UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIA
CURSO BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

MARIA LUIZA ALVES LOPES

ANÁLISE SISTÊMICA DO PROCESSO DE AUTORIA DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES E O PARADIGMA *UNPLUGGED*

PAU DOS FERROS
2026

MARIA LUIZA ALVES LOPES

ANÁLISE SISTÊMICA DO PROCESSO DE AUTORIA DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES E O PARADIGMA *UNPLUGGED*

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Tecnologia da Informação.

Orientador: Geiser Chalco Challco, Prof. Dr.

Coorientador: Glaydson Francisco Barros de Oliveira, Prof. Dr.

PAU DOS FERROS

2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

L864a Lopes, Maria Luiza Alves.
Análise sistêmica do processo de sistemas tutores inteligentes e o paradigma unplugged / Maria Luiza Alves Lopes. - 2026.
51 f. : il.

Orientador: Geiser Chalco Challco.
Coorientador: Glaydson Francisco Barros Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Tecnologia da Informação, 2026.

1. Sistemas tutores inteligentes. 2. ferramentas de autoria. 3. paradigma unplugged. 4. iniquidade digital. I. Challco, Geiser Chalco , orient. II. Oliveira, Glaydson Francisco Barros, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MARIA LUIZA ALVES LOPES

ANÁLISE SISTÊMICA DO PROCESSO DE AUTORIA DE SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES E O PARADIGMA *UNPLUGGED*

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharela Interdisciplinar em Tecnologia da Informação.

Defendida em: 12/06/2026

BANCA EXAMINADORA

Geiser Chalco Challco, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Glaydson Francisco Barros de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Laysa Mabel de Oliveira Fontes, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Huliane Medeiros da Silva, Prof. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

À minha mãe, que trabalhou no sol para que eu pudesse caminhar na sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por renovar as minhas forças a cada etapa desta caminhada, reafirmando que estávamos no caminho certo e dando-me discernimento nos momentos de maior desafio.

Dedico esta conquista à minha mãe, Francisca Lucilene, uma mulher forte e inteligente, que sempre me mostrou que fazer pelos meus estudos vale a pena, e ao meu pai, Luiz da Silva, exemplo de força e resiliência. Esta conquista reflete diretamente o suporte e a base que vocês construíram para que eu pudesse focar nos meus estudos e chegar até aqui. Tudo é por vocês.

À minha família e aos meus avós, que são a base de tudo. Em especial, à minha avó Maria do Socorro Pereira Lopes, professora de matemática cuja trajetória inspiradora sempre me impulsionou a ter coragem e a lutar pela minha independência e pelo meu futuro. Dedico também este momento ao meu querido avô Aluizio Lopes; embora não possa estar presente fisicamente, ele sempre esteve e continuará vivo em meu coração. Guardarei para sempre suas palavras, ditas desde quando eu era muito novinha, de que eu era inteligente e capaz de alcançar absolutamente tudo o que me propusesse a fazer, contanto que me dedicasse.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Geiser Chalco Challco, pela paciência, dedicação e partilha de conhecimento. Sua orientação foi fundamental não apenas para o desenvolvimento desta pesquisa sobre sistemas tutores inteligentes, mas também para o meu crescimento académico e profissional.

Aos meus queridos amigos da faculdade, que partilharam comigo os laboratórios, os prazos apertados, os cafés e os momentos de descontração. A amizade de vocês tornou os desafios desta graduação muito mais leves.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), aos colaboradores e a todos os que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta caminhada e contribuíram para esta realização. Muito obrigada!

EPIGRAFE

"Alma na frente, coração quente, visão completa."

(Filipe Ret)

RESUMO

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) têm potencial considerável para personalizar o ensino, porém sua adoção em larga escala esbarra em barreiras de iniquidade educacional e na exclusão histórica do professor do ciclo de desenvolvimento tecnológico. O presente estudo investiga como docentes e futuros educadores percebem o processo de autoria de STIs, tendo como referência o paradigma unplugged e a ferramenta Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT). A partir de uma abordagem qualitativa exploratória, estruturada como estudo de caso múltiplo, foram realizados minicursos e grupos focais com 26 participantes (professores em serviço e em formação) distribuídos em três eventos acadêmicos. Os achados apontam que os participantes demonstram disposição para assumir o papel de co-designers, sobretudo pela possibilidade de personalizar feedbacks pedagógicos. Por outro lado, barreiras linguísticas, problemas de usabilidade da interface e a falta de infraestrutura tecnológica se mostraram obstáculos sérios à adoção da ferramenta. Os resultados indicam que fortalecer a agência docente passa por disponibilizar ferramentas acessíveis e, ao mesmo tempo, investir em políticas de formação continuada voltadas à autoria, de modo que a inovação tecnológica contribua efetivamente para a inclusão digital em contextos de vulnerabilidade.

Palavras-chave: Sistemas tutores inteligentes; ferramentas de autoria; paradigma unplugged; iniquidade digital

ABSTRACT

This study presents a systemic analysis of the Intelligent Tutoring Systems (ITS) authoring process under the unplugged paradigm, using the Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT) framework. The research investigates the technical and pedagogical challenges faced during the creation of intelligent tutoring behaviors designed to operate in educational contexts marked by digital inequity and lack of stable internet connectivity. Through a descriptive and qualitative-quantitative approach, data were collected during authoring workshops where participants designed tutoring solutions aimed at offline deployment. The results reveal critical insights regarding the usability of the authoring tool, the cognitive load involved in structuring behavior graphs, and the socio-technical barriers inherent to vulnerable educational environments. Ultimately, the findings validate the urgency of the unplugged paradigm as a viable alternative to democratize access to advanced educational technologies, highlighting the requirements needed to optimize authoring frameworks for deployment in infrastructure-constrained schools.

Keywords: Intelligent tutoring systems; authoring tools; unplugged paradigm; digital inequity

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relação entre áreas da Inteligência Artificial na Educação (IAED) com as técnicas da IA 19
Figura 2 – Arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente 23
Figura 3 – Registro da primeira edição do minicurso em modalidade remota no evento COBICET 32
Figura 4 – Abertura institucional do minicurso no evento CTRL-E 33
Figura 5 – Mediação prática da autoria de STIs com os participantes no laboratório . . 34
Figura 6 – Exposição conceitual e mediação realizada pela autora na UFERSA 35
Figura 7 – Engajamento de participante na manipulação de grafos de comportamento no CTAT 35
Figura 8 – Registro coletivo da turma de participantes no laboratório de informática . . 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Subáreas da Inteligência Artificial na Educação (IAED) e seus propósitos . . 20
Tabela 2 – Síntese Comparativa dos Trabalhos Relacionados 28
Tabela 3 – Caracterização das Edições do Minicurso 32
Tabela 4 – Detalhamento dos Instrumentos de Pesquisa 36
Tabela 5 – Caracterização do Perfil dos Participantes da Pesquisa *(Continua)* . . 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COBICET	Congresso Brasileiro de Interdisciplinaridade em Ciência e Tecnologia
CTAT	*Cognitive Tutor Authoring Tools*
CTRL-E	Congresso Regional de Tecnologias na Educação
IA	Inteligência Artificial
IAED	Inteligência Artificial na Educação
LLM	*Large Language Model*
PLN	Processamento de Linguagem Natural
SECEN	Semana de Engenharia, Ciência e Tecnologia da Natureza
SOL	SBC-OpenLib
STI	Sistemas Tutores Inteligentes
TI	Tecnologia da Informação
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 Objetivos 16

1.1.1 Objetivo Geral 16

1.1.2 Objetivos Específicos 16

1.2 Justificativa 16

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 17

2.1 Inteligência Artificial (IA) 17

2.2 Inteligência Artificial na Educação (AIED) e suas Subáreas 18

2.3 Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) 21

2.4 A Arquitetura Clássica de Quatro Módulos de um STI 22

2.4.1 Modelo do Domínio (O Especialista) 24

2.4.2 Modelo do Aluno (O Aprendiz) 24

2.4.3 Modelo Pedagógico (O Professor) 25

2.4.4 Módulo de Interface (A Comunicação) 25

2.5 Ferramentas de Autoria e o Framework CTAT 25

2.6 Agência Docente e Co-design Tecnológico 26

3 TRABALHOS RELACIONADOS 28

4 METODOLOGIA 31

4.1 Definição dos Múltiplos Casos de Estudo 31

4.2 Participantes 36

4.3 Considerações Éticas 39

4.4 Análise de Dados 39

4.5 Considerações Éticas 40

4.6 Análise de Dados 40

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 42

5.1 Dimensão 1: Consciência e Percepção sobre o Desenvolvimento de STIs . . 42
5.1.1 Percepção de Autoria e Intenção de Desenvolvimento 42
5.1.2 Percepção de Aplicabilidade e Mediação Pedagógica 44
5.1.3 Atributos de Valor da Tecnologia 45
5.2 Dimensão 2: Desafios Manifestados no Processo de Autoria 45
5.2.1 Barreiras Estruturais e Vulnerabilidade Contextual: A Urgência do Paradigma Unplugged 46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS 48
6.1 Implicações para Políticas Públicas 49
6.2 Limitações e Trabalhos Futuros 49
REFERÊNCIAS 51

1 INTRODUÇÃO

Sistemas Tutores Inteligentes (STI) são arquiteturas computacionais que se valem de técnicas de Inteligência Artificial para oferecer educação personalizada. Diferente do ensino convencional, em que todos os alunos recebem o mesmo conteúdo, o STI acompanha as interações de cada estudante, identifica erros, acertos e padrões de comportamento, e a partir disso gera feedbacks e dicas gradativas que instigam a resolução dos exercícios propostos (VanLehn, 2011). Meta-análises conduzidas ao longo da última década mostraram que esses sistemas conseguem produzir ganhos de aprendizagem comparáveis à tutoria humana individual, com resultados superiores à instrução tradicional em sala de aula (VanLehn, 2011; Kulik Fletcher, 2016). Apesar disso, sua disseminação continua restrita. No contexto dos países do Sul Global, as desigualdades estruturais de acesso à tecnologia criam barreiras difíceis de transpor para boa parte das escolas públicas. No Brasil, os dados do Censo Escolar (INEP, 2023) deixam claro que muitas escolas das regiões Norte e Nordeste ainda operam com limitações graves de infraestrutura digital: faltam laboratórios de informática, a conectividade é intermitente quando existe, e dispositivos para uso pedagógico são escassos. Esse quadro acaba agravando a iniquidade educacional, já que as tecnologias adaptativas, em geral, precisam de ambientes digitais minimamente estruturados para funcionar. Existem, contudo, ferramentas de autoria de STI, como o *Cognitive Tutor Authoring Tools* (CTAT), que permitem reduzir de forma considerável o tempo necessário para desenvolver um tutor, se comparado aos métodos tradicionais de programação (Aleven et al., 2016). Esse tipo de software é relevante porque, além de viabilizar a entrega de educação personalizada, possibilita que professores criem seus próprios STI sem precisar saber programar. O problema é que, em cenários de iniquidade educacional, essas ferramentas também enfrentam limitações. A dependência de infraestrutura robusta e de conectividade estável faz com que a promessa de democratização do acesso aos STI acabe, na prática, ampliando a desigualdade, especialmente em contextos onde o acesso a dispositivos e à internet já é precário (Isotani et al., 2024). Pesquisas recentes têm se dedicado a entender como trazer o docente para dentro do ciclo de desenvolvimento dessas tecnologias de forma mais acessível. Há estudos que reforçam que o feedback é o componente mais relevante dos STI e que existe uma falha histórica: o professor foi sistematicamente excluído do processo de design dessas mensagens (Silva et al., 2026). Para enfrentar essa questão, o conceito de co-design tem ganhado espaço, colocando o educador como um autor capaz de customizar sistemas em pouco tempo, e não como simples usuário final (Dermeval Bittencourt, 2020). Há também propostas mais recentes de simplificar a criação

de interfaces de STI por meio de Inteligência Artificial Generativa, com o objetivo de reduzir as barreiras técnicas (Calo Maclellan, 2024). O que ainda permanece pouco compreendido, porém, é como pessoas sem nenhuma experiência prévia com essas ferramentas percebem essa transição de usuários para autores. Entender isso é fundamental: a efetividade de qualquer sistema tecnológico em sala de aula depende da aceitação do professor e de sua capacidade de se apropriar pedagogicamente da ferramenta. Há evidências de que o grau de controle e personalização que o docente tem sobre a tecnologia é um fator decisivo para sua adoção (Holstein et al., 2017). Quando se pensa em escolas com baixa conectividade e infraestrutura precária, o professor passa a ser a peça central na mediação entre a tecnologia e os estudantes (Isotani et al., 2024). A literatura, no entanto, ainda é escassa sobre como as pessoas e como os docentes vivenciam essa mudança. Os estudos disponíveis se concentram na eficácia dos STI (Holstein et al., 2017; Rodrigues et al., 2024) ou na usabilidade das ferramentas (Macina et al., 2023; Calo Maclellan, 2024; Galletti Cesaroni, 2025). Falta, portanto, uma investigação voltada à experiência de pessoas sem formação técnica que tentam fazer essa transição em contextos educacionais brasileiros com recursos limitados. Com o objetivo de preencher essa lacuna, o estudo foi orientado por duas questões de pesquisa:

QP1: Quais percepções os docentes e futuros educadores manifestam sobre o processo de autoria de STIs ao entrarem em contato com a ferramenta CTAT e o paradigma unplugged?

QP2: Quais desafios técnicos, pedagógicos e estruturais emergem quando pessoas sem formação técnica prévia interagem com ferramentas de autoria de STI em contextos de iniquidade digital?

Para responder a essas questões, foi conduzido um estudo qualitativo baseado em estudo de caso múltiplo, com coleta de dados por meio de formulários de percepção, diários de bordo e questionários de respostas abertas. Uma busca prévia na SBC-OpenLib (SOL) e nos anais do CBIE e SBIE mostrou que há poucos trabalhos dedicados a investigar a percepção de autoria docente em contextos de vulnerabilidade digital no Brasil, o que reforça o caráter original da contribuição aqui proposta

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar de forma sistêmica o processo de autoria de STI sob o paradigma *unplugged* por meio do *framework* CTAT, investigando os indícios de viabilidade técnica, pedagógica e os desafios enfrentados durante a modelagem de comportamentos tutoriais voltados a contextos educacionais com restrições de conectividade digital.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Mapear e descrever os desafios técnicos e cognitivos vivenciados pelos participantes durante a manipulação e a estruturação de grafos de comportamento (*behavior graphs*) no *framework* CTAT;
- Investigar as percepções e os indícios de aceitação dos sujeitos da pesquisa quanto à usabilidade da ferramenta de autoria em cenários que simulam a ausência de internet;
- Identificar as principais barreiras sociotécnicas que emergem na concepção de tutores inteligentes voltados para escolas com infraestrutura tecnológica limitada;
- Apontar requisitos e diretrizes preliminares que possam orientar a otimização de *frameworks* de autoria para o desenvolvimento de soluções educacionais *offline* eficientes.

1.2 Justificativa

A relevância deste estudo reside na urgência de investigar soluções que democratizam o acesso às inovações da IAED em cenários marcados pela assimetria infraestrutural. Ao propor a análise da autoria sob o paradigma *unplugged*, este trabalho justifica-se ao oferecer caminhos alternativos para que a dependência de conectividade estável não seja um fator de exclusão total de comunidades escolares historicamente vulnerabilizadas.

Ademais, investigar a transição do papel do educador, e de futuros profissionais da tecnologia em diálogo com a docência, de meros consumidores para autores de tecnologia preenche uma lacuna crítica na literatura nacional. Compreender as barreiras e os indícios de viabilidade prática apontados por essa amostra inicial fornece subsídios teóricos e metodológicos fundamentais para o aperfeiçoamento de ferramentas de autoria, alinhando o desenvolvimento tecnológico às reais necessidades e limitações do contexto educacional brasileiro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação dedicado ao desenvolvimento de sistemas computacionais capazes de executar tarefas que, se realizadas por seres humanos, exigiriam capacidades cognitivas superiores, tais como o aprendizado, o raciocínio lógico, a tomada de decisões, a percepção visual e a compreensão de linguagem natural. Historicamente fundamentada na busca por simular os processos intelectuais humanos através de modelos matemáticos e algorítmicos, a IA evoluiu de sistemas rígidos baseados em regras predefinidas para paradigmas modernos focados no processamento e análise massiva de dados (Russell; Norvig, 2022).

O desenvolvimento da IA subdivide-se, classicamente, em duas grandes vertentes conceituais: a IA Estrita ou Fraca (*Narrow AI*) e a IA Geral ou Forte (*General AI*). Enquanto a inteligência geral busca a criação de máquinas que possuam a totalidade das capacidades cognitivas humanas de forma adaptável a qualquer contexto, a IA estrita foca no desenvolvimento de algoritmos projetados para resolver problemas específicos com alto grau de eficiência. É dentro deste escopo de IA estrita que se consolidaram técnicas como o Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) e o Processamento de Linguagem Natural (PLN), que alimentam os sistemas modernos capazes de identificar padrões, prever comportamentos e interagir de forma contextualizada com usuários humanos (Russell; Norvig, 2022).

Para além dessa divisão funcional, as discussões contemporâneas sobre a natureza da inteligência artificial organizam-se a partir de dois grandes paradigmas científicos: a IA Conexionista e a IA Simbólica. O paradigma conexionista baseia-se em modelos estatísticos e matemáticos inspirados na biologia neural, como as redes neurais artificiais e o *Deep Learning*, sendo focado no aprendizado a partir de grandes volumes de dados e no reconhecimento probabilístico de padrões de forma indutiva.

Por outro lado, a IA Simbólica, também conhecida como IA Clássica ou *Good Old-Fashioned AI* (GOFAI), opera por meio da manipulação explícita de símbolos, regras lógicas e representações formais de conhecimento de forma dedutiva. É justamente a abordagem simbólica a maioritariamente utilizada na arquitetura de STI. Dado que os STI exigem a formalização explícita do conhecimento especializado a ser ensinado e a modelagem rigorosa de fluxos de tomada de decisão pedagógica, como nos grafos de comportamento (*behavior graphs*),

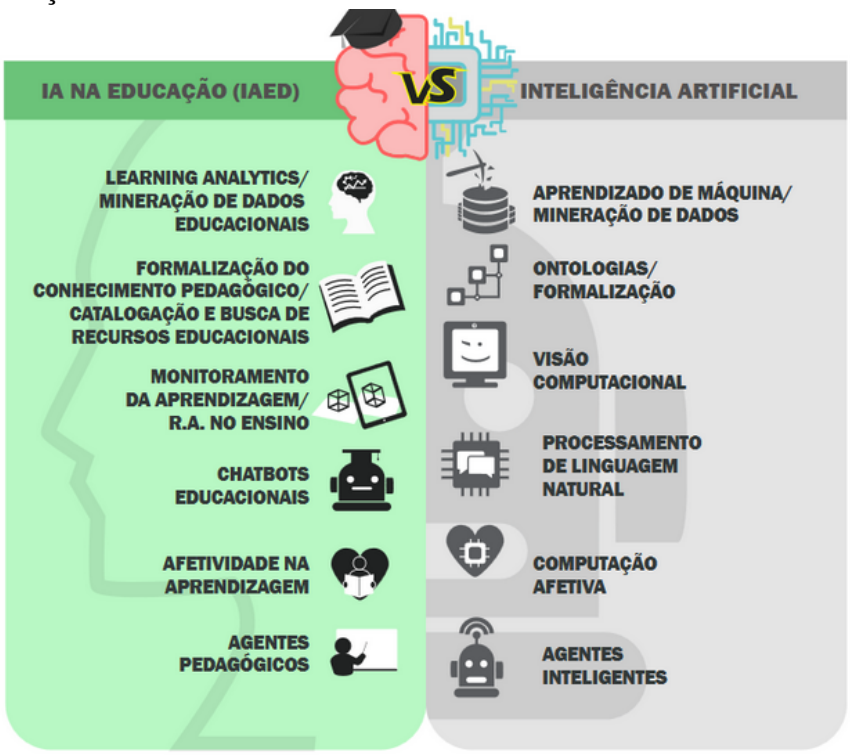
a computação baseada em regras simbólicas garante a previsibilidade, a rastreabilidade e a interpretabilidade necessárias para guiar o aprendizado do estudante passo a passo de forma determinística (Sun, 2007; Smythos, 2024).

2.2 Inteligência Artificial na Educação (AIED) e suas Subáreas

A Inteligência Artificial na Educação (AIED) constitui uma subárea especializada que investiga como as técnicas de IA estrita e os modelos baseados em dados podem ser aplicados para melhorar, estender e personalizar os processos de ensino e aprendizagem. Historicamente voltada para a automação de tarefas administrativas e a criação de sistemas instrucionais programados, a AIED evoluiu para abranger sistemas dinâmicos, capazes de aprender continuamente com as interações dos estudantes, gerando intervenções pedagógicas sob medida e fornecendo análises preditivas sobre o desempenho escolar.

Nesse sentido, a incorporação da Inteligência Artificial no ecossistema educacional não se dá de forma homogênea, mas sim por meio de diferentes ramificações tecnológicas que traduzem essas teorias pedagógicas in arquiteturas computacionais. Quando abordadas a partir desse ecossistema, as técnicas tradicionais de IA, como processamento de linguagem natural, aprendizado de máquina e sistemas especialistas, são reconfiguradas para atender às demandas de personalização, mediação e gestão da aprendizagem. A correlação sistêmica entre essas técnicas gerais e as áreas de aplicação prática da IAED está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Relação entre áreas da IAED com as técnicas da IA



Fonte: Centro de Inovação para a Educação Brasileira (2019, p. 11)

A análise detalhada da Figura 1 explicita uma dinâmica de correspondência direta entre as subáreas aplicadas da IAED (dispostas no bloco à esquerda) e as técnicas computacionais clássicas de IA (dispostas no bloco à direita). Observa-se que demandas educacionais complexas, como os *Chatbots* Educacionais e os Agentes Pedagógicos, encontram sustentação técnica direta em subcampos como o PLN e os Agentes Inteligentes. De igual modo, vertentes fundamentais para a personalização do ensino, a exemplo da Formalização do Conhecimento Pedagógico e do Monitoramento da Aprendizagem, apoiam-se nas estruturas de Ontologias/Formalização e em recursos de Visão Computacional ou Realidade Aumentada.

Para os propósitos específicos deste trabalho, este mapeamento visual evidencia que o desenvolvimento de ferramentas de autoria sob o paradigma *unplugged* exige focar na "Formalização do Conhecimento", pois é por meio de ontologias e grafos de comportamento que o conhecimento especializado do tutor pode ser estruturado de maneira assíncrona. Isso possibilita que a lógica instrucional da máquina seja concebida fora do momento síncrono da aula, guessing sua viabilidade operacional mesmo quando o ecossistema digital da escola não dispõe de conectividade ativa.

A fim de detalhar como essas macroáreas se traduzem em soluções práticas dentro do cenário investigado, a Tabela 1 sistematiza as principais subáreas da IAED, destacando seus

propósitos gerais e o potencial de aplicação pedagógica associado.

Tabela 1 – Subáreas da Inteligência Artificial na Educação (IAED) e seus propósitos

Subárea da AIED	**Propósito Geral e Aplicação Pedagógica**
Learning Analytics (LA) / Mineração de Dados Educacionais (MDE)	Coleta, armazena e analisa grandes volumes de dados gerados pelas interações dos estudantes em ambientes digitais. Seu propósito é identificar padrões de comportamento, prever riscos de evasão ou reprovação e fornecer relatórios analíticos para que os professores adaptem suas estratégias em tempo hábil.
Sistemas Tutores Inteligentes (STIs)	Softwares educacionais projetados para simular a mediação personalizada de um tutor humano. Operam por meio do acompanhamento passo a passo (*inner loop*) do estudante, fornecendo *feedbacks* granulares e dicas contextuais adaptadas ao ritmo individual de aprendizagem.
Sistemas de Recomendação Educacional	Algoritmos que sugerem caminhos, objetos de aprendizagem, leituras ou exercícios específicos para o estudante com base no seu histórico de desempenho e preferências, promovendo trilhas personalizadas de estudo.
Formalização do Conhecimento Pedagógico e de Domínio	Estruturação lógica e computacional dos conteúdos curriculares e das regras de ensino (ontologias e grafos de comportamento). Garante que o sistema compreenda o conhecimento que está sendo ensinado e saiba decidir o momento ideal de avançar ou revisar um concept.
Agentes Conversacionais e *Chatbots*	Sistemas baseados em Processamento de Linguagem Natural (PLN) que atuam no suporte direto ao aluno, tirando dúvidas frequentes, conduzindo rotinas de avaliação e mediando diálogos instrucionais de forma síncrona.

Fonte: Autoria propria,(2026)

No entanto, a implementação convencional de sistemas baseados em IA frequentemente assume um cenário ideal de infraestrutura: conectividade de alta velocidade constante, laboratórios de informática modernos e dispositivos individuais para cada estudante. Em países do Sul Global, e especificamente na realidade da educação pública brasileira, essas premissas geram um descompasso estrutural. Conforme apontam os dados estatísticos nacionais:

> As disparidades no acesso a recursos tecnológicos criam barreiras severas, limitando a adoção de tecnologias educacionais avançadas justamente nas regiões que mais se beneficiaram de suporte pedagógico personalizado. Quando a inovação tecnológica exige um ecossistema digital que a escola não possui, a IA passa de promotora de equidade a um fator de ampliação da exclusão digital (Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, 2023, p. 45).

Para mitigar esse cenário de iniquidade educacional, emerge na literatura recente o paradigma da IA Educacional *Unplugged* (*AIED Unplugged*). Essa abordagem propõe o desaco-

plamento entre a “inteligência” do algoritmo e a necessidade de conectividade digital contínua em sala de aula (Isotani et al., 2024). No modelo *unplugged*, a computação inteligente opera em uma arquitetura híbrida: o processamento pesado e o design pedagógico ocorrem fora do momento síncrono da aula, enquanto a execução pelos estudantes é feita de maneira analógica ou *offline*.

Um exemplo concreto dessa abordagem é encontrado no sistema *MathAide* (Isotani et al., 2024). O ciclo operacional da *AIED Unplugged* estrutura-se fundamentalmente em três etapas interdependentes:

- **Autoria e Planejamento:** O educador utiliza uma ferramenta digital para conceber e estruturar as atividades pedagógicas, configurando a lógica de *feedback* e o modelo de conhecimento.
- **Execução Analógica:** O sistema gera materiais físicos (como roteiros ou listas de exercícios impressas) que são distribuídos para os alunos em salas de aula convencionais, sendo resolvidos de forma tradicional com lápis e papel, eliminando a dependência de computadores ou internet estável na escola.
- **Digitalização e Análise Inteligente:** Concluídas as tarefas, as respostas são capturadas por meio de dispositivos comuns com câmeras (como *smartphones* ou *scanners*). As imagens são processadas de forma centralizada pelo sistema inteligente, que extrai o desempenho dos estudantes, alimenta o modelo do aluno e gera relatórios de *learning analytics* para guiar as próximas decisões pedagógicas do professor.

Essa abordagem viabiliza que escolas localizadas em áreas remotas, como o semiárido nordestino ou comunidades com infraestrutura digital intermitente, tenham acesso aos ganhos de aprendizagem proporcionados pela IA adaptativa, respeitando as limitações materiais de seu contexto.

2.3 Sistemas Tutores Inteligentes (STIs)

Os STI representam uma das arquiteturas mais consolidadas e eficazes dentro do escopo da AIED. Definem-se como *softwares* educacionais que utilizam técnicas de Inteligência Artificial para simular a atenção individualizada, o comportamento e as estratégias de orientação de um tutor humano (VanLehn, 2011). Diferente dos sistemas tradicionais de Ensino Baseado em Computador (*Computer-Based Education* — CBE), que seguiam árvores de decisão rígidas e estáticas, os STIs possuem flexibilidade para rastrear o raciocínio do estudante passo a passo,

diagnosticar concepções errôneas e adaptar dinamicamente o fluxo de problemas e explicações de acordo com las necessidades cognitivas demonstradas em tempo real.

A relevância estratégica dos STIs para as políticas educacionais contemporâneas está amplamente amparada por estudos empíricos e meta-análises de grande escopo. Pesquisas de referência demonstram que o uso dessas arquiteturas computacionais em cenários práticos é capaz de produzir ganhos de aprendizagem equivalentes aos obtidos por meio de tutoria humana individualizada, superando significativamente os índices de retenção e compreensão da instrução convencional coletiva em sala de aula (VanLehn, 2011).

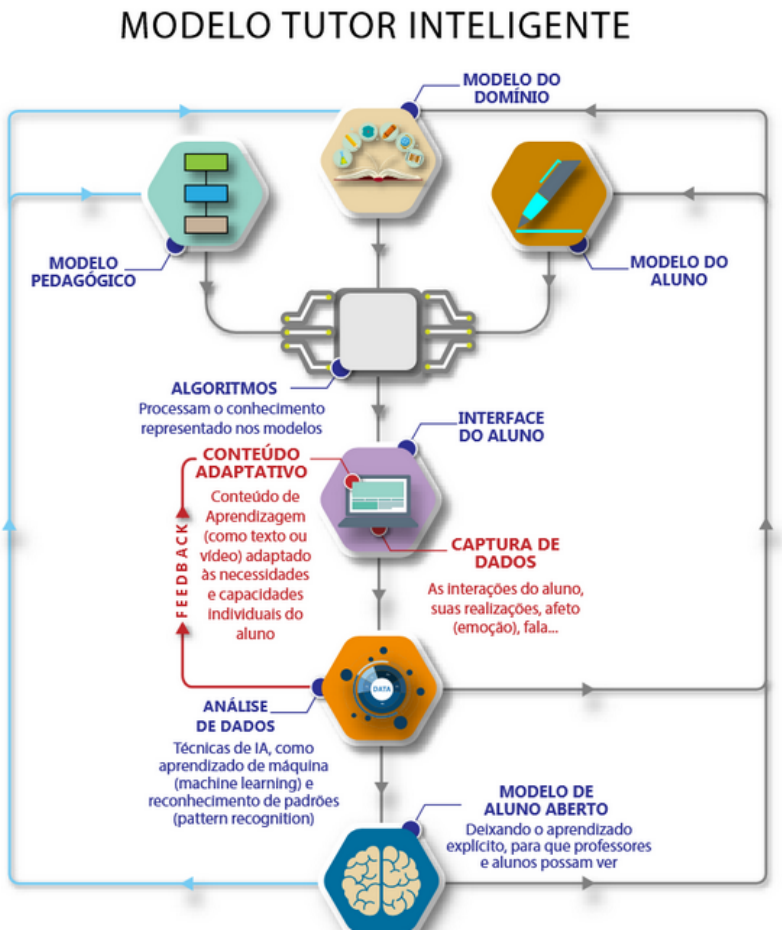
A efetividade cognitiva de um STI repousa sobre a sua capacidade de fornecer intervenções internas granulares (*inner loop*), atuando no momento exato em que o estudante executa os passos de um problema. O componente mais crítico e determinante para o sucesso dessa interação é o mecanismo de *feedback* imediato e dicas gradativas (Silva et al., 2026). Em vez de apenas classificar uma resposta final como "certa" ou "errada", o STI monitora as ações intermediárias do aluno. Quando um desvio na lógica é detectado, o sistema intervém gerando mensagens contextualizadas que provocam a reflexão e instigam o estudante a autocorrigir seu raciocínio. Se o aluno demonstrar dificuldade persistente, o sistema fornece dicas estruturadas em níveis crescentes de clareza, garantindo que o estudante avance de forma autônoma sem experimentar a frustração do bloqueio cognitivo.

2.4 A Arquitetura Clássica de Quatro Módulos de um STI

A principal característica que diferencia um Sistema Tutor Inteligente (STI) dos *softwares* educativos tradicionais e lineares é a sua arquitetura computacional modular integrada (Wenger, 1987). Enquanto sistemas antigos operam de forma estática, a estrutura de um STI divide-se classicamente em quatro módulos interdependentes que trocam informações em tempo real para viabilizar a personalização do ensino: o Modelo do Domínio, o Modelo do Aluno, o Modelo Pedagógico e o Módulo de Interface (Woolf, 2009).

A disposição dessas estruturas, as engrenagens de processamento e o fluxo contínuo de comunicação estabelecido entre cada componente estão representados graficamente na Figura 2.

Figura 2 – Arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente



Fonte: Centro de Inovação para a Educação Brasileira (2019, p. 17)

A modelagem sistêmica apresentada na Figura 2 revela que a inteligência e a capacidade adaptativa de um STI dependem de uma engrenagem integrada onde os algoritmos centrais processam o conhecimento representado no Modelo Pedagógico, no Modelo do Domínio e no Modelo do Aluno. A partir desse processamento, o sistema entrega um conteúdo adaptativo (como textos ou vídeos) na interface, moldado às necessidades e capacidades individuais do estudante.

À medida que o aluno interage com a interface, ocorre uma captura de dados em tempo real sobre suas realizações, respostas e estados de afeto. Esses dados brutos passam por um módulo de análise sustentado por técnicas de IA, tais como o aprendizado de máquina (*machine learning*) e o reconhecimento de padrões, cujos resultados retroalimentam os modelos de decisão (gerando *loops* de *feedback*) e estruturam um Modelo de Aluno Aberto, tornando o progresso do aprendizado explícito e visível para que professores e estudantes possam acompanhar o processo pedagógico.

Para os objetivos desta investigação, essa divisão modular é de extrema relevância, pois esclarece que o processo de autoria docente concentra-se fortemente na alimentação e estruturação inicial do Modelo do Domínio e das regras do Modelo Pedagógico. Sob o paradigma *unplugged*, entender essa separação permite que o professor atue no design desses componentes lógicos de forma assíncrona; o sistema, por sua vez, isola a execução das atividades na ponta (interface), coletando os dados posteriormente para atualizar o progresso do estudante sem exigir que a infraestrutura computacional completa dependa de conectividade síncrona em sala de aula.

A fim de compreender as atribuições específicas de cada um desses pilares no ciclo de personalização e autoria, as subseções a seguir detalham o funcionamento individualizado dos componentes que integram essa arquitetura.

2.4.1 Modelo do Domínio (O Especialista)

O Modelo do Domínio, frequentemente denominado na literatura como o "módulo especialista", atua como o repositório central que armazena o conhecimento estruturado, os conceitos, as regras e as estratégias de resolução de problemas da disciplina a ser ensinada (Woolf, 2009). Sua função primordial é fornecer ao sistema a capacidade de resolver os exercícios propostos e avaliar a exatidão das respostas submetidas pelo estudante.

Nas abordagens de autoria tradicionais, este módulo dependia da codificação rígida de regras de produção computacionais. Contudo, em *frameworks* modernos de autoria por demonstração, o modelo do domínio é estruturado a partir da criação de grafos de comportamento (*behavior graphs*), onde o autor demonstra caminhos lógicos ideais de resolução, permitindo que o sistema atue como um avaliador do domínio sem a necessidade de programação textual (Aleven et al., 2016).

2.4.2 Modelo do Aluno (O Aprendiz)

O Modelo do Aluno é o componente dinâmico responsável por rastrear, modelar e registrar o estado cognitivo, o progresso, as habilidades e o comportamento do estudante em tempo real (Woolf, 2009). Este módulo funciona através de um processo contínuo de diagnóstico, interpretando cada interação, acerto, erro e tempo de resposta do aluno para atualizar seu perfil individualizado.

Através do rastreamento cognitivo (*cognitive-tracing*), o sistema consegue inferir quais conceitos do domínio o estudante já domina e quais apresentam lacunas de aprendizado (Aleven

et al., 2016). Esta modelagem matemática e estatística é o que impede que o *software* seja genérico, fornecendo a base de dados necessária para que o tutor compreenda o ritmo de aprendizagem de cada indivíduo.

2.4.3 Modelo Pedagógico (O Professor)

O Modelo Pedagógico, ou "módulo tutor", atua como o motor de tomada de decisões instrucionais do sistema. Ele recebe os dados processados pelo Modelo do Aluno e, consultando as regras do Modelo do Domínio, decide de forma autônoma o que, quando e como ensinar (Wenger, 1987). É neste pilar que residem as estratégias didáticas e a inteligência metodológica do STI.

O modelo pedagógico determina o nível de controle do sistema, decidindo o momento exato de enviar um *feedback* corretivo, fornecer uma dica gradativa ou selecionar o próximo exercício mais adequado para o nível atual do estudante (VanLehn, 2011). Ele gerencia o equilíbrio entre o desafio cognitivo e o suporte pedagógico necessário para o desenvolvimento do aprendiz.

2.4.4 Módulo de Interface (A Comunicação)

O Módulo de Interface é a camada externa de apresentação e o ponto de contato direto entre o usuário (estudante ou professor) e a arquitetura interna do sistema (Woolf, 2009). Sua função é traduzir as representações de dados e lógicas internas em uma disposição visual compreensível, acessível e interativa.

A qualidade do design de interface é decisiva para o sucesso do STI, pois uma interface confusa ou poluída impõe uma carga cognitiva desnecessária ao usuário, mascarando suas reais dificuldades de aprendizado com barreiras de usabilidade (Barbosa et al., 2021). Em plataformas de autoria, o módulo de interface assume dupla importância, pois precisa oferecer telas de manipulação direta fáceis para o professor criar o conteúdo e, simultaneamente, gerar *layouts* amigáveis para a execução dos alunos (Calo; MacLellan, 2024).

2.5 Ferramentas de Autoria e o Framework CTAT

A complexidade de integrar os quatro módulos supracitados historicamente restringiu o desenvolvimento de STIs a equipes multidisciplinares compostas por cientistas da computação,

engenheiros de *software* e psicólogos cognitivos, gerando um custo financeiro elevado e longas janelas de produção (Aleven et al., 2016). Para democratizar esse cenário e transferir o poder de criação para os educadores, surgiram as Ferramentas de Autoria. O objetivo central dessas tecnologias é reduzir drasticamente o tempo de desenvolvimento e mitigar a barreira técnica, permitindo a construção de sistemas instrucionais complexos sem a exigência de conhecimentos avançados em linguagens de programação.

Dentre as soluções consolidadas na literatura destaca-se o CTAT, um *framework* desenvolvido pela Carnegie Mellon University focado na criação de tutores inteligentes. O CTAT fundamenta-se na premissa de que o professor pode desenhar a inteligência do sistema por meio de interações práticas orientadas a dois paradigmas distintos:

- **Tutores Baseados em Regras Cognitivas (*Cognitive Tutors*):** Modelos que exigem a programação formal de modelos cognitivos baseados em regras de produção para simular detalhadamente os processos psicológicos de resolução de problemas (Aleven et al., 2016).
- **Tutores Baseados em Exemplos (*Example-Tracing Tutors*):** Um paradigma altamente acessível no qual o criador constrói a lógica do sistema resolvendo o problema passo a passo diretamente na interface gráfica. O CTAT captura essa demonstração prática e a converte automaticamente em um Grafo de Comportamento (*behavior graph*). Este grafo mapeia visualmente os caminhos corretos seguidos pelo autor e permite a inclusão manual de ramificações que preveem os erros conceituais prováveis dos estudantes, associando a cada nó mensagens personalizadas de *feedback* e dicas gradativas sem que o educador precise redigir uma única linha de código fonte (Aleven et al., 2016).

2.6 Agência Docente e Co-design Tecnológico

A introdução de tecnologias digitais complexas, como os Sistemas Tutores Inteligentes, no ecossistema escolar exige uma discussão que transcende a mera viabilidade técnica dos *softwares*: faz-se necessário investigar o papel do professor diante dessas inovações. Historicamente, as políticas de implementação tecnológica na educação básica adotaram um modelo linear e verticalizado, no qual especialistas de TI desenvolvem os sistemas de forma isolada e os entregam prontos para las instituições de ensino. Esse formato reduz o educador à condição de "consumidor passivo de tecnologia", gerando sistemas cujas métricas e funcionalidades frequentemente operam desalinhadas das demandas reais vivenciadas em sala de aula (Dermeval; Bittencourt, 2020).

Para contrapor essa dinâmica excludente e fomentar o protagonismo do professor no ciclo de desenvolvimento, a literatura contemporânea recorre ao conceito de Agência Docente. Conforme a teorização de referenciados autores da área:

> a agência não deve ser compreendida como um atributo fixo ou uma propriedade intrínseca que o professor individualmente possui ou carece. Pelo contrário, a agência emerge de forma dinâmica a partir da imbricação de três dimensões temporais e estruturais: as experiências acadêmicas e profissionais acumuladas pelo docente (passado), suas projeções e aspirações pedagógicas (futuro) e as condições materiais, sociais e institucionais concretas do ambiente em que atua (presente) (Priestley; Biesta; Robinson, 2015, p. 34).

Nessa perspectiva, para que o professor manifeste sua agência de forma activa e autônoma, o ambiente escolar e as ferramentas disponíveis precisam oferecer suporte a suas tomadas de decisão pedagógica. No contexto dos *softwares* inteligentes, isso se viabiliza por meio do co-design tecnológico. O co-design estabelece uma abordagem colaborativa que redistribui o poder de design do *software*, inserindo o educador como um parceiro crítico, co-projetista e autor ativo do sistema, capaz de influir diretamente sobre a lógica instrucional, a customização de conteúdos e a definição de *feedbacks* contextuais (Alonso-Prieto; Martínez-Monés, 2025).

Apoiando-se na Teoria da Autodeterminação (*Self-Determination Theory* — SDT), Xia et al. (2022) argumentam que a adoção sustentada de uma tecnologia educacional está intrinsecamente ligada ao atendimento de três necessidades psicológicas básicas do docente: autonomia, competência e pertencimento. Quando ferramentas de IA operam de maneira opaca ("caixa-preta") ou limitam o controle do professor, a tendência natural do ecossistema pedagógico é de rejeição à ferramenta. Em contrapartida, quando o docente atua por meio de plataformas de autoria que respeitam sua autonomia profissional e ampliam suas capacidades didáticas, permitindo-lhe adaptar a tecnologia à realidade sociocultural e às limitações materiais de seus alunos, a disposição para continuar utilizando e integrando o sistema aumenta consideravelmente.

Essa discussão torna-se ainda mais urgente no cenário educacional brasileiro. A formação inicial docente, historicamente deficitária em letramento digital avançado, raramente engaja os professores em atividades de concepção e modelagem de recursos digitais. Somando-se a isso a precarização estrutural e a sobrecarga de trabalho que caracterizam as escolas públicas, a transição do professor de mero operador para avaliador crítico e autor de STIs constitui um mecanismo essencial de emancipação pedagógica, viabilizando que a inovação tecnológica atue como promotora de inclusão digital e mitigadora da iniquidade, mesmo em contextos de extrema vulnerabilidade.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

A literatura recente tem buscado compreender como a inclusão do professor no desenvolvimento de tecnologias inteligentes pode reduzir as barreiras de adoção. Observa-se uma evolução: os estudos mais antigos se concentravam na aceitação técnica; os mais recentes investigam a agência e o co-design em contextos reais.

Cabe ressaltar que a fundamentação construída nesta seção configura-se como uma revisão bibliográfica de caráter exploratório e delineamento qualitativo, mapeando as produções mais aderentes ao escopo da pesquisa. Portanto, não se trata de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) baseada em protocolos formais e rígidos de busca estrita, mas sim de uma seleção analítica direcionada a estabelecer o estado da arte sobre *frameworks* de autoria e agência docente.

Tabela 2 – Síntese Comparativa dos Trabalhos Relacionados

Estudo	**Método**	**Participantes**	**Foco Principal**	**Lacuna Identificada**
Holstein et al. (2017)	Entrevistas de design, *speed-dating*	Prof. de matemática	Necessidades de *analytics* em tempo real	Métricas desalinhadas com necessidades docentes
Dermeval e Bittencourt (2020)	Experimentação, questionários	Docentes brasileiros	Co-design de STIs gamificados	Aceitação alta, sem estudo longitudinal
Xia et al. (2022)	Revisão sistemática	N/A (literatura)	Agência docente e SDT na IAED	Necessidade de adaptação em baixa conectividade
Calo e Maclellan (2024)	Prototipação com IA Generativa	Educadores	Simplificação de autoria via LLMs	Falta validação em contextos reais
Isotani et al. (2024)	Estudo qualitativo, entrevistas	3 prof., 49 alunos	STI *Unplugged* (*MathAide*)	Desafios de infraestrutura persistem
Alonso-Prieto et al. (2025)	Estudo de caso interpretativista	Prof. em co-design	Agência docente e identidade	Dependência de facilitação do pesquisador
Galletti e Cesaroni (2025)	Métodos mistos	Docentes	Transição de curiosidade a crítica	Confiança depende de transparência
Silva et al. (2026)	Revisão sistemática (27 estudos)	N/A (literatura)	*Feedback* em STIs (2019-2022)	Baixa participação docente no design
Presente estudo	Estudo de caso múltiplo qualitativo	26 part. (3 eventos)	Percepção de autoria + *unplugged*	Visão do professor como autor em contextos de vulnerabilidade.

Fonte: Autoria própria, com base na revisão de literatura (2026).

Holstein et al. (2017) foram dos primeiros a tentar mapear o que os professores de fato precisam em termos de suporte tecnológico. Através de entrevistas de design e sessões de *speed-dating* com professores de matemática, os autores identificaram que as métricas fornecidas pelas ferramentas disponíveis frequentemente não correspondiam ao que os docentes consideravam útil. Isso sinalizava que a ausência de controle pedagógico era um entrave sério à adoção.

Dermeval e Bittencourt (2020), já no contexto brasileiro, avançaram para a experimentação prática. Propuseram uma solução de autoria baseada em modelos de variabilidade e gamificação, de modo que o professor pudesse atuar como co-projetista de STIs gamificados. Os resultados indicaram que a ferramenta permitia customizar tutores em poucos minutos e que a percepção de facilidade de uso era alta. Esse trabalho, publicado na RBIE, é uma referência importante para o co-design de STIs no Brasil, embora não tenha abordado os desafios específicos de contextos com extrema vulnerabilidade digital.

Xia et al. (2022), em sua revisão sistemática, trouxeram a perspectiva da Teoria da Autodeterminação para a discussão, defendendo que a percepção de autonomia do professor é um preditor relevante da adoção sustentável de tecnologias. A conclusão dos autores é de que essa necessidade se torna ainda mais aguda em cenários de baixa conectividade, um ponto que se conecta diretamente ao nosso contexto de pesquisa.

Calo e Maclellan (2024) propuseram o uso de *Large Language Model* (LLM) com *prompt engineering* para gerar *layouts* e conteúdos de tutores a partir de requisitos de alto nível. A ideia era reduzir o esforço de design por meio de manipulação direta, sem exigir código. A abordagem é promissora, mais ainda carece de validação empírica em ambientes educacionais reais, especialmente em regiões com infraestrutura precária.

Isotani et al. (2024), com o sistema *MathAIde*, testaram a viabilidade de STIs *unplugged* com três professores e 49 estudantes ao longo de 12 aulas, seguidas de entrevistas semiestruturadas. Os resultados mostraram que o sistema auxiliou o planejamento e a execução das aulas, mas os desafios de infraestrutura persistiram.

Alonso-Prieto et al. (2025) investigaram, por meio de estudo de caso qualitativo, como o co-design impacta a identidade profissional do docente. Identificaram que os professores querem mais controle sobre o "modelo do aluno" e que o papel do pesquisador como facilitador é decisivo para que o processo funcione.

Galletti e Cesaroni (2025), usando métodos mistos, observaram que os professores transitam de uma curiosidade inicial para uma postura crítica conforme usam a ferramenta, e que

a confiança no sistema depende da transparência e da autonomia que ele oferece ao professor.

A revisão de Silva et al. (2026) mapeou 27 estudos sobre o uso de *feedback* em STIs (2019–2022) e confirmou que, embora o *feedback* automatizado melhore o desempenho dos alunos, não há evidências claras de que reduza o trabalho do professor. O achado mais relevante para a presente pesquisa é a constatação de que os professores participam pouco da validação e do design desses *feedbacks*.

Esse panorama bibliográfico sinaliza a relevância e a oportunidade de desenvolvimento do presente estudo. Enquanto parcela expressiva da literatura mapeada dedica-se majoritariamente à avaliação de eficácia dos sistemas ou à usabilidade de interfaces em ambientes dotados de infraestrutura estável, há indícios de uma lacuna permanente no que tange à investigação da autoria docente em cenários de severa restrição digital. Desse modo, o foco desta pesquisa recai sobre as percepções de sujeitos inseridos no contexto educacional brasileiro, sem formação técnica avançada em computação, mapeando sua disposição e os desafios vivenciados ao assumirem o papel de autores de STIs.

A contribuição original deste trabalho reside, portanto, em articular agência docente, iniquidade digital e o paradigma *unplugged* a partir de dados empíricos colhidos em múltiplos cenários práticos, oferecendo indícios sobre caminhos para mitigar a exclusão tecnológica na educação pública.

4 METODOLOGIA

O objetivo central desta pesquisa foi investigar as percepções, os desafios e as potencialidades que os participantes venham a identificar no processo de desenvolvimento de STIs. Como a integração da IAED depende da aceitação e do engajamento, entender como participantes sem formação técnica interagem com ferramentas de autoria é uma questão relevante. Para alcançar esse objetivo e responder às questões de pesquisa (QP1 e QP2), optou-se por uma abordagem qualitativa, estruturada como estudo de caso múltiplo (Yin, 2018). A pesquisa foi conduzida durante o minicurso "Tecnologias Educacionais: construindo Sistemas Tutores Inteligentes a partir de Cognitive Tutor Authoring Tools (CTAT)".

O minicurso foi oferecido em três eventos acadêmicos diferentes, o que proporcionou diversidade de perfis e contextos para analisar o primeiro contato dos participantes com a autoria de tutores. A proposta articula uma parte teórica sobre STIs com a prática de construção de sistemas usando o CTAT, ferramenta escolhida por permitir que educadores desenvolvam STIs com baixa dependência de conhecimentos em programação (Aleven et al., 2016).

A pesquisa, assim, contribui para a literatura ao registrar as opiniões, as dificuldades de usabilidade e as perspectivas de aplicação prática relatadas pelos participantes, oferecendo evidências sobre como softwares de autoria podem facilitar a criação de soluções personalizadas de ensino em diferentes contextos.

4.1 Definição dos Múltiplos Casos de Estudo

O minicurso teve três edições sequenciais, totalizando 26 participantes. Como desenho metodológico para assegurar a riqueza da análise qualitativa, o estudo não aplicou uma triangulação uniforme e idêntica de dados para todos os cenários. Em vez disso, foram utilizadas fontes de informações e instrumentos de coleta diferentes em cada estudo de caso, respeitando a dinâmica, a modalidade (remota ou presencial) e a natureza de cada evento parceiro.

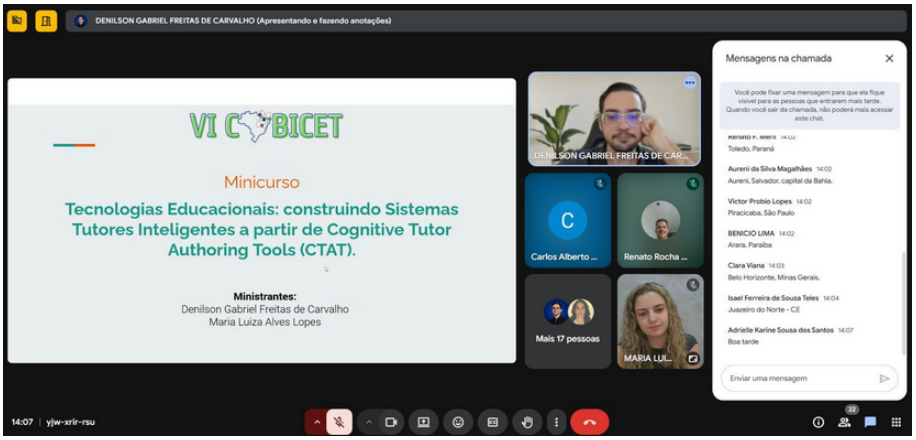
Tabela 3 – Caracterização das Edições do Minicurso

Edição	**Evento**	**Modalidade**	**Nº Part.**	**Instrumento Coleta**	**Foco da Intervenção**
Caso 1	COBICET	Remoto	5	Formulário Google	Observação assistida — construção demonstrativa de tutor pela ministrante
Caso 2	CTRL-E	Presencial	3	Formulário Google + Diário de Bordo	Construção ativa de tutores pelos participantes
Caso 3	SECEN	Presencial	18	Formulário Google	Construção ativa de tutores e a percepção de utilidade em exatas

Fonte: Autoria própria, (2026).

A primeira edição (Caso 1) foi realizada de forma inteiramente remota durante o Congresso Brasileiro de Interdisciplinaridade em Ciência e Tecnologia (COBICET). Nessa etapa inicial, os participantes acompanharam de modo síncrono uma exposição teórica detalhada a respeito dos STIs e sua arquitetura clássica de quatro módulos. Na segunda metade, os participantes observaram a modelagem prática de um tutor executada em tempo real pela ministrante no CTAT, compreendendo a lógica de autoria por demonstração e o comportamento dos grafos (*behavior graphs*). Sob a perspectiva metodológica, essa intervenção configurou-se como um cenário piloto para refinar a abordagem pedagógica e validar o design instrucional do minicurso. Como representação desse ambiente síncrono, a Figura 3 ilustra o ambiente virtual de aprendizagem utilizado.

Figura 3 – Registro da primeira edição do minicurso em modalidade remota no evento COBICET



Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

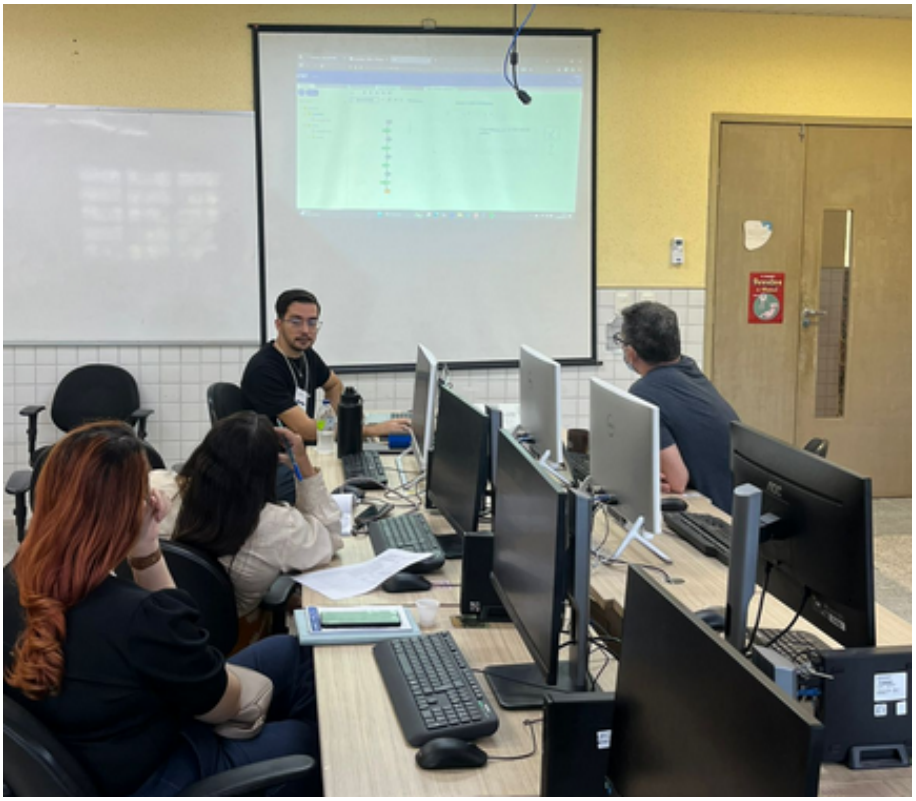
A segunda edição (Caso 2) ocorreu de forma presencial no Congresso Regional de Tec-

nologias na Educação (CTRL-E). Diferenciando-se da etapa piloto, essa edição priorizou a construção ativa e o co-design tecnológico. Após a exposição conceitual, os participantes interagiram diretamente com o CTAT. A composição desse grupo atendeu a um perfil especializado de profissionais de design instrucional, coordenadores pedagógicos e gestores educacionais, o que propiciou discussões profundas sobre a antecipação dos erros dos alunos e a calibração de mensagens de *feedback* pedagógico. Os momentos são registrados na Figura 4 (abertura do minicurso) e na Figura 5 (mediação prática da construção dos grafos de comportamento projetados em tela).

Figura 4 – Abertura institucional do minicurso no evento CTRL-E

Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

Figura 5 – Mediação prática da autoria de STIs com os participantes no laboratório

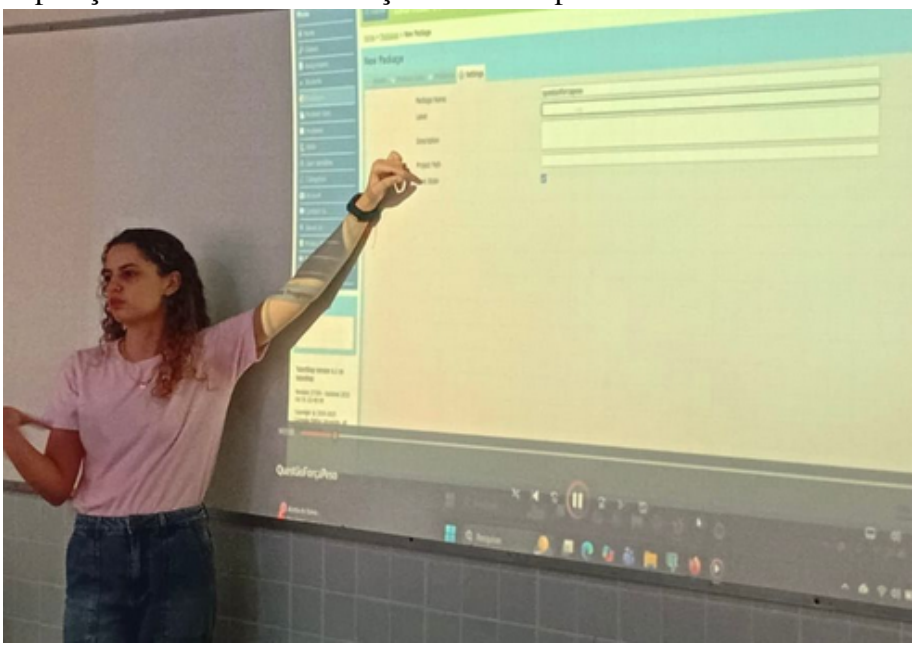


Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

A terceira edição (Caso 3) foi conduzida presencialmente durante a Semana de Engenharia, Ciência e Tecnologia da Natureza (SECEN), configurando a etapa estratégica para avaliar a curva de aprendizado de usuários sem contato prévio com *frameworks* de autoria de STIs. O evento ocorreu no campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

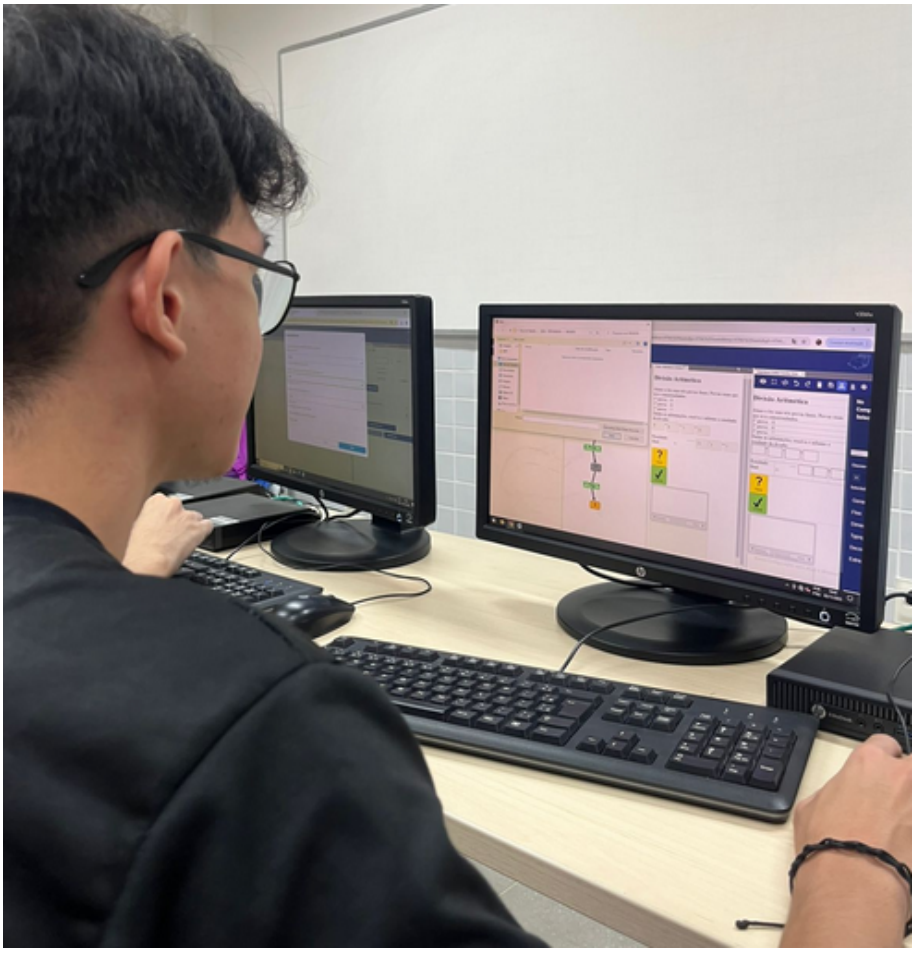
A execução desta edição é ilustrada sequencialmente: a Figura 6 apresenta a autora realizando a exposição conceitual; a Figura 7 evidencia o engajamento individual de um participante na manipulação direta dos grafos de comportamento no CTAT; e a Figura 8 traz o registro coletivo da turma ao término das atividades. Cabe enfatizar textualmente que os participantes alocados nos laboratórios práticos dos Casos de Estudo 2 e 3 finalizaram com sucesso a construção completa de seus STIs dentro do tempo estipulado.

Figura 6 – Exposição conceitual e mediação realizada pela autora na UFERSA



Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

Figura 7 – Engajamento de participante na manipulação de grafos de comportamento no CTAT



Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

Figura 8 – Registro coletivo da turma de participantes no laboratório de informática

Fonte: Arquivo pessoal, (2026).

Os dados foram coletados com três instrumentos: (a) Formulários de Percepção, aplicados ao final de cada minicurso para captar o perfil dos participantes e suas avaliações de utilidade e facilidade de uso; (b) Diário de Bordo, usado pelo pesquisador para anotar observações diretas, dúvidas frequentes e comportamentos durante a prática; e (c) Questionários de Respostas Abertas, voltados a capturar relatos mais detalhados sobre os desafios enfrentados. A Tabela 4 apresenta a estrutura desses instrumentos.

Tabela 4 – Detalhamento dos Instrumentos de Pesquisa

Instrumento	**Momento de Aplicação**	**Objetivos Principais**	**Exemplos de Perguntas**
Formulário de Percepção	Pré e Pós-Seminário	Caracterização do perfil e medição de consciência tecnológica.	"Já conhecia o conceito de STI?" "Como classifica a utilidade da ferramenta?"
Diário de Bordo	Durante a Intervenção	Registrar reações imediatas e obstáculos técnicos observados.	Registro de comentários sobre a lógica de componentes, dúvidas e frustrações com idioma.
Questionário de Respostas Abertas	Pós-Seminário	Coletar relatos detalhados e sugestões de melhoria.	"Quais obstáculos e frustrações para o uso na sua realidade?" "Como a abordagem unplugged favorece a inclusão?"

Fonte: Autoria própria, (2026).

4.2 Participantes

No total, 26 pessoas participaram da pesquisa, selecionadas por conveniência durante os minicursos. O grupo era heterogêneo. De um lado, havia professores em exercício, atuantes no ensino fundamental e médio, gestores educacionais, coordenadores pedagógicos e designers

instrucionais, com tempo de magistério variando de menos de um ano a mais de 20 anos. De outro, estudantes de graduação e licenciatura, na maioria das áreas de Ciência e Tecnologia e Computação, representando uma geração que pode, no futuro, mediar a relação entre tecnologia educacional e sala de aula.

O gênero masculino predominou (76,9%), o que se explica em parte pela composição dos cursos de Tecnologia da Informação (TI), que concentraram a maioria dos participantes da terceira edição. Um dado relevante: 100% dos participantes declararam não ter conhecimento prévio sobre STIs ou sobre o CTAT. Isso confirma que o primeiro contato com a tecnologia de autoria aconteceu exclusivamente no minicurso, o que reduz vieses associados à experiência anterior. A Tabela 5 consolida o perfil de cada participante.

Tabela 5 – Caracterização do Perfil dos Participantes da Pesquisa *(Continua)*

ID	**Evento**	**Gênero**	**Faixa Etária**	**Ocupação Principal**	**Área de Atuação / Formação**
P01	COBICET	Masc.	N/I*	Docente / Professor	Ensino de Ciência e Tecnologia
P02	COBICET	Masc.	N/I*	Discente Pós-Graduação	Ensino / Educação
P03	COBICET	Fem.	N/I*	Discente Pós-Graduação	Química
P04	COBICET	Masc.	N/I*	Discente Pós-Graduação	Computação
P05	COBICET	Fem.	N/I*	Discente Graduação	Ciência e Tecnologia
P06	CTRL-E	Fem.	51-60	Designer Instrucional	Design Instrucional / Gestão
P07	CTRL-E	Masc.	31-40	Docente / Professor	Coordenação Pedagógica
P08	CTRL-E	Masc.	21-30	Discente Pós-Graduação	Tecnologias na Educação
P09	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)

Tabela 5 – Caracterização do Perfil dos Participantes da Pesquisa *(Continuação)*

ID	**Evento**	**Gênero**	**Faixa Etária**	**Ocupação Principal**	**Área de Atuação / Formação**
P10	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P11	SECEN	Fem.	21-30	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P12	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P13	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P14	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P15	SECEN	Masc.	21-30	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P16	SECEN	Fem.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P17	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P18	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P19	SECEN	Fem.	21-30	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P20	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P21	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P22	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)

Tabela 5 – Caracterização do Perfil dos Participantes da Pesquisa *(Conclusão)*

ID	Evento	Gênero	Faixa Etária	Ocupação Principal	Área de Atuação / Formação
P23	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P24	SECEN	Masc.	21-30	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P25	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)
P26	SECEN	Masc.	<20	Discente Graduação	Tecnologia da Informação (TI)

Fonte: Autoria própria, (2026).

4.3 Considerações Éticas

Antes de cada minicurso, os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa e sobre o caráter voluntário da participação. A coleta foi anônima, usamos códigos alfanuméricos (P01 a P26) em vez de nomes. Os formulários e questionários foram aplicados após consentimento verbal, com explicação prévia dos fins acadêmicos. Como os dados foram coletados em eventos científicos públicos, com participação voluntária e anonimização dos respondentes, o estudo seguiu os princípios éticos de pesquisa com seres humanos vigentes no Brasil.

4.4 Análise de Dados

A análise seguiu o método de Análise Temática Reflexiva de Clarke e Braun (2017). A escolha se justifica pela flexibilidade do método e por sua adequação a pesquisas exploratórias que buscam identificar padrões em dados textuais. O processo percorreu seis fases.

Na primeira fase (*familiarização*), todas as respostas abertas, registros do diário de bordo e notas de observação foram lidos integralmente e de forma repetida, para que se formasse uma compreensão inicial do conjunto de dados.

Na segunda fase (*codificação*), segmentos de texto relevantes foram identificados e codificados de forma indutiva e sem categorias predefinidas. Exemplos de códigos: “desejo de

personalização", "frustração com idioma", "percepção de utilidade para escolas com poucos recursos", "dificuldade com a lógica de comportamento".

Na terceira fase (*busca por temas*), os códigos foram agrupados por afinidade, o que resultou em dois eixos: percepções positivas (consciência de autoria) e desafios manifestados.

Na quarta fase (*revisão*), os temas candidatos foram confrontados com os dados originais para verificar sua coerência.

Na quinta fase (*definição*), os temas receberam nomes definitivos: na dimensão de Consciência e Percepção, três categorias (Autoria e Intenção, Aplicabilidade e Mediação, Atributos de Valor); na dimensão de Desafios, quatro categorias (Usabilidade, Desafios Cognitivos, Limitações Linguísticas, Barreiras Estruturais).

Na sexta fase (*produção do relatório*), os achados foram organizados e articulados com a literatura, gerando a narrativa apresentada a seguir.

O que se buscou, ao longo de todo o processo, foi identificar padrões que relacionassem a facilidade de autoria com a intenção de uso futuro, além de mapear os obstáculos que surgem quando professores sem formação técnica tentam assumir o papel de autores de STIs.

4.5 Considerações Éticas

Antes de cada minicurso, os participantes foram informados sobre os objetivos da pesquisa e sobre o caráter voluntário da participação. A coleta foi anônima, usamos códigos alfanuméricos (P01 a P26) em vez de nomes. Os formulários e questionários foram aplicados após consentimento verbal, com explicação prévia dos fins acadêmicos. Como os dados foram coletados em eventos científicos públicos, com participação voluntária e anonimização dos respondentes, o estudo seguiu os princípios éticos de pesquisa com seres humanos vigentes no Brasil.

4.6 Análise de Dados

A análise seguiu o método de Análise Temática Reflexiva de Clarke e Braun (2017). A escolha se justifica pela flexibilidade do método e por sua adequação a pesquisas exploratórias que buscam identificar padrões em dados textuais. O processo percorreu seis fases.

Na primeira fase (*familiarização*), todas as respostas abertas, registros do diário de bordo e notas de observação foram lidos integralmente e de forma repetida, para que se formasse uma

compreensão inicial do conjunto de dados.

Na segunda fase (*codificação*), segmentos de texto relevantes foram identificados e codificados de forma indutiva e sem categorias predefinidas. Exemplos de códigos: “desejo de personalização”, “frustração com idioma”, “percepção de utilidade para escolas com poucos recursos”, “dificuldade com a lógica de comportamento”.

Na terceira fase (*busca por temas*), os códigos foram agrupados por afinidade, o que resultou em dois eixos: percepções positivas (consciência de autoria) e desafios manifestados.

Na quarta fase (*revisão*), os temas candidatos foram confrontados com os dados originais para verificar sua coerência.

Na quinta fase (*definição*), os temas receberam nomes definitivos: na dimensão de Consciência e Percepção, três categorias (Autoria e Intenção, Aplicabilidade e Mediação, Atributos de Valor); na dimensão de Desafios, quatro categorias (Usabilidade, Desafios Cognitivos, Limitações Linguísticas, Barreiras Estruturais).

Na sexta fase (*produção do relatório*), os achados foram organizados e articulados com a literatura, gerando a narrativa apresentada a seguir.

O que se buscou, ao longo de todo o processo, foi identificar padrões que relacionassem a facilidade de autoria com a intenção de uso futuro, além de mapear os obstáculos que surgem quando professores sem formação técnica tentam assumir o papel de autores de STIs.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os temas e padrões semânticos que emergiram do processo de codificação e categorização, fundamentados na Análise Temática Reflexiva (Braun; Clarke, 2017), foram estruturados em duas macrodimensões. A primeira macrodimensão investiga a Consciência e Percepção sobre o Desenvolvimento de STIs, fornecendo subsídios empíricos para responder à Questão de Pesquisa 1 (QP1). A segunda macrodimensão inventaria os Desafios Manifestados no Processo de Autoria com o *framework* CTAT, mapeando as barreiras necessárias para responder à Questão de Pesquisa 2 (QP2).

O *corpus* desta análise é composto por 26 participantes distribuídos em três estudos de caso com perfis complementares: o COBICET (5 participantes com perfil multidisciplinar em Computação, Ensino e Química), o CTRL-E (3 participantes com perfil estratégico em Docência e Design Instrucional) e a SECEN/UFERSA (18 participantes com perfil eminentemente técnico na área de Tecnologia da Informação). Nenhum dos participantes possuía contato prévio com Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) ou com o ecossistema do *Cognitive Tutor Authoring Tools* (CTAT), o que torna os dados de percepção de autoria um reflexo genuíno do impacto inicial gerado pelas ferramentas de autoria *no-code*. Convém destacar textualmente que, nos cenários práticos presenciais (CTRL-E e SECEN), as dinâmicas de oficina culminaram na finalização bem-sucedida e na entrega dos modelos lógicos de tutores propostos, evidenciando a viabilidade operacional do ecossistema mesmo sob limites rígidos de tempo.

5.1 Dimensão 1: Consciência e Percepção sobre o Desenvolvimento de STIs

Esta dimensão abarca o posicionamento analítico, cognitivo e identitário dos sujeitos da pesquisa quando confrontados com a possibilidade de deixarem de ser meros consumidores para se tornarem desenvolvedores de seus próprios sistemas de suporte ao aprendizado.

5.1.1 Percepção de Autoria e Intenção de Desenvolvimento

O primeiro padrão temático identificado revela uma rápida identificação dos participantes com o papel de criadores tecnológicos. A flexibilidade proporcionada pela autoria por demonstração ativou nos participantes o desejo de customização instrucional, conforme pode ser observado nas falas de participantes do CTRL-E e do COBICET:

“A possibilidade de montar sua própria versão do tutor é o que mais chama atenção, a

personalização e versatilidade na construção de tutores inteligentes." (Participante, CTRL-E).

"Vejo que é uma ideia semelhante ao Kahoot e outros, porém com a possibilidade de montar sua própria versão. Vejo uma possível ferramenta para usar no meu mestrado." (Participante, COBICET).

Esses relatos corroboram a perspectiva ecológica da agência docente proposta por Priestley, Biesta e Robinson (2015), demonstrando como a agência emerge quando os profissionais projetam soluções pedagógicas futuras a partir das limitações que já vivenciaram no passado. O desejo de "montar sua própria versão" reflete a busca por autonomia profissional, rompendo com o modelo tradicional e verticalizado de desenvolvimento de software educacional criticado por Dermeval e Bittencourt (2020).

Um fator computacional determinante para a consolidação dessa percepção de autoria foi a mitigação da barreira técnica por meio da eliminação da necessidade de programação textual, como evidenciado nos seguintes depoimentos:

"A ferramenta permite criar tutores sem precisar programar uma linha de código. Isso mostra a facilidade de criação sem necessidade de programação." (Participante, COBICET).

A remoção do código-fonte como pré-requisito atua como um elemento catalisador da percepção de competência, uma das necessidades psicológicas básicas defendidas na Teoria da Autodeterminação por Xia et al. (2022). Ao perceberem que o *framework* CTAT traduz suas ações gráficas em lógica computacional, os educadores experimentam um senso de empoderamento técnico.

Contudo, a análise revelou que essa percepção não ocorreu de forma homogênea entre os três estudos de caso. Enquanto os participantes do COBICET e do CTRL-E concentraram as suas intenções na aplicação do tutor para disciplinas tradicionais ou em contextos de sala de aula regular, os participantes da SECEN (predominantemente discentes de Tecnologia da Informação da UFERSA) projetaram o uso do CTAT para a criação de tutores focados no ensino da própria computação, como destacado a seguir:

"Vejo bastante potencial, na área de Tecnologia da Informação, o CTAT pode ser aplicado para desenvolver tutores voltados ao ensino de lógica de programação, algoritmos ou fundamentos de sistemas, e acho que é vantajoso visto que a ferramenta torna o aprendizado mais dinâmico de uma maneira personalizada." (Participante, SECEN).

"Atuo como estudante na área de TI e acredito que o CTAT poderia ser usado para desenvolver tutores voltados ao ensino de lógica de programação, manutenção de computadores

e redes, ajudando a praticar e fixar melhor os conteúdos ensinados em sala de aula." (Participante, SECEN).

Essa divergência confirma a tese de Priestley, Biesta e Robinson (2015) de que a agência não é um atributo estático do indivíduo, mas sim um fenômeno contextual que depende das experiências prévias (passado) e das aspirações de carreira (futuro) de cada sujeito. Os estudantes de TI enxergaram no CTAT uma oportunidade de automatizar e tornar interativo o aprendizado de algoritmos complexos, o que demonstra a versatilidade do *framework* para além das disciplinas escolares básicas.

5.1.2 Percepção de Aplicabilidade e Mediação Pedagógica

Os participantes projetaram a incorporação do STI não como um substituto da figura do professor, mas como um elemento de suporte, engajamento e extensão da capacidade de mediação em sala de aula:

"Acredito ser uma ferramenta que pode auxiliar estudantes de uma forma dinâmica a compreender por meio de tentativa e erro assuntos simples, mas acredito que o contato humano permanece sendo algo essencial para a absorção de um determinado conteúdo." (Participante, SECEN).

"É uma ferramenta muito interessante e que com certeza ajuda o professor a elaborar atividades assíncronas para os alunos." (Participante, COBICET).

Essa visão de integração harmoniosa converge com os achados de Galletti e Cesaroni (2025), os quais apontam que os professores tendem a aceitar melhor as tecnologias baseadas em IA quando as percebem como ferramentas de ampliação de sua própria capacidade pedagógica, e não como agentes de automação substitutiva. Além disso, o potencial de apoiar ritmos de aprendizagem variados por meio do *inner loop* foi destacado por participantes com foco na autonomia do estudante:

> "É uma ferramenta ampla e que você é direcionado pela ferramenta ao aprendizado passo a passo de algo, sendo facilitado o processo de aprendizado do que pelo natural dos exercícios de tentar aprender por conta própria." (Participante, SECEN).

Essa flexibilidade estrutural valida o modelo de VanLehn (2011) sobre a eficácia dos STIs ao operarem no nível de granularidade do passo a passo do estudante.

5.1.3 Atributos de Valor da Tecnologia

Dentre as propriedades técnicas do *framework*, o mecanismo de fornecimento de mensagens de *feedback* contextualizado e dicas gradativas foi unanimemente apontado como o maior atributo de valor do sistema, funcionando como um mediador do erro:

> "Achei muito positivo ver como a ferramenta permite representar o processo de aprendizado de forma visual e interativa por meio de feedbacks." (Participante, SECEN).

> "Sim vejo que podeis utilizar no contexto da gamificação, no contexto melhorado das avaliações externas com os alunos interagindo com as próprias habilidades que vai gradativamente aprendendo e recebendo feedbacks de suas ações interagindo com o conteúdo de cada habilidade." (Participante, CTRL-E).

> "O que mais chamou a minha atenção foi o fornecimento de feedback." (Participante, COBICET).

Esses percepções encontram amparo direto na revisão sistemática de Silva, Isotani e Bittencourt (2026), que identifica o *feedback* granular como o componente de maior impacto estatístico nos ganhos de retenção de conhecimento em STIs. Ao valorizarem esses atributos, os participantes demonstram que compreendem a interdependência entre o Modelo do Aluno (rastreamento de dados) e o Modelo Pedagógico (tomada de decisão instrucional), conforme a arquitetura clássica descrita por Woolf (2009).

5.2 Dimensão 2: Desafios Manifestados no Processo de Autoria

Apesar do forte potencial pedagógico e das percepções positivas sobre a autoria, o processo de desenvolvimento com o *framework* CTAT revelou um conjunto severo de barreiras técnicas, cognitivas e linguísticas que impõem resistência à sua adoção autônoma. O ponto de maior atrito identificado nos estudos de caso residiu na sobrecarga cognitiva gerada pela interface do sistema, pela barreira idiomática e pela complexidade na estruturação da lógica dos tutores, conforme evidenciado nos depoimentos dos participantes:

> “As maiores dificuldades encontradas ao interagir com o CTAT foram a questçao da usabilidade e o idioma (na plataforma é usado somente o inglês).” (Participante, CTRL-E).

> “Achei confuso compreender como estruturar corretamente o fluxo de ações e regras dentro da ferramenta.” (Participante, SECEN).

> “Um aspecto desafiador foi a parte dos componentes, achei confuso.” (Participante, CTRL-E).

> “Não gostei muito da aparência da interface.” (Participante, SECEN).

Esses relatos deixam claro que a usabilidade visual e a experiência do usuário (UX) do *framework* representam um obstáculo crítico. A insatisfação com a “aparência da interface” e a confusão com os “componentes” dialogam diretamente com os conceitos de Interação Humano-Computador defendidos por Barbosa et al. (2021), indicando que quando um sistema apresenta um design visual poluído ou fora dos padrões modernos esperados pelos usuários, a carga cognitiva de operação se eleva, o que pode gerar frustração e desestimular o uso contínuo.

Além disso, a análise revela que o desafio não é apenas visual, mas também lógico e conceitual. A dificuldade em “compreender como estruturar corretamente o fluxo de ações e regras” demonstra que a autoria de STIs exige do criador uma transição complexa do pensamento pedagógico tradicional para um raciocínio computacional ramificado. Conforme discutido por Alonso-Prieto et al. (2025), a agência docente plena só se concretiza se as ferramentas forem projetadas de modo a atenuar esses esforços de modelagem lógica.

Por fim, a ausência de localização da plataforma para a língua portuguesa surge como um vetor de exclusão técnica que inviabiliza a aprendizagem autodidata, tornando a curva de aprendizado ainda mais íngreme para professores inseridos em cenários de vulnerabilidade educacional.

5.2.1 Barreiras Estruturais e Vulnerabilidade Contextual: A Urgência do Paradigma Unplugged

Os dados extraídos das respostas abertas trouxeram à tona a severa precariedade material que caracteriza o cotidiano das escolas públicas brasileiras, tensionando a aplicabilidade de soluções de IA tradicionais que exigem conectividade ubíqua e constante. A falta de fomento fi-

nanceiro e a escassez de infraestrutura digital básica atuam como fortes restrições no ecossistema de ensino, conforme evidenciado nos relatos a seguir:

> "Os principais obstáculos são a falta de equipamentos adequados, limitações de internet e o pouco tempo disponível para aprender e aplicar essas ferramentas na rotina escolar." (Participante, SECEN).

> "A realidade da nossa região é a falta de verba para computadores básicos. Muitas escolas não têm sequer um laboratório que funcione minimamente e os alunos não têm internet em casa." (Participante, COBICET).

Diante deste cenário de vulnerabilidade estrutural, os participantes validaram de forma expressiva a urgência e a relevância do paradigma da Inteligência Artificial Educacional *Unplugged* (*IAED Unplugged*) proposto por Isotani et al. (2024), destacando o seu papel estratégico na mitigação de barreiras socioeconômicas e na promoção da inclusão digital:

> "É importante, pois sabemos que muitos têm dificuldades de acesso a internet, seja por forma estrutural ou financeira mesmo, não deixando ninguém excluído." (Participante, COBICET).

> "Na nossa realidade seria muito importante, pois temos alunos que muitas vezes têm redes de Internet apenas no celular ou na escola. Offline ajudaria em momentos de exercícios em casa." (Participante, CTRL-E).

> "Faz com que pessoas que possuem baixa renda e internet fraca possam aprender com facilidade." (Participante, SECEN).

A análise desse padrão temático indica que o modelo *unplugged* é percebido pelos participantes não como uma alternativa secundária, mas como um equalizador tecnológico fundamental para o Sul Global. Ao desvincular a execução das rotinas adaptativas e inteligentes do tutor da necessidade de uma conexão contínua de banda larga, o paradigma mitiga os efeitos da exclusão digital secundária, na qual o estudante possui um *hardware* básico ou móvel, mas carece de pacotes de dados estáveis fora da instituição de ensino.

Essa abordagem, em consonância com a defesa de Isotani et al. (2024), reposiciona o desenvolvimento de software educacional, demonstrando que a inovação pedagógica e a personalização do aprendizado podem ser democratizadas e universalizadas de maneira contextualizada, respeitando as restrições econômicas e geográficas de áreas remotas e comunidades rurais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa investigou como professores em serviço e em formação percebem o processo de autoria de Sistemas Tutores Inteligentes, tomando como referência o ecossistema do *framework* CTAT e o paradigma da IA Educacional *Unplugged*.

No que concerne à Questão de Pesquisa 1 (QP1), os resultados demonstraram que há uma disposição latente e expressiva por parte dos educadores para assumirem o papel de *co-designers* tecnológicos. Os sujeitos valorizam significativamente a capacidade de customizar *feedbacks* granulares e estruturar dicas gradativas, reconhecendo nesses atributos mecanismos fundamentais para estender a mediação pedagógica, tratar o erro de forma direcionada e atender aos diferentes ritmos de aprendizagem dos estudantes sem a necessidade de dominar linguagens de programação complexas.

Em relação à Questão de Pesquisa 2 (QP2), o estudo mapeou e categorizou os desafios em torno de duas macrodimensões operacionais: as barreiras intrínsecas ao software, que integram a usabilidade visual, a sobrecarga cognitiva da interface do CTAT, a complexidade abstrata na modelagem de regras de comportamento (*behavior graphs*), as limitações linguísticas pelo uso exclusivo do inglês; e as barreiras estruturais do ambiente educacional, marcadas por severas limitações de infraestrutura material (escassez de computadores e internet intermitente) nas redes de ensino. A análise revelou que essas restrições operam de forma sistêmica; logo, tentativas de mitigar apenas os componentes de interface e usabilidade do software, sem contextualizar as carências de conectividade local, são insuficientes para garantir a sustentabilidade e a viabilidade da autoria docente no cotidiano escolar.

As contribuições científicas e práticas deste Trabalho de Conclusão de Curso estruturam-se em três pilares fundamentais:

- **Constatação Empírica de Agência:** A comprovação de que os professores e futuros profissionais de TI possuem desejo de autoria tecnológica, desmistificando a visão de que a categoria docente resiste à inovação baseada em Inteligência Artificial.
- **Mapeamento Sistêmico de Barreiras de Engenharia:** A identificação qualificada dos pontos de atrito cognitivo, de usabilidade e linguísticos no *framework* CTAT, servindo como guia para o desenvolvimento de futuras ferramentas de autoria mais inclusivas.
- **Validação do Paradigma Unplugged:** A consolidação qualitativa da abordagem *unplugged* como uma alternativa metodologicamente viável e socialmente justa para o enfrentamento da iniquidade digital e da exclusão tecnológica na educação básica brasileira, em

especial no contexto de áreas remotas e zonas rurais do semiárido nordestino.

6.1 Implicações para Políticas Públicas

Os achados deste estudo geram recomendações diretas para órgãos formuladores de políticas públicas educacionais, como o Ministério da Educação (MEC) e as Secretarias Estaduais e Municipais de Ensino. Primeiramente, aponta-se para a necessidade de reforma dos modelos de formação tecnológica, substituindo os treinamentos instrumentais focados em softwares prontos por programas de formação continuada centrados no letramento digital avançado e na autoria docente.

Ademais, sugere-se o fomento a repositórios *unplugged* nacionais para o compartilhamento de matrizes de STIs geradas por professores locais, permitindo a impressão e distribuição de roteiros adaptativos em redes vulneráveis. Por fim, recomenda-se o financiamento de *frameworks* de autoria brasileiros que incorporem Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs) em português para automatizar e simplificar o design de interfaces, permitindo que o professor se concentre exclusivamente no planejamento pedagógico dos conteúdos.

6.2 Limitações e Trabalhos Futuros

Devem-se registrar as limitações metodológicas que circundam este trabalho. Primeiramente, a coleta de dados ocorreu no ecossistema de eventos científicos e acadêmicos, o que selecionou uma amostra de participantes com interesse prévio e afinidade acima da média em relação ao uso de tecnologias digitais, não representando a totalidade do corpo docente da educação básica brasileira. Em segundo lugar, o perfil dos participantes (especialmente no caso do terceiro estudo SECEN/UFERSA) concentrou-se predominantemente em indivíduos vinculados às áreas de Ciências Exatas e TI, cenário que tendeu a suavizar o impacto inicial dos desafios lógicos de modelagem algorítmica. Por fim, os dados capturaram as percepções e intenções manifestadas imediatamente após intervenções de curta duração (minicursos), impossibilitando a avaliação de se essas intenções de autoria se converteriam em práticas pedagógicas sustentadas no cotidiano escolar de longo prazo.

Para o desdobramento desta linha de pesquisa, recomendam-se os seguintes trabalhos futuros:

1. **Diversificação Epistemológica da Amostra:** Replicar a metodologia com professores das

áreas de Ciências Humanas, Sociais e Linguagens, investigando como a lógica de grafos de comportamento se adapta a disciplinas com estruturas de problemas menos lineares e mais abertas.

2. **Estudos Longitudinais de Acompanhamento:** Conduzir investigações que acompanhem os docentes ao longo de um ano letivo completo, avaliando a taxa de perenidade e os fatores reais que determinam a continuidade ou o abandono do uso de ferramentas de autoria no cotidiano das escolas públicas.
3. **Arquiteturas de Co-autoria via LLMs:** Desenvolver e testar protótipos de ferramentas de autoria que utilizem agentes baseados em IA Generativa para traduzir comandos em linguagem natural (português) diretamente na árvore lógica do CTAT, avaliando o impacto da IA na redução do tempo de localização de funções e mitigação da barreira linguística observados neste estudo.
4. **Estudos Experimentais Comparativos:** Realizar experimentos controlados que comparem os ganhos de aprendizagem de estudantes que utilizaram STIs concebidos por seus próprios professores da rede pública com turmas que utilizaram STIs genéricos desenvolvidos de forma isolada por engenheiros de software, validando o impacto pedagógico direto da agência e da contextualização do *co-design* docente.

REFERÊNCIAS

ALEVEN, V. *et al.* **Example-tracing tutors**: intelligent tutor development for non-programmers. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 26, p. 224–269, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40593-015-0088-2. Acesso em: 25 mai. 2026.

ALONSO-PRIETO, V. *et al.* **Exploring how teacher agency unfolds within the co-design of a smart learning environment supported learning activity**: a case study. **Computers & Education**, v. 226, 2025.

ANGELONI, M. T. **Gestão do conhecimento no Brasil: casos, experiências e práticas de empresas públicas**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008. 209 p.

BARBOSA, S. D. J. *et al.* **Interação humano-computador e experiêncial do usuário**. [S.l.]: Autoedição, 2021.

BRAUN, V.; CLARKE, V. **Using thematic analysis in psychology**. **Qualitative Research in Psychology**, v. 3, n. 2, p. 77–101, 2006.

CALO, T.; MACLELLAN, C. J. **Towards educator-driven tutor authoring**: generative AI approaches for creating intelligent tutor interfaces. In: **Proceedings [...]**. [S.l.: s.n.], 2024. (Workshop on Generative AI for Education (GAIED)).

CENTRO DE INOVAÇÃO PARA A EDUCAÇÃO BRASILEIRA (CIEB). **Nota técnica 16: Inteligência Artificial na educação**. São Paulo, 2019. Disponível em: https://cieb.net.br/wp-content/uploads/2019/11/CIEB$_{N}ota_{T}ecnica16_{n}ov_{2}019_{d}igital.pdf.Acessoem$: 25mai.2026.

CLARKE, V.; BRAUN, V. **Thematic analysis**. **The Journal of Positive Psychology**, v. 12, n. 3, p. 297–298, 2017.

DERMEVAL, D.; BITTENCOURT, I. I. **Co-designing gamified intelligent tutoring systems with teachers**. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 28, p. 73–91, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.5753/rbie.2020.28.0.73. Acesso em: 25 mai. 2026.

GALLETTI, M.; CESARONI, V. **From end-users to co-designers**: lessons from teachers. In: **Proceedings [...]**. Wien: [s.n.], 2025. (Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications, 20.).

HOLSTEIN, K.; MCLAREN, B. M.; ALEVEN, V. **Intelligent tutors as teachers' aides**: exploring teacher needs for real-time analytics in blended classrooms. In: **Proceedings [...]**. ACM, 2017. (International Learning Analytics & Knowledge Conference, 7.), p. 257–266. Disponível em: https://doi.org/10.1145/3027385.3027451. Acesso em: 25 mai. 2026.

ISOTANI, S. *et al.* **MathAIde in the classroom**: a qualitative analysis of teachers' perspectives of intelligent tutoring systems unplugged. In: **Anais [...]**. [S.l.]: SBC, 2024. (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024), 35.).

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, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.3102/0034654315581420. Acesso em: 25 mai. 2026.

LOPES, M. L. A. **Dados de coleta de pesquisa: autoria de sistemas tutores inteligentes em contextos de vulnerabilidade**. Natal: [s.n.], 2026. Disponível em: https://drive.google.com/drive/folders/1ergGyinGZK3rXybRIwkNnuxB5l3UQsXJ?usp=sharing. Acesso em: 17 jun. 2026. 1 pasta no Google Drive.

MACINA, J. *et al.* **Opportunities and challenges in neural dialog tutoring**. In: **Proceedings [...]**. [S.l.: s.n.], 2023. (Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications, 18.).

PEGORARO, R. F. *et al.* **Partição de biomassa e absorção de nutrientes pelo feijoeiro comum**. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 3, p. 41–52, jul./set. 2014. Disponível em: http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/3444/pdf$_1$37.*Acessoem* : 30*out*.2014.

PRIESTLEY, M.; BIESTA, G.; ROBINSON, S. **Teacher agency: an ecological approach**. London: Bloomsbury Academic, 2015.

RODRIGUES, L. *et al.* **A large-scale study on the effect of student-facing LLM-generated feedback in online learning**. **Computers & Education**, v. 220, 2024.

SILVA, L. R.; ISOTANI, S.; BITTENCOURT, I. I. **Use of feedback in intelligent tutoring systems**: a systematic literature review. **Interactive Learning Environments**, Taylor & Francis, 2026.

SMYTHOS. **Symbolic AI vs. Connectionist AI: complementary approaches to intelligent agents**. 2024. Disponível em: https://smythos.com/developers/agent-development/symbolic-ai-vs-connectionist-ai/. Acesso em: 25 mai. 2026.

SUN, R. **The connectionist-symbolic distinction, interaction, and integration**. **Neurocomputing**, v. 70, n. 13-15, p. 2115–2124, 2007.

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: 25 mai. 2026.

WOOLF, B. P. **Building intelligent tutoring systems**. Burlington: Morgan Kaufmann, 2009.

XIA, Q. *et al.* **A self-determination theory (SDT) design approach for inclusive and diverse artificial intelligence (AI) education**. **Computers & Education**, v. 189, p. 104582, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104582. Acesso em: 25 mai. 2026.

YIN, R. K. **Case study research and applications: design and methods**. 6. ed. [S.l.]: SAGE Publications, 2018.