AGENTES TUTORES INTELIGENTES E EQUIDADE EDUCACIONAL: UMA ARQUITETURA COM MEMÓRIA LONGITUDINAL, APRENDIZADO DE MÁQUINA E CONHECIMENTO EXTERNO

ROMEU PAPA VIEIRA CÓ[1]; MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR[2]

[1]*Universidade Federal de Pelotas – rpvco@inf.ufpel.edu.br*
[2]*Universidade Federal de Pelotas – marilton@inf.ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho investiga o uso de agentes tutores baseados em inteligência artificial generativa como instrumento de apoio à aprendizagem personalizada e à equidade educacional (Chhibber; Law, 2019). A desigualdade no acesso a recursos educacionais é um dos entraves mais persistentes à construção de uma educação inclusiva e de qualidade, como evidenciado, por exemplo, no contexto da educação do campo, em que estudantes enfrentam disparidades reais no acesso a professores, tecnologias e acompanhamento individualizado (Molina et al., 2009). O papel do professor permanece insubstituível (Wollny et al., 2021), mas turmas numerosas e infraestrutura precária limitam, na prática, a personalização do ensino.

Os avanços recentes em inteligência artificial generativa abriram caminho para o desenvolvimento de sistemas conversacionais mais sofisticados. Um sistema que apenas responde a perguntas, porém, não constitui necessariamente um tutor. É o que evidenciam revisões sistemáticas da literatura, como o estudo *Are We There Yet – A Systematic Literature Review on Chatbots in Education* (Wollny et al., 2021): sistemas educacionais baseados em agentes conversacionais precisam ir além da eficiência e da usabilidade. Cabe a eles assumir funções pedagógicas capazes de apoiar a aprendizagem e de se adaptar às necessidades de cada estudante.

Essas funções pedagógicas exigem que o agente considere o conhecimento prévio do estudante, seu progresso e os objetivos de aprendizagem estabelecidos. Soma-se a isso a necessidade de mitigar o risco de modelos de linguagem produzirem respostas incorretas, o que pode ser feito por meio do acesso a bases de conhecimento externo (Caffaro; Rizzo, 2024). Mecanismos de recuperação de informações, como a geração aumentada por recuperação (*Retrieval-Augmented Generation*, RAG), ajudam a fundamentar essas respostas. Há ainda o desafio de compreender a trajetória individual do aluno: isso exige aprendizado de máquina capaz de analisar dados longitudinais e alimentar um modelo do estudante (Swartout et al., 2016). O acompanhamento ao longo do tempo também aparece nas propostas de sistemas de apoio à aprendizagem contínua, que recorrem a informações e memórias persistentes para seguir a evolução do estudante.

Embora cada um desses componentes, personalização, mitigação de erros e memória longitudinal, já tenha sido estudado isoladamente, poucos trabalhos os integram em uma única arquitetura e avaliam seus efeitos combinados sobre a equidade educacional. É nessa lacuna que se situa o problema desta pesquisa: investigar em que medida agentes tutores baseados em inteligência artificial generativa, integrados a aprendizado de máquina, memória longitudinal e conhecimento externo, conseguem identificar padrões individuais de aprendizagem e convertê-los em intervenções pedagógicas personalizadas (Hobert; Meyer Von Wolff, 2019). O objetivo geral é desenvolver e avaliar esse agente tutor, verificando sua capacidade de usar informações sobre o estudante para oferecer uma tutoria personalizada e equitativa.

Para testar essa proposta, a pesquisa parte de três hipóteses centrais: o uso do agente adaptativo pode proporcionar maior ganho de aprendizagem; a memória longitudinal, combinada ao aprendizado de máquina, pode melhorar a tomada de decisão pedagógica; e o acesso a fontes externas pode aumentar a fundamentação das respostas. Investiga-se também a hipótese de que esses benefícios não se distribuem de forma uniforme entre os estudantes, o que torna necessário analisar o potencial real do agente para reduzir desigualdades educacionais.

2. METODOLOGIA

A pesquisa será desenvolvida em duas etapas complementares: a construção e avaliação técnica do sistema, seguida de uma avaliação educacional com estudantes. Na primeira etapa, será implementada uma arquitetura conceitual organizada em sete componentes integrados.

O módulo de diálogo abre essa arquitetura, cuidando da interação em linguagem natural com o estudante. Em seguida vem o módulo de memória longitudinal, que funciona como fonte de evidências para reconstruir a trajetória do aluno ao longo do tempo. Essas evidências alimentam o modelo do estudante, terceiro componente, responsável por organizar informações sobre o estado de conhecimento, as dificuldades e os padrões de erro identificados.

O módulo de aprendizado de máquina, quarto componente, recorre a técnicas de classificação, agrupamento e modelagem temporal para identificar perfis emergentes e padrões na trajetória de aprendizagem; a análise temporal pode incorporar abordagens como a Regressão de Meia-Vida (HLR) (Settles; Meeder, 2016), que usa o histórico de interações para estimar padrões de retenção e esquecimento. Já a interface de conhecimento externo, quinto componente, permite consultar currículos e bases de conhecimento confiáveis por meio de mecanismos de recuperação de informações.

O sexto componente, o modelo pedagógico, transforma as evidências disponíveis em decisões de tutoria estruturadas, com foco em promover a reflexão, a autorregulação e a participação ativa do estudante. Fechando a arquitetura está o agente tutor propriamente dito, que integra os demais módulos e executa o ciclo completo: observar, analisar, inferir, selecionar estratégia, intervir, avaliar resultados e atualizar o modelo do estudante.

Na segunda etapa, será realizada a avaliação educacional, inicialmente delimitada a uma área específica para garantir maior controle experimental sobre o conteúdo e as condições de aprendizagem. O desenho experimental segue uma lógica incremental, isolando a contribuição de cada componente sobre a condição anterior: os participantes serão distribuídos em quatro condições, um grupo com recursos digitais convencionais, um grupo com agente tutor básico, um grupo com agente tutor dotado de acesso a conhecimento externo e um grupo com o agente tutor completo, reunindo a integração de todos os componentes propostos. Essa progressão permite isolar, na comparação entre o grupo com agente básico e o grupo com acesso a conhecimento externo, a hipótese sobre o ganho de fundamentação das respostas, e, na comparação com o grupo completo, a contribuição conjunta da memória longitudinal e do aprendizado de máquina sobre a tomada de decisão pedagógica.

A avaliação contemplará diferentes eixos. A aprendizagem será analisada por meio de testes aplicados antes e depois das intervenções, incluindo medidas de retenção e de transferência do conhecimento. Já os modelos de aprendizado de

máquina serão avaliados quanto à capacidade de identificar padrões educacionalmente relevantes, em comparação com estratégias baseadas em regras predefinidas.

A equidade constitui um eixo central da avaliação: interessa investigar como os ganhos de aprendizagem se distribuem entre estudantes com diferentes níveis de desempenho inicial. A comparação entre as quatro condições, por sua vez, permite analisar não apenas a eficácia global do agente tutor, mas a contribuição incremental de cada um de seus componentes.

Essas comparações compõem, portanto, o desenho da avaliação com estudantes, ao qual se somam diretrizes éticas rigorosas: minimização da coleta de dados, anonimização, transparência quanto à interação com sistemas de inteligência artificial, avaliação de possíveis vieses e preservação da autonomia cognitiva dos estudantes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado direto deste projeto, espera-se desenvolver um protótipo funcional de agente tutor capaz de integrar inteligência artificial generativa, memória longitudinal, aprendizado de máquina, modelagem do estudante e acesso a conhecimento externo. As avaliações propostas devem gerar evidências científicas sobre a contribuição isolada e combinada de cada um desses componentes para o processo de aprendizagem e a personalização do ensino.

Em relação ao ganho de aprendizagem, espera-se que o grupo exposto ao agente tutor completo apresente resultados superiores aos do grupo com recursos digitais convencionais, na linha do que se espera habitualmente do uso de tutores inteligentes como apoio à atividade docente, sobretudo em contextos nos quais o acompanhamento individualizado é limitado pelo tamanho das turmas. A comparação incremental entre as quatro condições deve indicar, além disso, em que medida esse ganho depende da presença isolada de cada componente, memória longitudinal, aprendizado de máquina e conhecimento externo, ou de sua atuação combinada.

A pesquisa pretende revelar, sobretudo, se as técnicas de aprendizado de máquina são de fato capazes de identificar padrões relevantes na trajetória do estudante, como lacunas conceituais e necessidades de suporte, e se essas descobertas podem se transformar em decisões pedagógicas mais assertivas. Os padrões identificados, no entanto, não configuram diagnósticos definitivos: funcionam como evidências sujeitas à validação pedagógica, orientando intervenções como ajustes no nível de dificuldade, no tipo de explicação ou na sequência de atividades.

Os resultados devem indicar também se a interface de conhecimento externo aumenta a precisão, a rastreabilidade e o alinhamento curricular das respostas do agente, em comparação a sistemas que dependem apenas do conhecimento interno do modelo de linguagem. No âmbito social e de equidade, o interesse recai sobre quais perfis de estudantes mais se beneficiam do sistema: se a inteligência artificial consegue reduzir barreiras de aprendizagem ou se, a depender do letramento digital e da autonomia prévia de cada estudante, acaba por manter ou até ampliar as desigualdades já existentes.

É a partir desses perfis de estudantes que se avalia se o agente cumpre seu papel de suporte complementar: o agente não foi concebido como substituto da

figura docente, mas como ferramenta tecnológica pensada para ampliar a capacidade de suporte e acompanhamento individualizado.

4. CONCLUSÕES

O projeto propõe uma nova geração de agentes tutores educacionais, que pretende superar os chatbots convencionais restritos à geração mecânica de respostas. Sua principal inovação reside na estruturação de um ciclo contínuo de adaptação: descoberta de padrões, personalização, intervenção, avaliação e atualização. Espera-se que essa integração entre inteligência artificial generativa, recuperação de conhecimento externo, memória e aprendizado de máquina permita ao sistema construir uma representação cada vez mais aprofundada do percurso do estudante, refletida em ganhos de aprendizagem superiores aos observados no uso de recursos digitais convencionais.

O estudo assume uma perspectiva crítica: recusa a ideia de que a tecnologia, por si só, resolve desigualdades. Situada na interseção entre a modelagem de sistemas tutores inteligentes e a educação inclusiva, a pesquisa pretende gerar, além do artefato tecnológico, conhecimento científico sobre a real contribuição de agentes inteligentes para a aprendizagem, a fundamentação das respostas e a equidade educacional. Como a avaliação inicial está delimitada a uma área específica de conhecimento, trabalhos futuros deverão investigar a generalização desses resultados para outros domínios e contextos educacionais, na direção de um ecossistema educacional mais equitativo, ético e acessível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAFFARO, F.; RIZZO, G. Knowledge-Enhanced Conversational Agents. **Journal of Computer Science and Technology**, Nova Iorque, Nova York, EUA, vol. 39, no. 3, pp. 585–609, May 2024.Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/s11390-024-2883-4.

CHHIBBER, N.; LAW, E. Using Conversational Agents To Support Learning By Teaching. **arXiv**, Versão 1, 2019. Disponível em: https://arxiv.org/abs/1909.13443.

HOBERT, S.; MEYER VON WOLFF, R. Say hello to your new automated tutor–a structured literature review on pedagogical conversational agents. In: 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik. **Proceedings**… Siegen, Germany. p. 1–14, 2019.

MOLINA, M. C.; MONTENEGRO, J. L. A.; OLIVEIRA, L. L. Das desigualdades aos direitos: a exigência de políticas afirmativas para a promoção da equidade educacional no campo. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 28, n. 1 e 2, p. 174-190, 2009.

SETTLES, B.; MEEDER, B. A Trainable Spaced Repetition Model for Language Learning. 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. **Proceedings…** p. 1848–1858. Berlin, Germany: Association for Computational Linguistics, 2016. Disponível em: http://dx.doi.org/10.18653/v1/P16-1174.

SWARTOUT, W. R. et al. Designing a Personal Assistant for Life-Long Learning (PAL3). In: 29th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference, FLAIRS 2016. **Proceedings…** Key Largo, United States. p. 491-496.

WOLLNY, S.; SCHNEIDER, J.; DI MITRI, D.; WEIDLICH, J.; RITTBERGER, M.; DRACHSLER, H. Are We There Yet? - A Systematic Literature Review on Chatbots in Education. **Frontiers in Artificial Intelligence**, Switzerland, v. 4, 15 jul. 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.3389/frai.2021.654924.