

3.2.5. Desdobramentos previstos

No curto prazo, busca-se (i) uma integração efetiva com o *frontend* que permita interação com os NPCs da plataforma Decentraland e (ii) e com processadores de linguagem natural a fim de prover funcionalidades já populares atualmente.

¹⁰<https://www.madkit.net/madkit/>

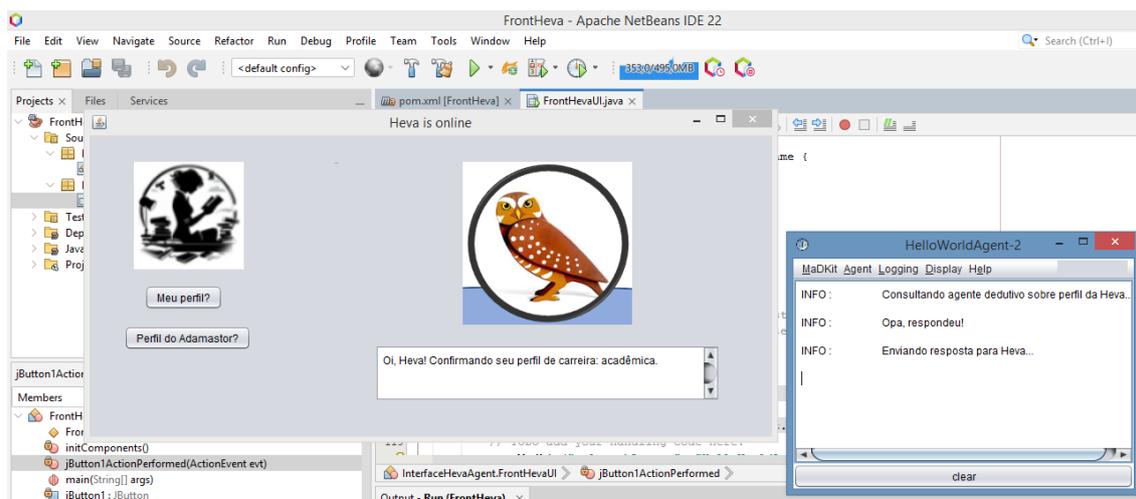


Figura 6. Agentes em ação (versão alfa).

No médio prazo, planeja-se efetivar uma descentralização de dados de maneira a permitir que uma pessoa estudante possa egressar da metaversidade levando consigo informações relevantes oriundas de seu percurso universitário mais abrangente do que avaliações formais [Silva et al. 2024]. No mesmo sentido, informações de ingressantes que possam facilitar sua adaptação ao meio universitário são desejáveis. Em suma, as seguintes situações são passíveis de serem endereçadas pela abordagem ora proposta:

1. Ingresso na Universidade: quando a pessoa aprendiz passa do ensino médio ao ensino superior, em uma fase de adaptação a uma nova realidade, por vezes determinante para uma evasão no curto prazo;
2. Período Universitário, incluindo todo o tempo ao longo do curso de graduação, quando numerosas oportunidades podem surgir dentro do significativo leque da Universidade, e se perderem como informação passiva (abordada deste artigo);
3. Egresso da Universidade, momento de nova transição da pessoa aprendiz, quando de sua inserção profissional, geralmente levando registros de seus resultados formais sob a forma de menções, e nada de registros de processos de aprendizagem ou competências específicas desenvolvidas/a desenvolver;
4. Aprendizagem profissional ou em local de trabalho (*Workplace Learning*), que pode incluir iniciativas para desenvolvimento seja por iniciativa pessoal (não formal, informal) [Schulz and Roßnagel 2010] ou institucional [Wilkens 2020, Pereira et al. 2023].

4. Considerações finais

A popularização da Inteligência Artificial (IA) nos anos recentes tem sido tema de amplos debates sociais, incluindo iniciativas da grande mídia e da academia, derivando várias ferramentas que têm atraído a atenção popular. A fim de prover a estudantes universitária/os acompanhamento personalizado e com especificidade ao longo de sua formação, propõe-se a exploração de tecnologias suportadas pela IA capazes de identificar possibilidades e ofertar informações que auxiliem em tomadas de decisão durante a vida acadêmica. A solução proposta, além da parte *backend*, relativa à concepção do *companion* artificial, inclui ainda um *frontend*, em ambiente metaverso, onde uma pessoa aprendiz poderá ter uma experiência de imersão em diversos gêmeos digitais de espaços físicos dos campi.

Referências

- Aguaded, I., Vizcaíno-Verdú, A., García-Prieto, V., and de Casas-Moreno, P. (2023). The impact of post-pandemic learning loss on education development: A systematic review. *Review of Communication Research*, 11:172–189.
- Amin, S., Uddin, M. I., Alarood, A. A., Mashwani, W. K., Alzahrani, A. O., and Alzahrani, H. A. (2024). An adaptable and personalized framework for top-n course recommendations in online learning. *Scientific Reports*, 14(1):10382.
- Apoki, U. C., Hussein, A. M. A., Al-Chalabi, H. K. M., Badica, C., and Mocanu, M. L. (2022). The role of pedagogical agents in personalised adaptive learning: A review. *Sustainability*, 14(11):6442.
- Araujo, F. C., Vivacqua, A., and França, J. B. (2024). Desenvolvendo competências computacionais no ensino fundamental: Integração do pensamento computacional e do metaverso no ambiente educacional. In *Anais Estendidos do XIX Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 1–6. SBC.
- Aslan, S., Durham, L. M., Alyuz, N., Okur, E., Sharma, S., Savur, C., and Nachman, L. (2024). Immersive multi-modal pedagogical conversational artificial intelligence for early childhood education: An exploratory case study in the wild. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, page 100220.
- Azevedo, O. B. (2020). Um agente pedagógico gentil é mais efetivo? efeito das atitudes de agentes pedagógicos animados na aprendizagem, engajamento, emoções e ansiedade dos estudantes.
- Baig, M. I., Shuib, L., and Yadegaridehkordi, E. (2020). Big data in education: a state of the art, limitations, and future research directions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17:1–23.
- Barbosa, C., Carvalho, G., Nóbrega, G., and Cruz, F. (2024). Redesenho e prototipagem de um repositório de recursos educacionais para metaverso. In *Anais do SBIE 2024*. SBC.
- Campitiello, L., Beatini, V., and Di Tore, S. (2024). Non-player character smart in virtual learning environment: Empowering education through artificial intelligence. In *Workshop on Artificial Intelligence with and for Learning Sciences: Past, Present, and Future Horizons*, pages 131–137. Springer.
- Dai, C.-P., Ke, F., Zhang, N., Barrett, A., West, L., Bhowmik, S., Southerland, S. A., and Yuan, X. (2024). Designing conversational agents to support student teacher learning in virtual reality simulation: a case study. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–8.
- Damasceno, A., Soares, P., Santos, I., Souza, J., and Oliveira, F. (2023). Assistive technology for distance education in metaverse-based environment: A rapid review. *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 693–706.
- de Classe, T. M. and de Castro, R. M. (2023). Metaverso: Ambiente de colaboração e aprendizado em aula híbrida. In *Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sistemas Colaborativos*, pages 16–29. SBC.

- de Classe, T. M., de Castro, R. M., de Oliveira, E. G., and Oliveira, E. W. (2023). Uso de metaverso em avaliações formativas híbridas. In *Anais do XXXI Workshop sobre Educação em Computação*, pages 384–395. SBC.
- Ferber, J., Gutknecht, O., and Michel, F. (2003). From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In *International workshop on agent-oriented software engineering*, pages 214–230. Springer.
- Fuchs, K. (2023). Exploring the opportunities and challenges of NLP models in higher education: is Chat GPT a blessing or a curse? In *Frontiers in Education*, volume 8, page 1166682. Frontiers.
- Hajduk, M., Sukop, M., and Haun, M. (2019). Cognitive multi-agent systems.
- Han, J., Liu, G., and Gao, Y. (2023). Learners in the metaverse: A systematic review on the use of Roblox in learning. *Education Sciences*, 13(3):296.
- Hasan, M. A., Noor, N. F. M., Rahman, S. S. B. A., and Rahman, M. M. (2020). The transition from intelligent to affective tutoring system: a review and open issues. *IEEE Access*, 8:204612–204638.
- Hwang, G.-J. and Chien, S.-Y. (2022). Definition, roles, and potential research issues of the metaverse in education: An artificial intelligence perspective. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3:100082.
- Iqbal, M. Z. and Campbell, A. G. (2023). Real-time hand interaction and self-directed machine learning agents in immersive learning environments. *Computers & Education: X Reality*, 3:100038.
- Johnson, W. L. and Lester, J. C. (2018). Pedagogical agents: back to the future. *AI Magazine*, 39(2):33–44.
- Júnior, C. P., Francisco, R., Silva, L., Veiga, E., Fernandes, M., and Dorça, F. (2017). Uso de ontologias para agentes conversacionais no contexto de ensino-aprendizagem: Uma revisão sistemática da literatura. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 28, page 183.
- Juvito, L. and Soares, R. (2023). Um projeto de metaversidade: ampliando possibilidades para cursos de computação. Monografia (Graduação em Computação). Universidade de Brasília (UnB).
- Kawagoe, A. L. and e Silva, T. B. P. (2020). Rastreamento de aprendizagem informal na perspectiva da aprendizagem ao longo da vida. *DAT Journal*, 5(3):193–214.
- Lane, H. C. and Schroeder, N. L. (2022). Pedagogical agents. In *The Handbook on Socially Interactive Agents: 20 years of Research on Embodied Conversational Agents, Intelligent Virtual Agents, and Social Robotics Volume 2: Interactivity, Platforms, Application*, pages 307–330.
- Lin, H., Wan, S., Gan, W., Chen, J., and Chao, H.-C. (2022). Metaverse in education: Vision, opportunities, and challenges. In *2022 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pages 2857–2866. IEEE.
- Machado, L., Silva, T., Tarouco, L., and Herpich, F. (2023). Metaverso para educação em desenvolvimento sustentável. In *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 536–547, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

- Pereira, V., Hadjielias, E., Christofi, M., and Vrontis, D. (2023). A systematic literature review on the impact of artificial intelligence on workplace outcomes: A multi-process perspective. *Human Resource Management Review*, 33(1):100857.
- Petersen, G. B., Mottelson, A., and Makransky, G. (2021). Pedagogical agents in educational VR: An in the wild study. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–12.
- Poquet, O. and De Laat, M. (2021). Developing capabilities: Lifelong learning in the age of AI. *British Journal of Educational Technology*, 52(4):1695–1708.
- Pretty, E. J., Fayek, H. M., and Zambetta, F. (2024). A case for personalized non-player character companion design. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 40(12):3051–3070.
- Rinn, H., Markgraf, D., Andira, N. R., Bloch, L., Knappe, L., and Robra-Bissantz, S. (2023). Pedagogical conversational agents in virtual worlds. *e-learning and education*, 15(2).
- Schreck, J., Abras, C., and Mithani, A. (2023). Capturing students’ lifelong learning journey: The Johns Hopkins Comprehensive Learner Record. *College and University*, 98(2):61–69.
- Schulz, M. and Roßnagel, C. S. (2010). Informal workplace learning: An exploration of age differences in learning competence. *Learning and Instruction*, 20(5):383–399.
- Silva, O., Souza, T., Duda, J. M., Barros, B., and Nóbrega, G. (2024). Você decide quem POD: empoderando a/o estudante de computação quanto à propriedade de seus dados. In *Anais do IV Simpósio Brasileiro de Educação em Computação*, pages 367–374. SBC.
- Stancin, K., Poscic, P., and Jaksic, D. (2020). Ontologies in education—state of the art. *Education and Information Technologies*, 25(6):5301–5320.
- Sutikno, T. and Aisyahrani, A. I. B. (2023). Non-fungible tokens, decentralized autonomous organizations, Web 3.0, and the metaverse in education: From university to metaversity. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, 17(1):1–15.
- Tapia-Leon, M., Rivera, A. C., Chicaiza, J., and Luján-Mora, S. (2018). Application of ontologies in higher education: A systematic mapping study. In *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 1344–1353. IEEE.
- Tarouco, L. M. R. (2019). Inovação pedagógica com tecnologia: mundos imersivos e agentes conversacionais. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 17(2):92–108.
- Torres, D., Estevam, G., and Nóbrega, G. (2022). Redes sociais descentralizadas na graduação em computação: implantação, percepção discente, possibilidades. In *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 1344–1354. SBC.
- Viberg, O., Hatakka, M., Bälter, O., and Mavroudi, A. (2018). The current landscape of learning analytics in higher education. *Computers in human behavior*, 89:98–110.
- Wang, M., Yu, H., Bell, Z., and Chu, X. (2022). Constructing an edu-metaverse ecosystem: A new and innovative framework. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(6):685–696.

- Wilkins, U. (2020). Artificial intelligence in the workplace—a double-edged sword. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 37(5):253–265.
- Wißner, M., Beek, W., Lozano, E., Mehlmann, G., Linnebank, F., Liem, J., Häring, M., Bühling, R., Gracia, J., Bredeweg, B., et al. (2012). Increasing learners' motivation through pedagogical agents: The cast of virtual characters in the dynaLearn ILE. In *Agents for Educational Games and Simulations: International Workshop, AEGS 2011, Taipei, Taiwan, May 2, 2011. Revised Papers*, pages 151–165. Springer.
- Yu, H. (2023). Reflection on whether Chat GPT should be banned by academia from the perspective of education and teaching. *Frontiers in Psychology*, 14:1181712.
- Zhu, M., Sari, A. R., and Lee, M. M. (2022). Trends and issues in mooc learning analytics empirical research: A systematic literature review (2011–2021). *Education and Information Technologies*, 27(7):10135–10160.