



## Da teoria à prática em sala de aula: experiências e *insights* de uma pesquisadora em Inteligência Artificial aplicada à educação

Patricia A. Jaques (PGCC/UFPEL; PPGInf/UFPR)<sup>1</sup>

### Resumo

Este estudo explora o emprego de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) no contexto brasileiro, focando em ambientes computacionais que oferecem aprendizado personalizado. Destacam-se dois casos: o PAT2Math, aplicado em escolas de ensino fundamental, que resultou em melhorias significativas nas habilidades algébricas dos estudantes e aumentou o engajamento; e o Feeper, adotado em cursos universitários de programação, que otimizou o processo de feedback e diminuiu a carga de trabalho docente por meio de correções automáticas de exercícios. Essas experiências demonstram como a Inteligência Artificial pode personalizar a educação e empoderar educadores para refinarem suas metodologias. Além disso, o artigo sugere áreas para futuras investigações, incluindo a detecção de emoções dos estudantes e a integração com IA Generativa, com o objetivo de ampliar a compreensão da aplicação de IA na Educação.

*Palavras-chave:* Sistemas tutores inteligentes; Inteligência Artificial aplicada à Educação; Ambientes Inteligentes de Aprendizagem; IA Generativa na Educação.

### Abstract

This study explores the use of Intelligent Tutoring Systems (ITS) in the Brazilian context, focusing on computational environments that offer personalized learning. Two cases are highlighted: PAT2Math, implemented in elementary schools, which led to significant improvements in students' algebraic skills and increased engagement; and Feeper, adopted in university programming courses, which optimized the feedback process and reduced the teachers' workload through automatic exercise corrections. These experiences demonstrate how Artificial Intelligence can personalize education and empower educators to refine their methodologies. Moreover, the article suggests areas for future research, including the detection of students' emotions and integration with Generative AI, with the goal of expanding the understanding of AI's application in Education.

*Keywords:* Intelligent tutoring systems; Artificial Intelligence in Education; Intelligent Learning Environments; Generative AI in Education.

---

<sup>1</sup> Contato: [patricia@inf.ufpr.br](mailto:patricia@inf.ufpr.br), [patricia.jaques@inf.ufpel.edu.br](mailto:patricia.jaques@inf.ufpel.edu.br)

## 1. Introdução

O interesse na interseção entre Inteligência Artificial (IA) e Educação não é um fenômeno recente. Na verdade, ele remonta aos anos 70, quando os primeiros Sistemas Tutores Inteligentes foram desenvolvidos com o objetivo de simular a capacidade humana de ensinar (Woolf, 2009). Ao longo das décadas, a IA na Educação (IAEd) tem evoluído de várias formas, alavancando metodologias e técnicas cada vez mais sofisticadas para personalizar o processo de aprendizagem e apoiar tanto os educadores quanto os estudantes (Luckin *et al.*, 2016; Johnson *et al.*, 2016; Pelletier *et al.*, 2023).

Recentemente, a ascensão de *chatbots* baseados em IA, como o ChatGPT<sup>2</sup>, renovou o interesse tanto da comunidade acadêmica quanto do público em IAEd. Contrapondo-se às visões alarmantes que associam a IA à automação e perda de empregos (Williams-Grut, 2016), essas tecnologias surgem como aliadas dos educadores. Não só oferecem suporte didático-pedagógico aos estudantes e automação de tarefas rotineiras aos professores, mas também potencializam suas capacidades por meio da Inteligência Humana aumentada por IA (Cremer; Kasparov, 2021). Esta abordagem procura fortalecer e estender as habilidades humanas, ao invés de substituí-las, promovendo uma experiência educacional mais individualizada e eficaz.

Adicionalmente, percebe-se uma mudança no *mindset* dos pesquisadores. A ambição não é mais criar um ‘professor ideal’ por meio da IA, mas sim respeitar a singularidade dos estudantes e empoderar educadores, facilitando tarefas repetitivas e fornecendo *insights* didático-pedagógicos (Xhakaj; Aleven; McLaren, 2017; Kelly *et al.*, 2013). Baker (2016) ilustra bem essa perspectiva em seu artigo “sistemas tutores burros, humanos inteligentes” (tradução livre). Ele propõe a criação de tutores mais simples, mas projetados inteligentemente para ampliar a inteligência humana.

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) superam as simples ‘máquinas de aprendizado’ propostas por Skinner, uma interpretação equivocada, que ocasionalmente observa-se no campo da Informática na Educação (Pimentel; Carvalho, 2020). Estes sistemas são embasados em teorias cognitivas, como explorado na Seção 3, enfatizando a percepção do estudante como um indivíduo cognitivo com estados mentais, afetivos, habilidades cognitivas e metacognitivas próprias, divergindo significativamente da abordagem behaviorista. Os STIs procuram compreender a singularidade do aprendiz, oferecendo assistência personalizada baseada em teorias científicas sobre métodos

---

<sup>2</sup> <http://chat.openai.com>.

eficazes de aprendizagem e ensino. Apesar de desafios e limitações tecnológicas atuais, muitos estudos destacam o potencial dos STIs em contextos educativos (Roschelle *et al.*, 2016; Murphy *et al.*, 2020; Koedinger; Anderson, 1993).

Embora os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) tenham recebido ampla atenção em contextos educacionais nos Estados Unidos (Baker *et al.*, 2004) e Europa (Nicaud *et al.*, 2006), existe uma notável escassez de literatura sobre sua implementação na América Latina. Esta lacuna destaca a necessidade de explorar a aplicabilidade e eficácia dos STIs em ambientes educacionais específicos desta região. Neste contexto, o presente artigo contribui ao estado da arte apresentando estudos de caso de dois STIs desenvolvidos por nosso grupo de pesquisa e tendo sido usado por escolas e universidades no Brasil: PAT2Math e Feeper. O PAT2Math é um Sistema de Tutoria Inteligente focado na resolução de equações de primeiro grau, enquanto o Feeper é especializado no ensino de programação. Ambos exemplificam a adaptabilidade dos STIs em diferentes contextos educacionais e demonstram o potencial destas tecnologias para enriquecer a prática pedagógica através da personalização e suporte ao ensino (Jaques *et al.*, 2013).

Este artigo, portanto, busca não apenas elucidar o funcionamento e a implementação desses STIs em diferentes contextos educacionais, mas também explorar as possibilidades emergentes que essas tecnologias trazem para o futuro da educação. Com ênfase no cenário brasileiro, discutiremos exemplos concretos de como os STIs, como o PAT2Math e o Feeper, estão sendo integrados nas práticas pedagógicas em escolas e universidades do país. Esses exemplos ilustram a aplicabilidade dos STIs em contextos educacionais variados, demonstrando como eles podem ser adaptados para atender às demandas específicas do sistema educacional brasileiro.

No contexto atual, onde a personalização do ensino é cada vez mais valorizada, a integração de detecção de emoções e modelos grandes de linguagem de IA (LLMs) em STIs representa um passo significativo para aprimorar a eficácia dessas tecnologias educacionais. Reconhecendo as emoções dos estudantes, os STIs podem adaptar-se melhor às necessidades individuais, proporcionando um ambiente de aprendizado mais responsivo e empático (D'Mello; Lehman; Graesser, 2011; Moraes; Jaques, 2023a; Reis *et al.*, 2021). Além disso, a integração de LLMs, como o ChatGPT, permite uma comunicação mais natural e contextualizada, facilitando a compreensão e o engajamento dos alunos (Mollick; Mollick, 2023). Essas inovações não apenas aprimoram a experiência educacional, mas também abrem novas possibilidades para pesquisas futuras, contribuindo para um ensino mais inclusivo e eficiente.

Dessa forma, abordaremos também como a interação com grandes modelos de linguagem, tecnologias aplicadas em *chatbots* como ChatGPT, e a detecção de emoções estão sendo pesquisadas e implementadas para enriquecer a experiência de aprendizagem, tornando a comunicação com os estudantes mais natural e adaptativa. Esta discussão visa destacar não apenas o estado atual da IAEd no Brasil, mas também lançar luz sobre os avanços futuros e o potencial impacto destas tecnologias na transformação das práticas educativas no país.

## 2. Sistemas Tutorais Inteligentes

Sistemas Tutores inteligentes (STIs)<sup>3</sup> são ambientes computacionais de aprendizado individualizado, aspirando ao modelo “*one-to-one tutoring*”, onde um tutor atende exclusivamente um estudante. Utilizam-se de técnicas avançadas de Inteligência Artificial para inferir informações cruciais do estudante, como conhecimentos prévios, estados afetivos, entre outros, e oferecer instrução e assistência personalizadas.

Diversos STIs existem com propósitos variados. Alguns engajam em diálogos com os estudantes, geralmente via interfaces de chat, orientando-os sobre áreas do conhecimento que requerem mais atenção, identificando possíveis concepções erradas e fomentando a curiosidade (Nye; Graesser; Hu, 2014). Outros focam em guiar os alunos durante tarefas práticas, fundamentados na teoria “aprender fazendo”, ou “*learning by doing*” em inglês (Anzai; Simon, 1979; Clark; Mayer, 2008). Esses domínios de conhecimento exigem não apenas a compreensão de conceitos, mas habilidades práticas sobre quando e como aplicá-los, sendo mais efetivamente adquiridos através da prática acompanhada de *feedback* construtivo e suporte gradualmente decrescente, ou “*scaffolding*”, que desvanece conforme a proficiência do estudante aumenta.

As características distintivas dos STIs em relação a outros softwares educacionais são muitas, mas geralmente se referem ao tipo de assistência individualizada dada. Uma perspectiva útil é entender o comportamento de um STI. VanLehn (2006) descreve-o como contendo dois ciclos (*loops*): (1) o ciclo externo (*outer loop*), e (2) o ciclo interno (*inner loop*). O primeiro determina qual será a próxima tarefa do aluno, enquanto o segundo monitora cada passo tomado durante essa tarefa. Os STIs que adotam o ciclo interno são categorizados como *step-based tutors* e avaliam e fornecem ajuda para cada passo do

---

<sup>3</sup> “Sistemas Tutores Inteligentes” é uma expressão amplamente adotada no contexto brasileiro e lusófono para designar o que é comumente referido em inglês como “*Intelligent Tutoring Systems*”. Existem outras traduções e adaptações do termo em português, incluindo “Sistemas Tutorais Inteligentes”, “Ambientes Inteligentes de Ensino” e “Sistemas de Ensino Adaptativos”.

aluno durante a resolução de uma tarefa. Eles tendem a ser mais eficazes do que os *answer-based tutors*, que se limitam a avaliar apenas a resposta final (VanLehn, 2011).

Por fornecer um processo de ensino individualizado, os STIs são uma poderosa ferramenta de apoio à aprendizagem em sala de aula presencial ou na educação online. De fato, estima-se que 5% das escolas norte americanas utilizam STIs (Baker *et al.*, 2004). Algumas revisões sistemáticas mostraram que os STIs do tipo baseados em passos (*step-based*) são quase tão efetivos quanto um professor particular iniciante (VanLehn, 2011). Adicionalmente, estudos do tipo meta-análise têm mostrado que todos os tipos de STIs são mais efetivos que a instrução tradicional em sala de aula apenas (Kulik; Fletcher, 2016; Ma *et al.*, 2014; Steenbergen-Hu; Cooper, 2014).

No entanto, é importante ressaltar que os STIs não são um substituto ao professor, mas sim um recurso adicional que este pode empregar, assim como tantos outros (filmes, livros, redes sociais etc.). Tanto na sala de aula (ensino presencial) quanto na educação online, a utilização dos STIs pode possibilitar que o professor consiga dedicar um espaço maior do seu tempo aos alunos com mais dificuldade e à preparação de sua aula. Os STIs podem ser disponibilizados para assistir estudantes enquanto eles realizam temas de casa (Heffernan, 2019). Igualmente, na educação online, o STI pode oferecer assistência individual ao aluno quando o professor não estiver disponível (Koedinger *et al.*, 2015).

Atualmente, componentes de STI têm sido desenvolvidos com o intuito de mostrar ao professor os dados do aluno, o que lhe permite, através das informações monitoradas e detectadas pelos STIs (Xhakaj; Aleven; McLaren, 2016; Xhakaj; Aleven; McLaren, 2017; Aleven *et al.*, 2022; Menezes *et al.*, 2023), um acompanhamento do progresso do aluno e uma avaliação continuada, como sugerido por VanLehn (2008). Dessa forma, a avaliação acontece continuamente, a cada tarefa, a cada passo desenvolvido pelo aluno. O tutor monitora acertos e erros e quais unidades de conhecimento o estudante aplicou correta ou incorretamente, assim como falsas concepções (erros comuns devido a uma compreensão incorreta de conceitos) e repassa relatórios textuais e gráficos (através de uma interface *dashboard*) ao professor (Aleven *et al.*, 2016; Dickler, 2019; Aleven *et al.*, 2022). Essas informações podem ser usadas pelo professor como um processo de avaliação formativa, buscando evidenciar conceitos e habilidades que o professor precisa rever com o estudante e com a turma em geral (Xhakaj; Aleven; McLaren, 2016; Xhakaj; Aleven; McLaren, 2017).

### 3. Sistemas Tutorais Inteligentes e Teorias Educacionais

Na área de Inteligência Artificial aplicada à educação, os avanços significativos em ambientes inteligentes de aprendizagem são frequentemente respaldados por pesquisas oriundas da “Ciência da Aprendizagem”, também chamada de “Ciência da Educação” (do

inglês “*Science of Learning*”) (D’Mello, 2020). Esta abordagem fundamenta-se predominantemente na perspectiva pós-positivista da investigação científica, enfatizando a compreensão objetiva do processo de aprendizagem por meio de descobertas empíricas<sup>4</sup> (Lent; Buchweitz; Mota, 2020; Mayer, 2011). Muitas dessas descobertas têm suas raízes em estudos aprofundados de neurociência, psicologia da educação e psicologia cognitiva.

Ao invés de se concentrar nos aspectos idiossincráticos e subjetivos que diferenciam cada estudante, a Ciência da Aprendizagem busca identificar padrões e mecanismos universais que orientam a maneira como o cérebro humano percebe estímulos, interpreta informações e forma associações. Este enfoque permite que sistemas educacionais baseados em Inteligência Artificial sejam projetados para serem otimizados em consonância com a maneira intrínseca pela qual o cérebro humano aprende, proporcionando, assim, uma experiência de aprendizado mais eficaz e eficiente.

A Ciência da Aprendizagem, ao longo de suas investigações e estudos, trouxe à tona diversos achados cruciais que têm moldado as práticas educacionais contemporâneas. Esses achados são frutos de pesquisas empíricas que desvendam o funcionamento do cérebro e as melhores estratégias para potencializar o aprendizado. Alguns destes conceitos-chave incluem:

1. *Prática distribuída*: Em vez de estudar um tópico de uma só vez em longas sessões, descobriu-se que distribuir a prática ao longo do tempo (aprendizado espaçado) pode aumentar a retenção da informação a longo prazo (Gerbier; Toppino, 2015). Este método aproveita o efeito de espaçamento, onde nosso cérebro é mais receptivo a revisar informações após um intervalo, reforçando a memória.

2. *Interleaved practice*: Em vez de se concentrar em um único tópico ou habilidade de cada vez, ela envolve a alternância entre diferentes tópicos ou habilidades em uma única sessão de estudo. Isso pode parecer contraintuitivo inicialmente, mas estudos mostram que essa abordagem pode melhorar a transferência de aprendizado e a capacidade de aplicar

---

4 O pós-positivismo, em contraste com o positivismo, adota uma perspectiva de “realismo crítico”, aceitando que, embora a realidade exista, sua apreensão completa é imperfeita devido às limitações humanas e à natureza intratável dos fenômenos. Enquanto o positivismo sustenta uma separação objetiva entre o observador e o observado e acredita na possibilidade de um conhecimento pleno da realidade, o pós-positivismo reconhece que a objetividade é um ideal regulatório, influenciado por fatores externos como tradições críticas e revisão por pares. Além disso, dentro do pós-positivismo, descobertas que são replicadas em diferentes estudos são consideradas provavelmente verdadeiras, mas estão sempre sujeitas a falsificação. Em vez de buscar leis universais incontestáveis, o pós-positivismo aceita múltiplas realidades e dá ênfase ao contexto e à perspectiva nas investigações científicas (Guba; Lincoln, 1994).

conhecimentos em contextos variados (Rohrer; Dedrick; Stershic, 2015; Taylor; Rohrer, 2009).

3. *Retrieval practice*: Também conhecida como prática de recuperação, esta estratégia envolve ativamente tentar lembrar informações sem olhar para o material fonte. O ato de recuperar informações da memória, em vez de simplesmente revisá-las, pode fortalecer as conexões neurais e aumentar a retenção (Karpicke; Blunt, 2011).

Além disso, muitos dos avanços em ambientes inteligentes de aprendizagem são informados por conceitos centrais provenientes de teorias como a Teoria da Carga Cognitiva e a Teoria Multimídia de Aprendizagem, tendo forte raízes da Ciência Cognitiva e da Psicologia da Educação. Ambas as teorias se alinham intrinsecamente com a Ciência da Aprendizagem, fortalecendo a noção de que o *design* de materiais educativos deve estar em harmonia com a estrutura e o funcionamento do cérebro humano.

A Teoria da Carga Cognitiva, proposta por John Sweller na década de 1980, postula que o cérebro humano tem uma capacidade finita para processar informações (Paas; Renkl; Sweller, 2003; Sweller; Merriënboer; Paas, 2019). Quando essa capacidade é excedida, o aprendizado pode se tornar ineficiente ou mesmo interrompido.

Portanto, é crucial considerar a quantidade de carga cognitiva imposta aos alunos ao apresentar novas informações. Sistemas educacionais eficazes, particularmente aqueles apoiados por inteligência artificial, devem ser projetados para minimizar a sobrecarga, facilitando a assimilação de novos conhecimentos.

A Teoria Multimídia de Aprendizagem, proposta por Richard E. Mayer (Mayer, 2005) e fundamentada na Teoria da Carga Cognitiva de John Sweller (Mayer; Moreno, 2003), destaca como o cérebro processa informações visuais e auditivas através de canais distintos. Mayer enfatiza que a combinação otimizada desses canais, levando em consideração a capacidade limitada da memória de trabalho, pode potencializar o aprendizado. Esta teoria salienta a importância de apresentar informações de uma forma que tire partido das capacidades multimodais do cérebro, facilitando assim uma maior retenção e compreensão do conteúdo.

Os sistemas tutores inteligentes, que buscam prover instrução adaptativa e personalizada aos alunos, integram-se profundamente aos princípios da Ciência da Aprendizagem, um campo interdisciplinar que combina *insights* da neurociência, psicologia da educação e ciência cognitiva. Especificamente, a Teoria da Carga Cognitiva e a Teoria Multimídia de Aprendizagem, derivadas dessa ciência, têm sido essenciais para aprimorar a eficácia desses sistemas.

Os tutores inteligentes utilizam, com frequência, múltiplos formatos de apresentação, como animações, gráficos e narrações. Estes são integrados para aproveitar a capacidade do cérebro de processar simultaneamente informações visuais e auditivas através de canais distintos, conforme defendido pela Teoria Multimídia de Aprendizagem. A combinação harmoniosa de texto, imagens e sons não só enriquece a experiência do aluno, mas também aprofunda sua compreensão, especialmente em conceitos complexos. Isso foi explorado nas pesquisas realizadas pelo nosso sobre o emprego de gestos de agentes pedagógicos animados para salientar aspectos mais importantes do problema a ser resolvido ou de enunciados (Carlotto; Jaques, 2016; Martins *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2016; Reis *et al.*, 2021). Além disso, muitos dos STIs voltados à assistência em tarefas, como o PAT2Math, que veremos na próxima seção, incorporam princípios da Ciência da Aprendizagem sobre a prática e aprendizagem. *Interleaved practice*, na qual diferentes tipos de questões ou tópicos são misturados em vez de serem agrupados por tema, é frequentemente aplicada. Por exemplo, no STI PAT2Math, há sempre um plano de equações envolvendo equações de vários tipos no final de cada seção (Azevedo *et al.*, 2020). Esta abordagem promove a capacidade do aluno de discernir entre diferentes tipos de problemas e aplicar a técnica apropriada para resolvê-los.

Embora as teorias da Carga Cognitiva e da Aprendizagem Multimídia sejam amplamente reconhecidas e aplicadas no desenvolvimento de STIs, é importante enfatizar que elas não são a única base teórica utilizada nesta área. Por exemplo, alguns pesquisadores optaram por construir seus STIs com base nas ideias do psicólogo russo Lev Vygotsky e sua Teoria Sociocultural da Aprendizagem. Vygotsky defendia que a aprendizagem é um processo essencialmente social, que ocorre através da interação com outros indivíduos mais experientes dentro de uma “zona de desenvolvimento proximal”, que é a diferença entre o que o aprendiz pode fazer sozinho e o que ele pode fazer com ajuda (Vygotsky, 1978; Chaiklin, 2003). Assim, STIs inspirados em Vygotsky muitas vezes incorporam elementos sociais, como avatares ou agentes virtuais, que atuam como “companheiros de aprendizagem” para guiar e apoiar o aluno através de desafios ou buscam detectar a zona de desenvolvimento proximal (Murray; Arroyo, 2002).

#### **4. Contribuições em IA para Educação: Casos de Estudo**

Nessa seção serão apresentados os dois STIs cuja concepção e desenvolvimento, incluindo aspectos pedagógicos, foram realizados por mim e pelo meu grupo de pesquisa. São eles: (i) PAT2Math, um STI baseado em passos, desenvolvido para assistir estudantes na resolução de equações de 1º grau, voltado ao 7º ano do ensino fundamental; e (ii) o



Feeper, um STI baseado em respostas, que visa apoiar alunos e professores de disciplinas introdutórias de programação. Também serão apresentadas as experiências de emprego desses dois sistemas *in loco*. O PAT2Math foi usado de 2014 a 2020 por escolas parceiras de São Leopoldo e Porto Alegre. Feeper foi adotado pelos professores das disciplinas de Laboratório I dos cursos de computação de universidade particular do sul do Brasil entre os anos de 2013 e 2020.

#### 4.1 PAT2Math

O PAT2Math é um sistema tutor inteligente web baseado em passos que assiste os estudantes enquanto eles resolvem equações de 1º grau. No seu laço externo, é apresentada uma sequência fixa de tarefas para o aluno, organizada por planos, que vão aumentando gradativamente a sua complexidade. O laço interno consiste de uma interface gráfica que assiste o estudante na resolução passo-a-passo da equação escolhida.

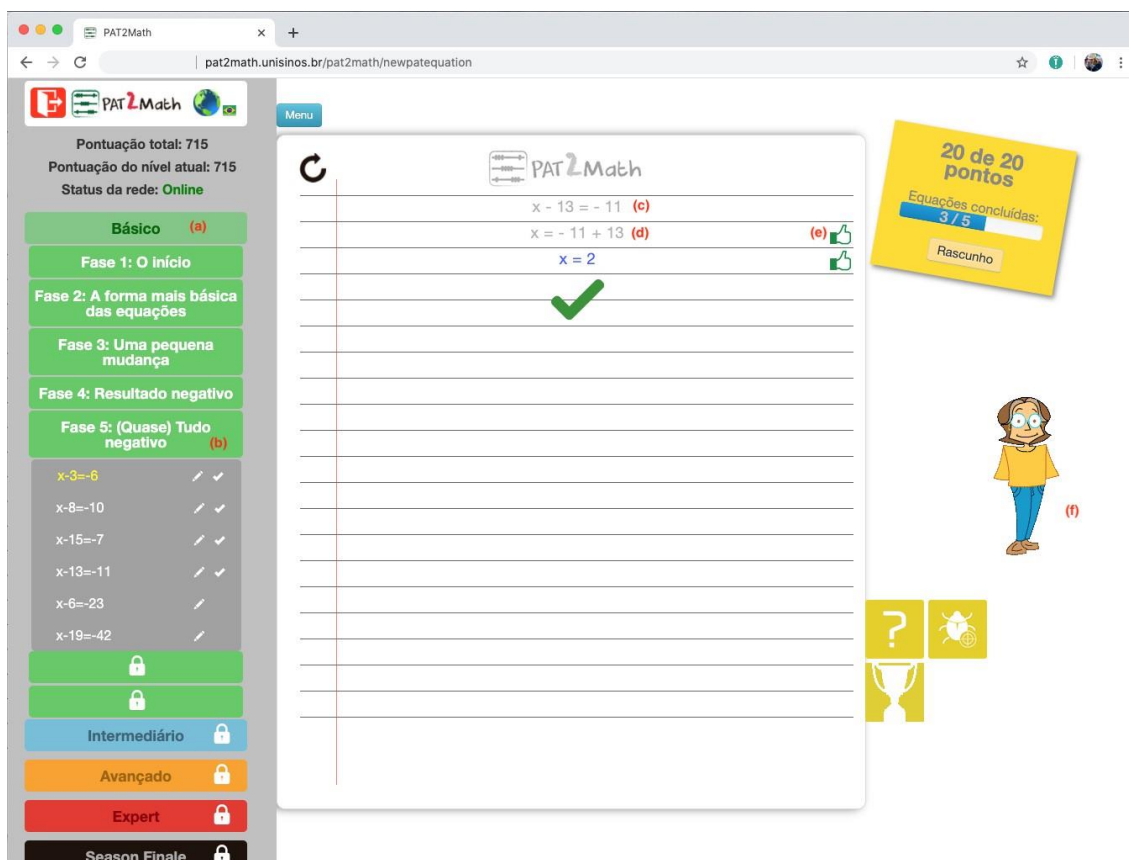
A Figura 1 ilustra a interface do STI PAT2Math. As equações estão organizadas em planos, que estão agrupadas por níveis de dificuldade. O aluno deve escolher uma equação do plano corrente para resolver (na Figura, item (b), plano “Fase 5”). Dentro de um plano, ele pode escolher as equações aleatoriamente, uma vez que todas as tarefas do mesmo plano trabalham as mesmas habilidades e possuem o mesmo nível de dificuldade.

Digamos que o estudante escolheu a equação “ $x - 13 = -11$ ” para resolver (conforme a Figura 1, (c)). As próximas linhas na interface (d) representam passos fornecidos pelo aluno durante a resolução da equação. Para cada passo, o tutor provê uma correção em tempo real sinalizando se a solução intermediária está correta (e). Se a resposta está incorreta, o tutor provê um *feedback* de erro e permite que o aluno forneça um novo passo. Além disso, caso o aluno não saiba como proceder, ele pode solicitar ao sistema uma dica, clicando no agente animado (f). O aluno pode solicitar dicas consecutivas para um mesmo passo. Primeiramente, as dicas são mais genéricas (por exemplo, “Que operação você acredita que deve realizar no termo -13?”) e vão se especificando a cada solicitação do aluno, até fornecerem a resposta do passo (por exemplo, “A resposta é  $x=2$ ”) (Seffrin *et al.*, 2012).

Para que o STI tenha a habilidade de corrigir em tempo real cada passo fornecido pelo aluno, ele deve ser capaz de resolver, passo-a-passo, os mesmos problemas que o aluno deverá resolver no tutor. Para tanto, os STIs possuem um modelo do domínio, geralmente representado por um sistema especialista. Esse é um módulo inteligente que usa técnicas de Inteligência Artificial (IA), como regras de produção, no caso do PAT2Math, para resolver passo-a-passo um problema, o que é geralmente chamado de Gerador de Passos (“*Step Generator*”, em inglês) (VanLehn, 2006). Uma vez que o sistema especialista

sabe resolver o problema, corrigir um passo do aluno consiste geralmente em compará-lo com uma das soluções possíveis construídas pelo sistema especialista. Essa tarefa é realizada nos STIs baseados em passos pelo componente Analisador de Passos (“*Step Analyser*”, em inglês) (VanLehn, 2006). No PAT2Math, esse componente também foi implementado como um sistema especialista (Jaques *et al.*, 2013)<sup>5</sup>.

Figura 1 – Interface do PAT2Math



Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada passo realizado pelo aluno, o sistema especialista do PAT2Math consegue verificar quais unidades de conhecimento foram empregadas corretamente pelo aluno. Geralmente, o sistema também sabe reconhecer os erros mais comuns realizados pelo aluno (falsas concepções, do inglês *misconceptions*). Essas informações específicas sobre o desempenho do aluno em cada passo são sintetizadas pelo modelo de aluno para inferir e guardar o conhecimento do estudante sobre uma determinada unidade de conhecimento ou habilidades mais genéricas. No PAT2Math, foi desenvolvido um modelo de

<sup>5</sup> Uma descrição mais detalhada da arquitetura do PAT2Math e dos aspectos de implementação pode ser encontrada na dissertação de mestrado de Tiago Kautzmann: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/4913>

aluno com redes bayesianas dinâmicas, que infere o conhecimento algébrico do estudante relacionado à aplicação de operações algébricas para resolução de equações de 1º grau, bem como falsas concepções (Seffrin; Jaques, 2014; Seffrin; Jaques, 2015)<sup>6</sup>. Além do conhecimento do estudante, o modelo de aluno também pode armazenar outras informações sobre o aluno, como estados afetivos (por exemplo, frustração ou satisfação durante a aprendizagem), traços de personalidade (como extroversão ou introversão), entre outros. De fato, o grupo tem trabalhado na detecção livre de sensores de emoções orientadas à aprendizagem (engajamento, confusão, frustração e tédio) tanto no PAT2Math como no Feeper (Kautzmann; Ramos; Jaques, 2022; Morais; Jaques, 2020; Morais; Jaques, 2023b). Estes dados podem ser utilizados para personalizar ainda mais a experiência do aluno, adaptando-se à sua maneira única de aprender e reagir aos desafios, otimizando assim o processo de ensino.

O PAT2Math contém um agente pedagógico animado (APA), como pode ser visualizado na Figura 1.(f). Os APAs são agentes (software inteligente) representados por um personagem animado com características semelhantes às daquelas de seres vivos inteligentes. Estas características, tais como, expressões faciais e gestuais, juntamente com uma boa interface de diálogo com o usuário, tornam esses agentes mais atraentes ao aluno. Desta maneira, diferentemente dos sistemas convencionais, a comunicação de APAs tem uma natureza mais social e antropomórfica. Eles exploram a tendência natural das pessoas em se engajar em interações sociais com computadores, nomeada “*The Media Equation*” (Reeves; Nass, 1996).

No PAT2Math, os APAs têm sido empregados para dar dicas e realizar explicações empregando gestos, o que tem sido relacionado a melhor aprendizagem dos estudantes (Martins *et al.*, 2016; Cook; Duffy; Fenn, 2013). Eles também interagem com os estudantes através de uma atitude amigável, com mensagens de encorajamento, passando a impressão de que estão ali para ajudar, que se importam com o estudante, diminuindo, possivelmente, a sensação de isolamento. As mensagens de encorajamento dos agentes pedagógicos podem também auxiliar a promover a autoeficácia dos estudantes, ou seja, a sua confiança nas suas habilidades e potencial (Meij; Meij; Harmsen, 2015).

---

6 Em sua versão atual, o PAT2Math trabalha apenas a resolução de equações e estamos conscientes que essa é apenas uma etapa inicial de um STI que realmente venha auxiliar o estudante na resolução de problemas algébricos. O grupo tem realizado alguns estudos em como auxiliar estudantes na tradução de problemas algébricos (Lemos; Jaques, 2016), que seria uma evolução natural desse sistema

## 4.2 PAT2Math nos colégios São Luís e Anchieta

De 2014 a 2020, o PAT2Math foi usado semanalmente por alunos do 7º ano do Colégio São Luís, em São Leopoldo (Machado, 2020). Uma vez por semana, esses estudantes visitavam o laboratório da escola, dedicando-se à resolução de equações com o suporte do tutor artificial. Esta prática reflete a abordagem pedagógica de ‘aprender fazendo’, amplificada pela assistência do tutor inteligente. A coordenação pedagógica do colégio relatou informalmente ao nosso grupo de pesquisa um notável progresso nas habilidades dos alunos do 8º ano em equações algébricas, um progresso atribuído ao uso contínuo do PAT2Math. Os alunos relataram encontrar a interação com o tutor mais engajante e divertida (Geração Futura, 2017).

De 2018 a 2020, frente ao cenário da pandemia de COVID-19 e a consequente adaptação ao ensino online, o Colégio Anchieta introduziu o PAT2Math para suas turmas do 7º ano (Colégio Anchieta, 2018; Colégio Anchieta, 2019; Bisotto *et al.*, 2019). O STI foi disponibilizado para aproximadamente 250 alunos, espalhados por sete turmas, como um recurso adicional. Os desafios apresentados pelo tutor podiam ser abordados como tarefas de casa, oferecendo aos alunos uma oportunidade de ganhar pontos extras e aumentando o engajamento. O engajamento foi ainda ampliado pela gamificação do PAT2Math, que utiliza elementos de jogos, como medalhas, pontuações e *ranking*, enriquecendo a experiência de aprendizado matemático (Azevedo; Morais; Jaques, 2018).

Durante o período de isolamento, pudemos observar de forma subjetiva que o tutor artificial do PAT2Math conferiu uma sensação de companhia e apoio aos estudantes. Em vez de se depararem solitariamente com desafios matemáticos, eles dispunham do tutor para interagir e auxiliá-los, tornando o aprendizado mais amigável e eficiente. Além disso, os professores relataram que tiveram *feedback* dos alunos e pais sobre o uso do PAT2Math na escola (Colégio Anchieta, 2020). A importância da prática regular na solidificação do aprendizado é corroborada por (Koedinger *et al.*, 2015), ressaltando o valor da abordagem “aprender fazendo”, sobretudo quando se alinha a uma perspectiva construcionista na educação.

Paralelamente à implementação prática do PAT2Math, foram realizados vários estudos empíricos para avaliar diferentes funcionalidades do sistema. Consistentemente, esses estudos de orientandos de mestrado e doutorado revelaram um ganho substancial no aprendizado dos alunos, conforme evidenciado pela comparação dos resultados de pré-testes e pós-testes. Por exemplo, o estudo de Morais e Jaques (2022) comparou o impacto dos métodos de entrada de dados - digitação e escrita à mão - na aprendizagem matemática. Embora os alunos que usaram a escrita à mão tenham resolvido mais

equações e mais rapidamente, não houve diferença significativa no aprendizado entre os dois métodos. Já no estudo de Kautzmann (2015), Kautzmann, Carlotto e Jaques (2016), Kautzmann e Jaques (2019), o foco foi o treinamento metacognitivo, que mostrou uma melhoria significativa na habilidade dos alunos de monitorar o próprio conhecimento e na resolução de equações. Outros estudos, como os de Martins *et al.* (2014, 2016), investigaram a eficácia dos gestos de um agente pedagógico animado na melhoria da compreensão dos alunos sobre dicas abstratas em matemática. A pesquisa de Azevedo e Jaques (2020) demonstrou que agentes pedagógicos com atitudes amigáveis tinham um impacto mais positivo no aprendizado e engajamento dos alunos, enquanto os estudos de Gomes e Jaques (2020, 2023) destacaram a capacidade do sistema de identificar conceitos errôneos em matemática. Finalmente, a pesquisa de Azevedo, Morais e Jaques (2018) indicou que a gamificação poderia reduzir comportamentos de tentativa e erro.

Além dos resultados anteriores, amparados por avaliação empírica, durante minhas visitas às instituições parceiras, vivenciei um momento que destacou o poder transformador desta tecnologia, especialmente para alunos com necessidades especiais. Em uma dessas visitas a um laboratório de informática, fui abordada por um estudante do sétimo ano com deficiência mental. Ele compartilhou, com entusiasmo e apreciação, sua conquista de resolver uma equação de forma autônoma, sem ajuda do professor ou de outro colega, pela primeira vez, graças à orientação passo a passo do tutor. Esta experiência subjetiva não apenas evidencia o potencial do Sistema de Tutoria Inteligente, mas também exemplifica o impacto profundo que a tecnologia pode ter quando aplicada com empatia e inovação.

### 4.3 Feeper

O ensino de programação em cursos de tecnologia da informação é fundamental, pois representa um dos pilares da vida profissional dos alunos. Geralmente, já no primeiro semestre de cursos em Informática (como Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Ciência da Computação e Sistemas de Informação), os alunos são apresentados às disciplinas de programação. Muitos encontram dificuldades neste primeiro contato, o que resulta em altas taxas de reprovação, desistência e mudança de cursos (Kinnunen; Malmi, 2006).

A metodologia frequentemente empregada no ensino de programação é “aprender fazendo”, ou em inglês, “*learning by doing*” (Anzai; Simon, 1979; Clark; Mayer, 2008). Esta foi a abordagem adotada ao usar o Feeper no ensino de programação em Java (Figura 2). Comumente, o professor propõe trabalhos de programação com desafios progressivos e os disponibiliza para os alunos. Após a conclusão destes exercícios pelo aluno, inicia-se a extensa tarefa do professor de corrigir e apontar os erros encontrados. Durante a execução dos exercícios, é comum que os alunos consultem o professor para esclarecer dúvidas. No

entanto, devido ao volume de trabalho, o professor muitas vezes não consegue responder prontamente, o que pode desmotivar os alunos.

A fim de oferecer suporte ao ensino de programação e atenuar essas dificuldades, educadores recorrem a recursos e ferramentas computacionais para auxiliar na correção e no monitoramento dos alunos. Uma dessas ferramentas são os Juizes Online. Estes sistemas, comumente utilizados em competições de programação e disponibilizados via web, permitem que os alunos submetam soluções para desafios. O Juiz Online executa o programa do aluno com entradas pré-definidas e compara os resultados com saídas esperadas. Desta forma, o Juiz pode oferecer uma resposta quase imediata, validando ou não a solução do estudante. Um exemplo de Juiz Online é o Bee Crowd<sup>7</sup>, desenvolvido no Brasil, e utilizado por educadores para auxiliar no ensino de programação.

Figura 2 – Interface do módulo do aluno do Feeper

The screenshot displays the Feeper web interface. At the top, there's a navigation bar with 'feeper' logo, 'Mensagens', 'Termo de Consentimento', 'Turmas', and 'Laboratório 1 - 2020/1'. A user profile 'Patricia aluno teste' is visible. Below the navigation, there are tabs for 'Lista de Exercícios', 'Resultado Exercícios', and 'Meus Colegas'. A green bar indicates 'Parabéns! Você conseguiu resolver o exercício.' The exercise title is 'Exercício: Aula 10 - E1 - Matematica'. On the left, a 'Classes' panel shows 'Matematica' selected. The 'Detalhamento' section contains instructions for creating a class and methods. On the right, a code editor shows the Java code for the 'Matematica' class, including a constructor, getters, setters, and a factorial method.

Fonte: Elaborado pela autora.

<sup>7</sup> <https://www.beecrowd.com.br/>.

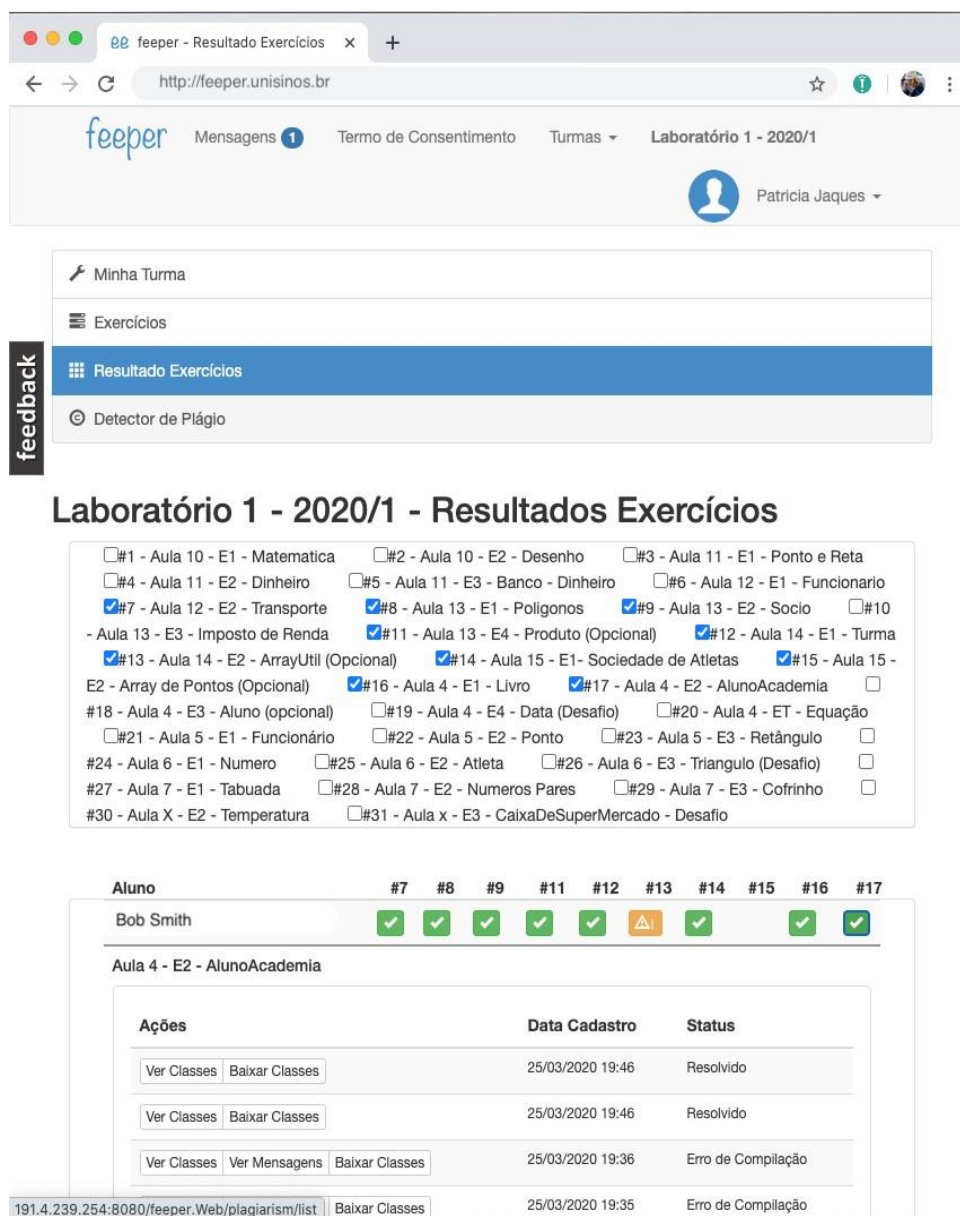
Enquanto as plataformas de Juízes Online avaliam os códigos submetidos, identificando se estão corretos ou não, elas não fornecem feedback específico sobre o tipo de erro, suas causas ou sua localização. Isso ocorre devido à natureza de sua aplicação em competições de programação. Embora essa abordagem possa ser desafiadora e motivadora para alunos mais avançados, ela é frequentemente frustrante para iniciantes.

Motivada por este cenário e minha pesquisa em Inteligência Artificial aplicada à Educação, desenvolvi, com colaboradores, o Feeper: um sistema tutor para apoiar os alunos nos primeiros semestres de cursos de computação no aprendizado de programação (Alves; Jaques, 2014a). O Feeper permite que os estudantes leiam os enunciados dos problemas e desenvolvam seus códigos por meio de um editor de texto integrado que fornece correção automática em tempo real. Em caso de erros, o Feeper fornece *feedbacks* que ajudam o aluno a identificar e corrigir falhas. Além disso, elementos de gamificação são empregados para engajar os alunos a solucionar os desafios de programação (Smiderle *et al.*, 2019).

O Feeper também oferece ferramentas para auxiliar os professores. Por meio de um *dashboard*, o educador pode ter uma visão geral do progresso dos alunos. Na Figura 3, cada linha representa um aluno e cada caixa representa a realização de um exercício, onde a caixa verde significa que o aluno realizou o exercício com sucesso, a caixa vermelha é exibida quando o código do aluno tem erros de compilação (erros de sintaxe do programa, impedindo que o programa seja executado) e a caixa amarela quando apresenta erros lógicos (quando o programa executa, mas não gera o resultado esperado). Além disso, como ilustrado na Figura 3, o professor pode selecionar uma das caixas, para visualizar quantas submissões cada aluno realizou e quando elas foram realizadas. Ele pode ver o código de qualquer uma das submissões e escrever comentários de auxílio ao estudante que aparecerão na interface do aluno, na linha de código sinalizada pelo professor. O estudante pode responder a esses comentários ou escrever novos, se desejar.

É crucial ressaltar que o Feeper é um sistema tutor baseado em resposta. Ele assiste os alunos após a tentativa de solução, mas não fornece suporte passo-a-passo, indicando uma área de desenvolvimento futuro para o sistema.

Figura 3 – Interface do módulo do aluno do Feeper



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.4 Feeper para Ensino de Programação para Alunos em Fases Iniciais

O Feeper foi utilizado entre 2013 e 2020 para apoiar o ensino de programação em cursos introdutórios. As aulas ocorriam em laboratórios de informática e eram coordenadas com uma disciplina teórica. A ideia era que os conceitos teóricos fossem abordados nessa disciplina teórica, enquanto a prática seria realizada em laboratórios, onde os alunos desenvolviam pequenos projetos de programação.



No laboratório, o educador frequentemente iniciava a aula revisando conceitos necessários para os projetos. Em seguida, os alunos eram convidados a realizar até três projetos de programação, envolvendo os conceitos discutidos. Esses exercícios faziam parte do processo avaliativo do curso.

O feedback imediato fornecido pelo Feeper era particularmente apreciado pelos alunos, permitindo-lhes corrigir erros com mais autonomia e em tempo real. Antes da inserção do Feeper, o feedback manual dado pelo professor poderia levar até uma semana, aumentando a frustração dos alunos. Por outro lado, os educadores beneficiavam-se da correção automática e da ferramenta anti-plágio integrada ao sistema.

Desde o início de sua implementação, diversas avaliações foram realizadas com o Feeper, especialmente para alunos nas fases iniciais de cursos de tecnologia da informação, por mestrandos e doutorandos que usaram o Feeper como estudo de caso de seus projetos de pesquisa. Os resultados dessas pesquisas demonstram sua eficácia e as diversas inovações integradas ao sistema ao longo do tempo.

O estudo inicial de Alves e Jaques (2014) introduziu o Feeper como um ambiente virtual com feedback personalizado, apoiando eficazmente o ensino de programação. Esta versão inicial já oferecia recursos como interação facilitada e ferramentas de apoio ao professor. Uma avaliação feita com 24 alunos ao longo de dois meses revelou uma experiência positiva e um valor agregado significativo ao processo educacional.

Posteriormente, em 2015, Vier, Gluz e Jaques (2015) enriqueceram o Feeper com a integração de Redes Bayesianas para modelar o conhecimento dos alunos em lógica de programação, oferecendo um suporte mais personalizado e adaptativo.

Posteriormente, Schneider e Jaques (2016) aprimoraram ainda mais o sistema com um mecanismo de feedback que combinava análise estática e avaliação dinâmica de código, aprimorando significativamente a correção automática das soluções de código dos alunos.

O estudo mais recente, realizado por Smiderle *et al.* (2019; 2020), focou no impacto da gamificação no aprendizado e engajamento dos alunos, com base em suas características de personalidade. Descobriu-se que a gamificação afetava diferentemente estudantes introvertidos e extrovertidos, destacando a importância de personalizar o processo de ensino.

Esses estudos realizados ao longo dos anos demonstraram um avanço contínuo no desenvolvimento do Feeper, consolidando sua eficácia como sistema tutor inteligente no contexto do ensino de programação em nível superior. A implementação deste sistema resultou em melhorias significativas no ensino de programação, evidenciadas por um

aumento no engajamento e na satisfação dos alunos. Isso destaca a relevância da personalização da aprendizagem, adaptando-se às características individuais, como a personalidade dos estudantes. Adicionalmente, o Feeper auxiliou os professores na redução da carga de trabalho associada à correção de exercícios de programação, contribuindo para a eficiência do processo educacional.

## 5. Direções Futuras de Pesquisa

A crescente demanda por ensino personalizado, que atende ao ritmo, conhecimento, características e emoções de cada estudante, coloca os Sistemas Tutores em destaque (Pelletier *et al.*, 2023). Esses sistemas têm sido adotados para proporcionar assistência personalizada, conforme evidenciado neste documento. Os exemplos apresentados ilustram que esses sistemas podem ser implementados em escolas e universidades, não para substituir professores, mas para fortalecê-los. Isso porque os libera de tarefas repetitivas e mecânicas, possibilitando maior dedicação ao acompanhamento individualizado e ao planejamento didático (Luckin *et al.*, 2016).

No futuro, é plausível imaginar um cenário onde os Sistemas Tutores sejam amplamente adotados em instituições educacionais. Seriam intercalados momentos de aulas expositivas com atividades práticas assistidas pelos tutores. Além disso, essas sessões seriam complementadas com metodologias ativas como aprendizagem baseada em projetos, atividades colaborativas e instrução entre pares. Muitas dessas atividades também poderiam ser mediadas por ambientes inteligentes de aprendizagem específicos.

Nesse contexto, o papel do professor evolui. Eles poderiam se dedicar mais aos alunos com dificuldades, esclarecendo dúvidas complexas e utilizando sistemas para monitorar o progresso dos alunos. *Feedbacks* constantes provenientes dos STIs permitiriam que os professores adaptassem suas estratégias pedagógicas de forma mais dinâmica. Na prática, alguns estudos (Xhakaj; Alevén; McLaren, 2017; Kelly *et al.*, 2013) mostraram que essa é a forma mais efetiva de uso dos ambientes inteligentes de aprendizagem.

Apesar dos benefícios, limitações foram observadas em avaliações práticas, como comportamento de manipulação do sistema (do inglês “*gaming the system*”), desinteresse ao longo do tempo e dificuldades na compreensão dos *feedbacks* (Azevedo; Morais; Jaques, 2018; Baker, 2011). Essas limitações estavam ligadas aos recursos de interação do tutor com o aluno, seja em relação a soluções audiovisuais para explanações, assim como falta de recursos voltados à promoção do engajamento dos estudantes (Azevedo; Morais; Jaques, 2018).

Para superar essas limitações, uma das direções futuras de nossa pesquisa é a integração de *Large Language Models (LLMs)* (Modelos Grandes de Linguagem, em tradução livre), i.e., inteligência artificial generativa voltada à produção de texto. Exemplos de LLMs incluem o *Generative Pre-trained Transformer (GPT-3)* (Floridi; Chiriatti, 2020), modelo do ChatGPT, desenvolvido pela OpenAI<sup>8</sup>, e o Bing da Microsoft<sup>9</sup>. Os LLMs têm o potencial de tornar a comunicação do tutor mais natural e o sistema mais adaptativo às necessidades individuais dos estudantes. Além disso, com a sofisticação dos LLMs em tratamento de linguagem natural, planejamos incorporar suporte à resolução de “problemas verbais” algébricos (ou “*algebra word problems*”, em inglês). Essa é uma área na qual não conseguimos desenvolver uma solução efetiva até o momento, devido às limitações tecnológicas anteriores em processamento de linguagem natural, embora tenhamos tentado abordá-la em trabalhos anteriores (Lemos; Jaques, 2016).

Atualmente, venho dedicando as minhas pesquisas para o desenvolvimento de Sistemas Tutores Emocionais. Além de fornecer assistência personalizada ao conhecimento do aluno, esses tutores se adaptariam às suas emoções também. Por exemplo, hoje sabe-se que a confusão pode ter um papel duplo na aprendizagem. Ao mesmo tempo que leva o estudante à ação, a alocar recursos cognitivos para resolver essa confusão, se persistir durante muito tempo ela pode levar a frustração e tédio, que se sabe que tem efeito negativo na aprendizagem (D’Mello *et al.*, 2014; D’Mello; Lehman; Graesser, 2011). Assim, meu grupo de pesquisa tem trabalhado na identificação automática da confusão (Kautzmann; Ramos; Jaques, 2022; Moraes; Jaques, 2023a), e outras emoções, e no melhor momento para intervir de forma a promover melhor aprendizagem e engajamento (Goldoni; Reis; Jaques, 2022; Reis *et al.*, 2018).

No entanto, assim como a grande maioria das pesquisas na área, o foco desses trabalhos é ainda como regular as emoções do estudante de forma a tornar a aprendizagem mais efetiva, onde o tutor é o agente dessa regulação (regulação extrínseca). Ele diz para o estudante “o quê” o estudante deve fazer em uma determinada situação educacional do ambiente computacional que levou a uma emoção. No entanto, ele não explica ao estudante “como” as suas emoções surgem e quais as maneiras de regulá-las nessa e em outras situações (regulação intrínseca). Isso é importante para que os jovens saibam transferir esse metac conhecimento para outras situações da sua vida e se caracteriza como uma habilidade socioemocional.

---

<sup>8</sup> <http://chat.openai.com/>

<sup>9</sup> <http://www.bing.com>

As características do desenvolvimento socioemocional incluem a capacidade de identificar e entender os próprios sentimentos, interpretar e compreender estados emocionais em outros, gerenciar emoções fortes e sua expressão de forma construtiva, regular o próprio comportamento, desenvolver a empatia pelos outros e estabelecer e manter relacionamentos (NATIONAL SCIENTIFIC COUNCIL ON THE DEVELOPING, 2004). E essas habilidades socioemocionais podem ser ensinadas e aprendidas (Durlak *et al.*, 2011). Embora houvesse alguma controvérsia sobre o verdadeiro impacto de estratégias de ensino de habilidades socioemocionais em escolas (Mayer; Cobb, 2000), estudos recentes têm trazido evidências de que políticas públicas para desenvolvimento de habilidades socioemocionais têm um impacto positivo tanto no desenvolvimento dessas habilidades quanto no sucesso escolar (Durlak *et al.*, 2011; Wigelsworth *et al.*, 2016; Santos; Primi, 2014; Waldemar *et al.*, 2016).

No Brasil, o tema vem ganhando atenção especial. Estudo desenvolvido pelo Instituto Ayrton Sena e pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) no Rio de Janeiro mostra que adolescentes com competências socioemocionais mais desenvolvidas tendem a ter melhor desempenho escolar (OECD, 2013). Embora o desenvolvimento de habilidades socioemocionais já esteja presente na Lei de diretrizes e bases da educação nacional (BRASIL, 1996), o tema ganhou maior visibilidade recentemente com sua inclusão, juntamente com as competências cognitivas e comunicativas, no documento da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017).

Nesse contexto, estamos trabalhando na proposta de um agente conversacional socioemocional, que auxilie o estudante a entender e a como regular as suas próprias emoções. Para tanto, o trabalho possuirá um modelo emocional capaz de detectar automaticamente as emoções do estudante pela sua conversação empregando algoritmos de aprendizado de máquina, assim como modelar o processo de *appraisal* de suas emoções (Scherer, 2000), que explica o processo de avaliação cognitiva subjetiva que levou a uma emoção. O agente será representado através de um agente pedagógico animado e conversacional, que interagirá através de diálogo com o estudante. Dessa forma, através da interação com o aluno, ele auxiliará o estudante a compreender as suas emoções e a decidir como agir apropriadamente.

O agente pode explicar ao estudante como as suas emoções surgem (seu *appraisal*) e quais as maneiras de regulá-las nessa e em outras situações. Esse conhecimento é importante para que os jovens saibam transferi-lo para outras situações da sua vida e se caracteriza como uma habilidade socioemocional. Além disso, o agente poderá ensinar ao aluno como reavaliar cognitivamente certas situações educacionais, de forma a produzir

uma mentalidade mais propícia à aprendizagem (por exemplo, baseado na teoria de “*Growth Mindset*” (Dweck, 2017). Como toda habilidade socioemocional, a identificação e regulação de emoções é uma habilidade que pode ser ensinada e aprendida (Durlak *et al.*, 2011).

## 6. Agradecimentos

Este estudo recebeu apoio financeiro parcial de agências brasileiras de financiamento à pesquisa, incluindo a CAPES (Código Financeiro 001), FAPERGS (processo 17/25510001203-8) e CNPq (processo 306005/2020-4).

## 7. Referências

- ALEVEN, V.; XHAKAJ, F.; HOLSTEIN, K.; MCLAREN, B. M. Developing a teacher dashboard for use with intelligent tutoring systems. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON TEACHING ANALYTICS*, 6, 2016. **Proceedings...** Lyon, France: 2016. p. 15–23.
- ALEVEN, V.; BLANKESTIJN, J.; LAWRENCE, L.; NAGASHIMA, T.; TAATGEN, N. A dashboard to support teachers during students’ self-paced ai-supported problem-solving practice. *In: Educating for a New Future: Making Sense of Technology-Enhanced Learning Adoption*. Berlim, Heidelberg: Springer, 2022. p. 16–30.
- ALVES, F. P.; JAQUES, P. Um ambiente virtual com feedback personalizado para apoio a disciplinas de programação. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO*, 25., 2014, Dourados. **Anais...** Dourados: SBC, 2014. p. 1078–1082. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/cbie.wcbie.2014.51>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- ANZAI, Y.; SIMON, H. A. The theory of learning by doing. **Psychological review**, American Psychological Association, v. 86, n. 2, p. 124, 1979. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.86.2.124>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- AZEVEDO, O.; JAQUES, P. A. Um agente pedagógico gentil é mais efetivo? efeito das atitudes de agentes pedagógicos animados na aprendizagem, engajamento, emoções e ansiedade dos estudantes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE)*, 9., 2020 Natal, RN. **Anais...** Natal, RN: SBC, 2020. p. 762-771. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.762>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- AZEVEDO, O.; MORAIS, F.; JAQUES, P. A. Exploring gamification to prevent gaming the system and help refusal in tutoring systems. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING*, 13., 2018, Leeds. **Proceedings...** Leeds, UK: Springer, 2018. p. 231–244. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-98572-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98572-5_18). Acesso em: 09 fev. 2024.
- AZEVEDO, O. B.; MORAIS, F.; KAUTZMANN, T.; JAQUES, P. A. The effects of presenting a worked example before a sequence of isomorphic problems. *In: CONFERENCIA LATINOAMERICANA DE TECNOLOGIAS DE APRENDIZAJE (LACLO)*, 15., 2020, New York. **Proceedings...** New York, NY: IEEE, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/laclo50806.2020.9381149>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- BAKER, R. S. J. Gaming the System: A Retrospective Look. **Philippine Computing Journal**, v. 6, n. 2, p. 9–13, 2011.

BAKER, R. S. J. Stupid tutoring systems, intelligent humans. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, n. 2, p. 600–614, June 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0105-0>. Acesso em: 09 fev. 2024.

BAKER, R. S. J. *et al.* Off-Task Behavior in the Cognitive Tutor Classroom: When Students 'Game the System'. In: SIGCHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2004. **Proceedings...** New York, NY: ACM, 2004. p. 383–390. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/985692.985741>. Acesso em: 09 fev. 2024.

BISOTTO, M.; SANTOS, M.; SILVA, C. O.; LIMA, J. O. O jogo na interação matemática. **Revista Anchieta**, Colégio Anchieta, ano XII, v. 12, n. 35, p. 9, 2019. Disponível em: [https://issuu.com/revistaanchieta/docs/\\_revistaset2019\\_0210\\_web](https://issuu.com/revistaanchieta/docs/_revistaset2019_0210_web). Acesso em: 09 fev. 2024.

BRASIL, Lei n. 9.394/96, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 27833, 23 dez. 1996. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm). Acesso em: 09 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. 2017. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf). Acesso em: 09 fev. 2024.

CARLOTTO, T., JAQUES, P. A. The effects of animated pedagogical agents in an English-as-a-foreign-language learning environment. **International Journal of Human Computer Studies**, v. 95, p. 15-26, Nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.06.001>. Acesso em: 09 fev. 2024.

CHAIKLIN, S. The zone of proximal development in vygotsky's analysis of learning and instruction. In: **Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context**. London, UK: Cambridge University Press. (Learning in Doing: Social, Cognitive and Computational Perspectives), 2003, p. 39–64.

CLARK, R. C.; MAYER, R. E. Learning by viewing versus learning by doing: Evidence-based guidelines for principled learning environments. **Performance Improvement**, Wiley Online Library, v. 47, n. 9, p. 5–13, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pfi.20028>. Acesso em: 09 fev. 2024.

COLÉGIO ANCHIETA. **Alunos do 7º Ano estudam equações com ajuda de um tutor online**, Porto Alegre, 07 set. 2018. Disponível em: <https://www.colegioanchieta.g12.br/alunos-do-7o-ano-estudam-equacoes-com-ajuda-de-um-tutor-online/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

COLÉGIO ANCHIETA. **Alunos do 7º Ano estudam matemática com a ajuda de sistemas tutores**, Porto Alegre, 25 jun. 2019. Disponível em: <https://www.colegioanchieta.g12.br/alunos-do-7o-ano-estudam-matematica-com-a-ajuda-de-sistemas-tutores/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

COLÉGIO ANCHIETA. **Pelo terceiro ano consecutivo, sistema tutor inteligente é utilizado nas aulas de matemática do 7º ano**, Porto Alegre, 06 jul. 2020. Disponível em: <https://www.colegioanchieta.g12.br/pelo-terceiro-ano-consecutivo-sistema-tutor-inteligente-e-utilizado-nas-aulas-de-matematica-do-7o-ano/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

COOK, S. W.; DUFFY, R. G.; FENN, K. M. Consolidation and Transfer of Learning after Observing Hand Gesture. **Child development**, Willey, v. 84, n. 6, p. 1863-1871, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cdev.12097>. Acesso em: 09 fev. 2024.

CREMER, D. D.; KASPAROV, G. AI should augment human intelligence, not replace it. **Harvard Business Review**, v. 18, p. 1, 2021. Disponível em: <https://hbr.org/2021/03/ai-should-augment-human-intelligence-not-replace-it>. Acesso em: 09 fev. 2024.

DICKLER, R. An intelligent tutoring system and teacher dashboard to support mathematizing during science inquiry. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION, 20., 2019, Berlin. **Proceedings...** Part II. Berlin: Springer, 2019. v. 20, p. 332–338.

D'MELLO, S. K. Big data in the science of learning. In: WOO, S. E.; TAY, L.; PROCTOR, R. W. (Eds.). **Big data in psychological research**. American Psychological Association, 2020. p. 203-225. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/0000193-010>. Acesso em: 09 fev. 2024.

D'MELLO, S. K.; LEHMAN, B.; GRAESSER, A. C. A Motivationally Supportive Affect-Sensitive AutoTutor. In: CALVO, R. A.; D'MELLO, S. K. (Ed.). **New Perspectives on Affect and Learning Technologies**. New York, NY: Springer New York, 2011. p. 113–126.

D'MELLO, S.; LEHMAN, B.; PEKRUN, R.; GRAESSER, A. Confusion can be beneficial for learning. **Learning and Instruction**, v. 29, p. 153–170, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.05.003>. Acesso em: 09 fev. 2024.

DURLAK, J. A.; WEISSBERG, R. P.; DYMNIKI, A. B.; TAYLOR, R. D.; SCHELLINGER, K. B. The Impact of Enhancing Students' Social and Emotional Learning: A Meta-Analysis of School-Based Universal Interventions. **Child Development**, Willey, v. 82, n. 1, p. 405–432, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01564.x>. Acesso em: 09 fev. 2024.

DWECK, C. **Mindset: Changing the Way You think to Fulfil Your Potential**. Hachette, UK, 2017.

FLORIDI, L.; CHIRIATTI, M. GPT-3: Its nature, scope, limits, and consequences. **Minds and Machines**, v. 30, n. 4, p. 681–694, 2020.

GERAÇÃO FUTURA. **Universidades Parceiras 2016** - Vanessa Souza – Unisinos. Produção de Vanessa Souza, São Leopoldo-RS: Geração Futura Globoplay, 2017. 1 vídeo (2 min). Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/6600072>. Acesso em: 11 jan. 2024.

GERBIER, E.; TOPPINO, T. C. The effect of distributed practice: Neuroscience, cognition, and education. **Trends in Neuroscience and Education**, Elsevier BV, v. 4, n. 3, p. 49–59, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tine.2015.01.001>. Acesso em: 09 fev. 2024.

GOLDONI, D. D.; REIS, H. M.; JAQUES, P. A. Modelagem estatística do tempo de permanência de estudantes no estado de confusão através de análise de sobrevivência multivariada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 33., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2022. p. 992-1005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5753/sbie.2022.224984>. Acesso em: 09 fev. 2024.

GOMES, J.; JAQUES, P. A. A data-driven approach for the identification of misconceptions in step-based tutoring systems. In: 2020, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 31., 2020, Natal. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2020. p. 1122-1131. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.sbie.2020.1122>. Acesso em: 09 fev. 2024.

GOMES, J.; JAQUES, P. A. A machine learning approach for the identification of learners' misconceptions in algebraic problem-solving. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2023, Orem. **Proceedings...** New York: IEEE, 2023. p. 221. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/ICALT58122.2023.00071>. Acesso em: 09 fev. 2024.

GUBA, E. G.; LINCOLN, Y. S. Competing paradigms in qualitative research. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (eds.). **Handbook of qualitative research**. California: Sage Publications, 1994. p. 105-118.

HEFFERNAN, N. Backtalk: Don't eliminate homework. Make it more effective. **Phi Delta Kappan**, v. 100, n. 6, p. 80–80, 2019. ISSN: 0031-7217. Disponível em: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0031721719834038>. Acesso em: 09 fev. 2024.

JAQUES, P. A.; SEFFRIN, H.; RUBI, G.; MORAIS, F.; GUILLARDI, C.; BITTENCOURT, I.; ISOTANI, S. Rule-based expert systems to support step-by-step guidance in algebraic problem solving: The case of the tutor PAT2MATH. **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 14, p. 5456–5465, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.04.004>. Acesso em: 09 fev. 2024.

JOHNSON, L.; ADAMS BECKER, S.; CUMMINS, M.; ESTRADA, V.; FREEMAN, A.; HALL, C. **NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition**. Austin, Texas: The New Media Consortium, 2016. Disponível em: <https://library.educouse.edu/resources/2016/2/2016-horizon-report>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KARPICKE, J. D.; BLUNT, J. R. Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping. **Science**, American Association for the Advancement of Science (AAAS), v. 331, n. 6018, p. 772–775, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1199327>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KAUTZMANN, T. **Um modelo de agente pedagógico para o treinamento adaptativo da habilidade metacognitiva de monitoramento do conhecimento em sistemas tutores inteligentes**. 2015. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, São Leopoldo/RS, 2015.

KAUTZMANN, T.; CARLOTTO, T.; JAQUES, P. A. Adaptive training of the metacognitive skill of knowledge monitoring in intelligent tutoring systems. In: MICARELLI, A.; STAMPER, J.; PANOURGIA, K. (eds). *Intelligent Tutoring Systems*. **Lecture Notes in Computer Science**, vol. 9684. Cham: Springer, 2016. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-319-39583-8_33). Acesso em: 09 fev. 2024.

KAUTZMANN, T.; JAQUES, P. Effects of adaptive training on metacognitive knowledge monitoring ability in computer-based learning. **Computers and Education**, v. 129, n. 1, p. 92-105, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.017>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KAUTZMANN, T.; RAMOS, G.; JAQUES, P. O uso de estimativas de conhecimento do aluno em programação de computadores em modelos de detecção da emoção confusão livres de sensores. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 33., 2022, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2022. p. 1196–1208. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5753/sbie.2022.225768>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KELLY, K.; HEFFERNAN, N.; HEFFERNAN, C.; GOLDMAN, S.; PELLEGRINO, J.; SOFFER GOLDSTEIN, D. Estimating the effect of web-based homework. In: LANE, H. C. *et al.* (ed.). **ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION**. AIED 2013. v. 7926. **Proceedings...** Berlin,



Heidelberg: Springer, 2013. p. 824–827. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-39112-5\\_122](https://doi.org/10.1007/978-3-642-39112-5_122). Acesso em: 09 fev. 2024.

KINNUNEN, P. P.; MALMI, L. Why students drop out CS1 course? *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON COMPUTING EDUCATION RESEARCH*, 2006, New York.

**Proceedings...** New York: ACM Press, 2006. p. 97-108. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/1151588.1151604>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KOEDINGER, K. R.; ANDERSON, J. R. Effective use of intelligent software in high school math classrooms. *In: WORLD CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION*, 1993, Charlottesville. **Proceedings...** Charlottesville, VA: AACE, 1993. p. 241–248.

KOEDINGER, K. R.; KIM, J.; JIA, J. Z.; MCLAUGHLIN, E. A.; BIER, N. L. Learning is not a spectator sport: doing is better than watching for learning from a MOOC. *In: SECOND (2015) ACM CONFERENCE ON LEARNING @ SCALE - L@S '15.*, New York. **Proceedings...** New York, New York, USA: ACM Press, 2015. p. 111–120. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/2724660.2724681>. Acesso em: 09 fev. 2024.

KULIK, J. A.; FLETCHER, J. D. Effectiveness of Intelligent Tutoring Systems: A Meta-Analytic Review. **Review of Educational Research**, v. 86, n. 1, p. 42–78, mar. 2016. ISSN: 0034-6543. Disponível em: <http://rer.sagepub.com/cgi/doi/10.3102/0034654315581420>. Acesso em: 09 fev. 2024.

LEMOS, P. H.; JAQUES, P. A. Um editor inteligente para assistir estudantes na tradução de problemas algébricos. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 14, p. 1–10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.22456/1679-1916.67352>. Acesso em: 09 fev. 2024.

LENT, R.; BUCHWEITZ, A.; MOTA, M. B. **Ciência para Educação: Uma Ponte entre Dois Mundos**. Rio de Janeiro, RJ: CpE, Atheneu, 2020. 271 p.

LUCKIN, R. *et al.* **Intelligence Unleashed**. An argument for AI in Education. 2016, 60 p. Disponível em: <https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/global/Files/about-pearson/innovation/open-ideas/Intelligence-Unleashed-v15-Web.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MA, W.; ADESOPE, O. O.; NESBIT, J. C.; LIU, Q. Intelligent Tutoring Systems and Learning Outcomes: A Meta-Analysis. **Journal of Educational Psychology**, v. 106, n. 4, p. 1–18, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1037/a0037123>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MACHADO, M. Inteligência Artificial a serviço da educação. **Notícias Unisinos**, São Leopoldo, 18 jun. 2020. Disponível em: <https://www.unisinos.br/noticias/inteligencia-artificial-a-servico-da-educacao/>. Acesso em: 11 jan. 2024.

MARTINS, I. M. P.; DE MORAIS, F.; SCHAAB, B. L.; JAQUES, P. O Impacto dos gestos de Agentes Pedagógicos Animados na compreensão de dicas pelos aprendizes. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO*. [s.n.], 2014, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2014. p. 822-831. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5753/cbie.sbie.2014.822>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MARTINS, I. M. P.; DE MORAIS, F.; SCHAAB, B. L.; JAQUES, P. Pedagogical Agent Gestures to Improve Learner Comprehension of Abstract Concepts in Hints. **International Journal of Information and Communication Technology Education**, v. 12, n. 3, p. 65–75, July 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4018/IJICTE.2016070106>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MAYER, J. D.; COBB, C. D. Educational Policy on Emotional Intelligence: Does It Make Sense? **Educational Psychology Review**, v. 12, n. 2, p. 163–183, 2000. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/23363513>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MAYER, R. E. Cognitive Theory of Multimedia Learning. **The Cambridge Handbook of Multimedia Learning**, University of California, Santa Barbara, California, p. 31–48, 2005.

MAYER, R. **Applying the Science of Learning**. [S.l.]: Pearson, 2011.

MAYER, R.; MORENO, R. Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. **Educational Psychologist**, v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_6](http://dx.doi.org/10.1207/S15326985EP3801_6). Acesso em: 09 fev. 2024.

MEIJ, H. van der; MEIJ, J. van der; HARMSEN, R. Animated pedagogical agents effects on enhancing student motivation and learning in a science inquiry learning environment. **Educational Technology Research and Development**, Springer US, v. 63, n. 3, p. 381–403, 2015.

MENEZES, M. de; NETTO, J. de M.; LOPES, A.; SILVA, R.; MENEZES, R. The proposal of a dashboard for analysis and visualization of educational data of intelligent tutoring systems. *In: IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, College Station, TX, USA, 2023. **Proceedings...** New York, NY: IEEE, 2023. Disponível em: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/FIE58773.2023.10343000>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MOLLICK, E.; MOLLICK, L. Assigning AI: Seven Approaches for Students, with Prompts. **arXiv preprint arXiv:2306.10052**, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2306.10052>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MORAIS, F.; JAQUES, P. A. Considerando personalidade e transições de emoções na detecção de emoções baseada em mineração de dados. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 28, p. 749–775, 2020.

MORAIS, F.; JAQUES, P. A. Does handwriting impact learning on math tutoring systems? **Informatics in Education**, v. 21, n. 1, p. 55-90, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2022.03>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MORAIS, F.; JAQUES, P. A. The dynamics of Brazilian students' emotions in digital learning systems. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, Springer, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00339-0>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MORAIS, F.; JAQUES, P. A. Improving sensor-free affect detection by considering students personality traits. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, v. 17, p. 542-554, 2023b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3280008>. Acesso em: 09 fev. 2024. Preprint.

MURPHY, R.; ROSCHELLE, J.; FENG, M.; MASON, C. A. Investigating Efficacy, Moderators and Mediators for an Online Mathematics Homework Intervention. **Journal of Research on Educational Effectiveness**, v. 13, n. 2, p. 235–270, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19345747.2019.1710885>. Acesso em: 09 fev. 2024.

MURRAY, T.; ARROYO, I. Toward measuring and maintaining the zone of proximal development in adaptive instructional systems. In: CERRI, S. A.; GOUARDÈRES, G.; PARAGUAÇU, F. (eds.). *Intelligent Tutoring Systems. Proceedings...* Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. p. 749–758.

NATIONAL SCIENTIFIC COUNCIL ON THE DEVELOPING. **Children's emotional development is built into the architecture of their brains.** [S.l.], 2004. 12 p. Disponível em: <http://www.developingchild.net>. Acesso em: 09 fev. 2024.

NICAUD, J. F. *et al.* Experiments with Aplusix in Four Countries. **International Journal for Technology in Mathematics Education**, v. 13, n. 2, p. 79–88, 2006.

NYE, B. D.; GRAESSER, A. C.; HU, X. AutoTutor and family: A review of 17 years of natural language tutoring. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 24, n. 4, p. 427–469, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40593-014-0029-5>. Acesso em: 09 fev. 2024.

OECD. **Promovendo Competências Socioemocionais para o Progresso Social no Rio de Janeiro.** OECD Paris, 2013. Disponível em:

[http://institutoayrtonsenna.org.br/app/uploads/2022/11/RioSynopses\\_Port\\_v3-2-1.pdf](http://institutoayrtonsenna.org.br/app/uploads/2022/11/RioSynopses_Port_v3-2-1.pdf). Acesso em: 09 fev. 2024.

PAAS, F.; RENKL, A.; SWELLER, J. Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. **Educational Psychologist**, v. 38, p. 1–4, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_1](https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1). Acesso em: 09 fev. 2024.

PELLETIER, K.; ROBERT, J.; MUSCANELL, N.; MCCORMACK, M.; REEVES, J.; ARBINO, N.; GRAJEK, S.; BIRDWELL, T.; LIU, D.; MANDERNACH, J.; MOORE, A.; PORCARO, A.; RUTLEDGE, R.; ZIMMERN, J. **2023 EDUCAUSE Horizon Report**, Teaching and Learning Edition. Boulder, CO: EDUCAUSE, 2023. Disponível em: <https://library.educause.edu/media/files/library/2023/4/2023hrteachinglearning.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2024.

PIMENTEL, M.; CARVALHO, F. d. S. P. Princípios da Educação Online: para sua aula não ficar massiva nem maçante! **SBC Horizontes**, maio, 2020. Disponível em: <https://horizontes.sbc.org.br/index.php/2020/05/principios-educacao-online/>. Acesso em: 09 fev. 2024.

REEVES, B.; NASS, C. **The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places.** New York, NY: Cambridge University Press, 1996.

REIS, H.; ALVARES, D.; JAQUES, P. A.; ISOTANI, S. Analysis of Permanence Time in Emotional States: A Case Study Using Educational Software. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS (ITS), 2018, Montreal, Canada. **Proceedings...** New York, NY: Springer, 2018. p. 180–190.

REIS, H. M.; ALVARES, D.; JAQUES, P. A.; ISOTANI, S. A proposal of model of emotional regulation in intelligent learning environments. **Informatics in Education**, v. 20, n. 2, p. 317–332, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15388/infedu.2021.15>. Acesso em: 09 fev. 2024.

ROHRER, D.; DEDRICK, R. F.; STERSHIC, S. Interleaved practice improves mathematics learning. **Journal of Educational Psychology**, American Psychological Association (APA), v. 107, n. 3, p. 900–908, 2015.

ROSHELLE, J.; FENG, M.; MURPHY, R. F.; MASON, C. A. Online Mathematics Homework Increases Student Achievement. **AERA Open**, v. 2, n. 4, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2332858416673968>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SANTOS, D.; PRIMI, R. Desenvolvimento socioemocional e aprendizado escolar: Uma proposta de mensuração para apoiar políticas públicas. **Relatório sobre resultados preliminares do projeto de medição de competências socioemocionais no Rio de Janeiro**. São Paulo: OCDE, SEEDUC, Instituto Ayrton Senna, 2014. Disponível em: <https://institutoayrtonsenna.org.br/app/uploads/2022/11/desenvolvimento-socioemocional-e-aprendizado-escolar.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SCHERER, K. R. Psychological models of emotion. *In*: BOROD, J. (ed.). **The neuropsychology of emotion**. New York: Oxford University Press, 2000. cap. 6, p. 137–162.

SCHNEIDER, G.; JAQUES, P. A. Combinando técnicas de análise estática e avaliação dinâmica para avaliação de código em ambientes de aprendizagem de programação. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 8, p. 114–129, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rbca.2015.5362>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SEFFRIN, H.; JAQUES, P. Modelando o conhecimento algébrico do estudante através de Redes Bayesianas Dinâmicas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBC/CEIE), 2014, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Porto Alegre: SBC/CEIE, 2014. p. 782-791.

SEFFRIN, H.; JAQUES, P. Avaliando o conhecimento algébrico dos estudantes através de Redes Bayesianas Dinâmicas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBC/CEIE). [s.n.], 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBC/CEIE, 2015, p. 987-996. Disponível em: <http://br-ie.org/pub/index.php/sbie/article/view/5404>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SEFFRIN, H.; RUBI, G.; MORAIS, F.; GHILARDI, C.; JAQUES, P.; ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. Dicas inteligentes no Sistema Tutor Inteligente PAT2Math. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 2023, Rio de Janeiro. **Anais...** Porto Alegre: SBC, 2012.

SMIDERLE, R.; RIGO, S.; MARQUES, L. B.; COELHO, J. A. P. M.; JAQUES, P. A. Studying the impact of gamification on learning and engagement of introverted and extroverted students. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 19., 2019. **Proceedings...** New York, NY: IEEE, 2019. p. 71-75. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICALT.2019.00023>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SMIDERLE, R.; RIGO, S.; MARQUES, L. B.; COELHO, J. A. P. M.; JAQUES, P. A. The impact of gamification on students' learning, engagement and behavior based on their personality traits. **Smart Learning Environments**, v. 7, n. 3, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0098-x>. Acesso em: 09 fev. 2024.

STEENBERGEN-HU, S.; COOPER, H. A meta-analysis of the effectiveness of intelligent tutoring systems on college students' academic learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 106, p. 331–347, 2014. Disponível em: Acesso em: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0034752>. 09 fev. 2024.

SWELLER, J.; MERRIËNBOER, J. J. G. van; PAAS, F. Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. **Educational Psychology Review**, v. 10, p. 251–296, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>. Acesso em: 09 fev. 2024.

- TAYLOR, K.; ROHRER, D. The effects of interleaved practice. **Applied Cognitive Psychology**, Wiley, v. 24, n. 6, p. 837–848, July 2009. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1002/acp.1598>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- VANLEHN, K. The Behavior of Tutoring Systems. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 16, n. 3, p. 227–265, 2006. Disponível em: <https://content.iospress.com/articles/international-journal-of-artificial-intelligence-in-education/jai16-3-02>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- VANLEHN, K. Intelligent tutoring systems for continuous, embedded assessment. *In*: DWYER, C. (ed.). **The future of assessment: Shaping teaching and learning**. New York, NY, USA: Taylor & Francis, 2008. p. 113–138.
- VANLEHN, K. The Relative Effectiveness of Human Tutoring, Intelligent Tutoring Systems, and Other Tutoring Systems. **Educational Psychologist**, v. 46, n. 4, p. 197–221, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- VIER, J.; GLUZ, J.; JAQUES, P. A. Empregando redes bayesianas para modelar automaticamente o conhecimento dos alunos em lógica de programação. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 23, p. 45, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5753/rbie.2015.23.02.45>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- VYGOTSKY, L. S. **Mind in Society**. Harvard University Press, 1978. 159 p.
- WALDEMAR, J. O. C.; RIGATTI, R.; MENEZES, C. B.; GUIMARÃES, G.; FALCETO, O.; HELDT, E. Impact of a combined mindfulness and social–emotional learning program on fifth graders in a Brazilian public-school setting. **Psychology & Neuroscience**, v. 9, n. 1, p. 79–90, 2016. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/pne0000044>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- WIGELSWORTH, M. *et al.* The impact of trial stage, developer involvement and international transferability on universal social and emotional learning program outcomes: a meta-analysis. **Cambridge Journal of Education**, v. 46, n. 3, p. 347–376, 2016. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/doi/10.1080/0305764X.2016.1195791>. Acesso em: 09 fev. 2024.
- WILLIAMS-GRUT, O. Robots will steal your job: How AI could increase unemployment and inequality. **Business Insider**, Finance section, Feb. 15 2016. Disponível em: <https://www.businessinsider.com/robots-will-steal-your-job-citi-ai-increase-unemployment-inequality-2016-2>. Acesso em: 09. jan. 2024.
- WOOLF, B. **Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning**. San Francisco, CA: Elsevier Inc., Morgan Kauffmann, 2009.
- XHAKAJ, F.; ALEVEN, V.; MCLAREN, B. How teachers use data to help students learn: Contextual inquiry for the design of a dashboard. *In*: VERBERT, K.; SHARPLES, M.; KLOBUČAR, T. (eds.). INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED LEARNING TECHNOLOGIES (ICALT), 2016, Cham. **Proceedings...** Cham: Springer, 2016. p. 340-354. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45153-4_26). Acesso em: 09 fev. 2024.
- XHAKAJ, F.; ALEVEN, V.; MCLAREN, B. M. Effects of a teacher dashboard for an intelligent tutoring system on teacher knowledge, lesson planning, lessons and student learning. *In*: EUROPEAN CONFERENCE ON TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING (EC-TEL), 12., 2017, Berlin. **Proceedings...** Berlin: Springer, 2017. p. 315-329. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66610-5\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66610-5_23). Acesso em: 09 fev. 2024.