

iLuminIA: Uma Abordagem Baseada em LLMs e RAG para Geração Automatizada de Planos Educacionais Individualizados

Mikeyas Brito¹, Francisco Emerson Sousa¹,
Gabriel R. S. Matos¹, Stephany R. Gonçalves¹, Maria Clara P. de Sousa¹,
Marciel B. Pereira^{1,2}, Amanda Venceslau^{1,3}, Sttiwe Washington

¹Laboratório de Engenharia de Software e
Sistemas (EngineLab/UFC) – Crateús-CE

²Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus de Crateús

³Instituto UFC Virtual – Universidade Federal do Ceará (UFC)

{mikeyas.lira, stephanyjatai, gabrielrudam92, marcielbp, sttiwew}@gmail.com

{emersonsousac, mariaclara.pereira}@alu.ufc.br

{amanda.pires}@ufc.br

Abstract. *This paper presents iLuminIA, an AI-based approach for the automated generation of IEPs, integrating LLMs and a RAG architecture. The solution uses student information, such as medical reports and academic records, aligned with the BNCC to generate personalized plans. The evaluation involved 38 educational professionals who blindly assessed four IEPs (two AI-generated and two human-written) across five pedagogical quality criteria. The results indicated superior performance of the generated documents, which achieved average scores ranging from 3.74 to 3.87, while the human-written documents obtained averages between 3.08 and 3.32, highlighting the potential of the proposed approach to support the development of IEPs.*

Resumo. *Este artigo apresenta o iLuminIA, uma abordagem baseada em IA para a geração automatizada de PEIs, integrando LLMs e uma arquitetura de RAG. A solução utiliza informações do estudante, como laudos médicos e histórico acadêmico, alinhadas à BNCC para gerar planos personalizados. A avaliação envolveu 38 profissionais da área educacional, que analisaram cegamente quatro PEIs (dois gerados e dois elaborados por humanos) em cinco critérios de qualidade pedagógica. Os resultados indicaram desempenho superior dos documentos gerados, que alcançaram médias entre 3,74 e 3,87, enquanto os documentos humanos apresentaram médias entre 3,08 e 3,32, evidenciando o potencial da abordagem proposta para apoiar a elaboração de PEIs.*

1. Introdução

O Plano Educacional Individualizado (PEI) é um instrumento pedagógico voltado à promoção da educação inclusiva. Sua principal função é guiar equipes multidisciplinares na criação de metas acadêmicas, sociais e de autonomia que respeitem a singularidade de alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e superdotação

[dos Santos et al. 2025]. Historicamente, a relevância do PEI no Brasil cresceu ancorada em conquistas legislativas vitais, que vão da Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), de 1996, à Lei Brasileira de Inclusão, de 2015. Contudo, a prática revela um cenário heterogêneo e muitas vezes desamparado de modelos formais [Mascaro 2018].

Embora o documento seja indispensável para garantir o direito à aprendizagem, a complexidade de sua construção exige um esforço considerável dos profissionais da educação, um gargalo técnico que hoje tensiona os limites do trabalho docente. Primeiramente, tem-se a falta de uma regulamentação clara, o que força as escolas a reinventarem os modelos a cada novo documento, gerando um desgaste desnecessário entre as equipes [da Silva et al. 2022]. Soma-se a isso o fato de que a formação docente raramente prepara o professor para as demandas reais do planejamento individualizado, transformando a escrita do PEI em uma tarefa minuciosa e exaustiva. Diante desse cenário de sobrecarga, explorar ferramentas baseadas em Inteligência Artificial Generativa capazes de simplificar esse processo surge como uma alternativa necessária para devolver eficiência e acessibilidade a uma atividade essencialmente humana.

Este trabalho apresenta o iLuminIA, uma abordagem baseada em Grandes Modelos de Linguagem (*Large Language Models*)s (LLMs) e na técnica de Geração Aumentada por Recuperação (*Retrieval Augmented Generation*) (RAG), projetada para auxiliar professores na elaboração automatizada de PEIs. A ferramenta integra informações pedagógicas e relatórios específicos dos estudantes para gerar sugestões contextualizadas de objetivos, estratégias e adaptações curriculares, garantindo que o docente atue como o agente central no processo de revisão, validação e refinamento do documento final.

2. Estado da Arte

O PEI é um instrumento de planejamento centrado nas necessidades específicas do estudante, elaborado para orientar estratégias pedagógicas, adaptações curriculares, metas educacionais e formas de acompanhamento do processo de aprendizagem. Seu objetivo principal é garantir que as ações educacionais sejam estruturadas considerando as particularidades individuais do aluno, favorecendo sua participação e desenvolvimento em contextos inclusivos [Tannús-Valadão and Mendes 2018].

A elaboração do PEI se caracteriza como um processo colaborativo e multidisciplinar, envolvendo professores, especialistas, equipe escolar e familiares na definição de objetivos, estratégias pedagógicas e formas de acompanhamento do estudante [Kupper 2000]. Esse processo considera diferentes características do estudante, como série escolar, idade, habilidades, conhecimentos prévios e objetivos de curto, médio e longo prazo, buscando orientar estratégias pedagógicas individualizadas, exigindo a coleta e análise de múltiplas fontes de informação, incluindo avaliações pedagógicas, histórico acadêmico e observações comportamentais.

A elaboração e revisão desses documentos representam atividades extensas e complexas para os professores, principalmente devido ao elevado volume de informações e à necessidade de adaptações individualizadas para cada estudante [Akçin 2022]. Além disso, apesar de que alguns estudos discutem a relevância e aplicação dos PEI, poucos deles descrevem de maneira estruturada os procedimentos utilizados para sua elaboração e implementação na prática [da Silva and Camargo 2021].

Com os avanços recentes em Inteligência Artificial (IA), especialmente em LLMs,

surgem novas possibilidades para automatizar processos e apoiar a tomada de decisão educacional, incluindo interações personalizadas, assistência aos estudantes e educadores, além do apoio aos processos educacionais [Chu et al. 2025]. Nesse contexto, abordagens baseadas em RAGs ampliam as capacidades dos LLMs ao integrar mecanismos de recuperação de informações provenientes de fontes externas de conhecimento ao processo de geração, possibilitando respostas mais contextualizadas e fundamentadas em informações relevantes ao domínio educacional [Li et al. 2025]. Nos últimos anos, diferentes pesquisas passaram a investigar o uso de IA generativa para apoiar a construção de Planos Educacionais Individualizados. O CoIEP [Zhang et al. 2024] é um sistema multiagente baseado em LLMs para cocriação de PEIs juntamente com professores de educação especial, incorporando mecanismos *human-in-the-loop* para revisão e refinamento do conteúdo gerado. Os autores destacam que a abordagem proposta possui potencial para apoiar o processo de elaboração dos PEIs, reduzindo o esforço associado à construção dos documentos e promovendo maior suporte à tomada de decisão dos profissionais envolvidos. Da mesma forma, abordagens baseadas em RAG têm demonstrado capacidade de melhorar a consistência e a precisão de conteúdos educacionais gerados automaticamente [Lu and Li 2025].

Samarth [Sowbhagya et al. 2026] é um sistema multiagente que integra LLMs e RAGs em uma arquitetura baseada em LangGraph para elaboração de PEIs. A abordagem utiliza agentes especializados para agregação de dados clínicos, acadêmicos e comportamentais, verificação de conformidade regulatória e geração iterativa dos planos, incorporando mecanismos denominados Humanos-no-Circuito (*Human-in-the-loop*) (HITL) para revisão dos resultados produzidos. Os autores destacam que a utilização de RAG permite recuperar conhecimento validado durante a geração do conteúdo, contribuindo para maior contextualização e consistência dos documentos gerados.

No estudo [Borges and Araujo 2025], os autores utilizaram LLM, por meio da ferramenta DeepSeek, para apoiar a geração automática de planos de aula inclusivos voltados para alunos com Transtorno do Espectro Autista (TEA). A abordagem adotou técnicas de *prompt engineering*, refinamentos iterativos e validação por especialistas para personalizar os conteúdos gerados. Porém, a proposta depende das instruções fornecidas nos *prompts*, não incorporando mecanismos explícitos de RAG.

A Tabela 1 apresenta a comparação resumida entre os trabalhos do estado da arte e a proposta do iLuminIA.

Diferentemente dessas abordagens, o presente trabalho propõe uma arquitetura baseada em LLM integrada a RAG, utilizando a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) como fonte estruturada de conhecimento. A incorporação do RAG permite recuperar informações relevantes diretamente da base de conhecimento durante a geração do PEI. Essa estratégia reduz a dependência exclusiva do conhecimento interno do LLM e pode contribuir para diminuir inconsistências e aumentar a aderência das recomendações ao contexto educacional brasileiro.

3. iLuminIA

O iLuminIA consiste em uma abordagem voltada ao apoio da educação inclusiva por meio da geração automatizada de rascunhos de PEIs. Seu principal objetivo é auxiliar professores e equipes multidisciplinares na elaboração de documentos pedagógicos per-

Tabela 1. Comparação entre trabalhos relacionados e a proposta do iLuminIA

Trabalho	LLM	RAG	Foco	HITL	Diferenciais
CoIEP	Sim	Não	Geração colaborativa de PEIs	Sim	Sistema multiagente para apoio à construção de PEIs com participação ativa de professores.
Samarth	Sim	Sim	Geração automatizada de PEIs	Sim	Integra agentes especializados, recuperação de dados clínicos e conformidade regulatória.
Borges et al.	Sim	Não	Planos de aula inclusivos para TEA	Sim	Utiliza <i>prompt engineering</i> e refinamento iterativo com validação de especialistas.
iLuminIA	Sim	Sim	Geração de PEIs alinhados à BNCC	Sim	Integra LLM e RAG utilizando documentos pedagógicos e a BNCC como base contextualizada ao cenário educacional brasileiro.

sonalizados, utilizando tecnologias de LLMs apoiadas por técnicas de RAG.

Os usuários são organizados em diferentes categorias de atuação:

- o *Coordenador*, responsável pelo gerenciamento institucional da escola;
- o *Profissional de Saúde*, encarregado do acompanhamento clínico do estudante e do envio de laudos médicos;
- e o *Profissional de Educação*, responsável pela elaboração e revisão dos PEIs.

Para a geração dos rascunhos, a plataforma utiliza como principais fontes de informação os laudos médicos disponibilizados para cada estudante, complementados pelas diretrizes da BNCC, que servem como referência para a recuperação de estratégias pedagógicas e objetivos de aprendizagem durante o processo de geração.

A abordagem é composta por três camadas principais: a interface de interação com o usuário, responsável pelo gerenciamento de estudantes e relatórios; a camada de backend, encarregada do gerenciamento de dados e comunicação entre os módulos; e o agente inteligente de geração, responsável pela recuperação semântica das informações e construção contextualizada dos rascunhos dos PEIs.

3.1. Interação com Professor

O profissional de Educação deve interagir com o iLuminIA através da Interface de Usuário (*User Interface*) (UI). Nesta fase, o usuário pode fornecer informações detalhadas sobre o perfil do aluno e orientações específicas sobre como o PEI deve ser estruturado. A interface da aplicação, em base dos dados dos aluno e da BNCC, efetua a solicitação para o agente de geração, que será detalhado na Subseção 3.3, que retorna um rascunho do plano, que a ser revisado pelo professor, editado se necessário e então exportado.

Materiais de apoio e documentos contextuais, como laudos médicos, relatórios escolares e diagnósticos em formato PDF, são em sua maioria fornecidos previamente pelos profissionais da saúde responsáveis pelo estudante para criar o contexto necessário para o processamento dos agentes. A Figura 1 apresenta o fluxo de interações entre o professor e o iLuminIA.

3.2. Detalhes da Arquitetura

A aplicação se divide em duas partes principais. O *front-end* foi desenvolvido usando a biblioteca `React`, amplamente utilizada em projetos *web* por permitir a construção de in-

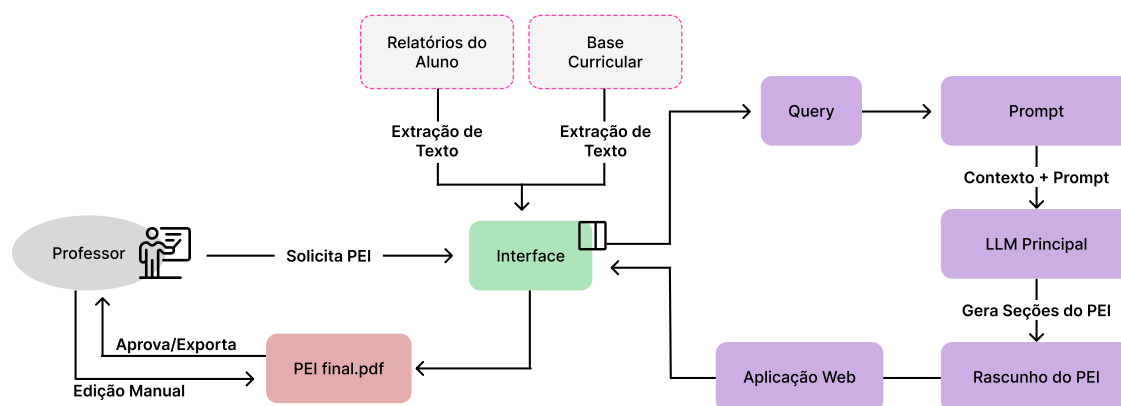


Figura 1. Fluxo de Interação entre o professor e o iLumila.

terfaces modernas, eficientes e interativas. Em conjunto com ela, foi utilizada a linguagem de programação TypeScript, visando maior segurança, uma vez que proporciona tipagem nativa. Para o empacotamento e o ambiente de desenvolvimento, adotou-se o Vite, que oferece um servidor de desenvolvimento rápido e um processo de *build* otimizado. Quanto à estilização das interfaces, foi utilizado o *framework* Tailwind CSS, que, por meio de suas classes de estilo, acelera esse processo e permite uma alta customização.

Para o *back-end*, utilizamos a linguagem Python juntamente com o FastAPI, um *framework* moderno para a criação de Interface de Programação de Aplicações (*Application Programming Interfaces*) (APIs). Optamos por utilizá-lo por sua maior escalabilidade e praticidade e por proporcionar a geração automática de documentação com o Swagger, facilitando os testes, o desenvolvimento e o próprio processo de documentação do projeto. Adicionalmente, o sistema conta com persistência de dados fornecida pelo PostgreSQL, que garante alta estabilidade e segurança, bem como o armazenamento de dados relacionais. Neste trabalho, o banco de dados foi utilizado para armazenar cadastros de usuários, instituições de ensino (escolas), dados relacionados aos papéis de usuários, entre outros, permitindo que esses dados sejam recuperados para consultas futuras. Ao longo de toda a codificação do projeto, utilizamos o padrão arquitetural *Feature Based*, amplamente adotado em projetos *web*, que proporciona uma organização que contribui para facilitar a escalabilidade do sistema.

3.3. Agente de Geração

A Figura 2 apresenta o fluxo geral de funcionamento do agente e a comunicação entre seus componentes.

O processo de geração do PEI é composto por quatro etapas principais:

1. **Ingestão e Indexação:** os relatórios enviados pelos usuários passam por procedimentos de anonimização e segmentação (*chunking*). Em seguida, os fragmentos são convertidos em *embeddings* utilizando o Google Generative AI e armazenados em uma base vetorial implementada com PostgreSQL e pgvector.
2. **Consolidação do Perfil:** um modelo Phi-3.5 executado via Ollama sintetiza as informações dos relatórios, produzindo um perfil estruturado do estudante contendo características, necessidades educacionais, habilidades e recomendações relevantes.

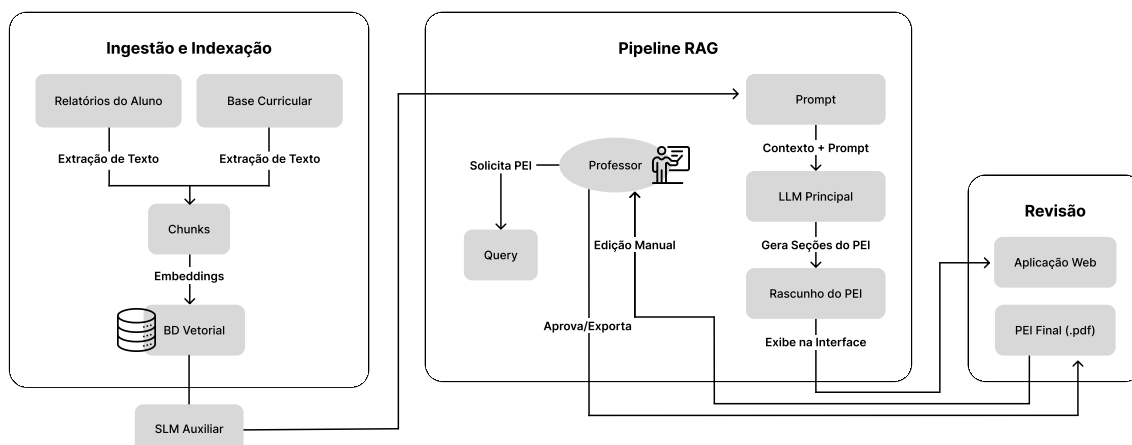


Figura 2. Arquitetura do agente dividida por módulos.

3. **Recuperação de Conhecimento:** utilizando a técnica de RAG, o agente consulta uma base de conhecimento composta por documentos pedagógicos, diretrizes curriculares e materiais relacionados à educação inclusiva, recuperando informações relevantes para o contexto do estudante.
4. **Geração do PEI:** o perfil consolidado e os documentos recuperados são utilizados como contexto para o Gemini 2.5 Pro, responsável pela geração do rascunho do PEI. A saída é produzida em formato *JSON* e validada por meio da biblioteca *jsonschema*, garantindo conformidade com a estrutura definida pelo sistema.

Dessa forma, o agente combina anonimização de dados, recuperação semântica de conhecimento e múltiplos LLMs, utilizando o Phi-3.5 para consolidação de contexto e o Gemini 2.5 Pro para geração textual, permitindo a produção de rascunhos de PEIs contextualizados às necessidades individuais dos estudantes e alinhados às recomendações pedagógicas disponíveis na base de conhecimento.

4. Avaliação Técnica e Pedagógica

O objetivo principal desta seção é apresentar o processo de investigação quanto à viabilidade técnica e quanto a qualidade pedagógica dos rascunhos gerados. Para isso, a validação do sistema será realizada sob duas perspectivas complementares:

1. Realização de **análise técnica** da engenharia de *software*, considerando testes funcionais relacionados ao fluxo de geração, persistência de dados, autenticação e exportação de arquivos, que será descrita na Subseção 4.1; e
2. Realização de **avaliação pedagógica** dos documentos produzidos, conduzida por professores por meio de um experimento cego que compara os planos gerados pelo iLuminIA com aqueles elaborados manualmente por humanos, descrita na Subseção 4.2.

4.1. Avaliação Técnica

A avaliação técnica foi realizada por meio de testes utilizando as ferramentas Pytest¹, empregado na execução dos testes funcionais e de integração do backend, e Selenium²,

¹<https://docs.pytest.org/en/stable/>

²<https://www.selenium.dev/documentation/>

utilizado na realização de testes automatizados da interface, simulando interações reais dos usuários com o sistema, com o objetivo de validar o funcionamento correto das funcionalidades implementadas e garantir a integração adequada entre os componentes do sistema.

4.2. Avaliação do Agente de Geração

Considerando que os PEIs constituem documentos pedagógicos de elevada relevância para o planejamento educacional e para a promoção da inclusão escolar, optou-se por uma estratégia de avaliação humana cega para analisar a qualidade dos rascunhos produzidos pelo agente de geração. O processo foi conduzido por meio de um formulário composto por 25 questões, disponibilizado juntamente com os demais artefatos do estudo.

A avaliação foi dividida em duas seções principais:

1. **Avaliação Individual** dos PEIs (Subseção 6.1) e
2. **Avaliação Comparativa** dos PEIs (Subseção 6.2).

Foram, então, disponibilizados quatro rascunhos de PEIs, identificados apenas como A, B, C e D, sendo dois documentos produzidos pelo iLuminIA e dois elaborados por profissionais da área educacional. Para reduzir possíveis vieses, todos os documentos foram previamente padronizados em um mesmo modelo de apresentação, preservando integralmente seus conteúdos originais.

A análise dos documentos foi realizada a partir de cinco critérios de avaliação adaptados de [Borges and Araujo 2025], os quais foram avaliados individualmente por meio de escalas do tipo *Likert* (fase 1) e posteriormente utilizados em uma etapa de comparação direta entre os documentos (fase 2). Os critérios considerados foram:

- **Clareza (CLA)**: avalia se o PEI apresenta informações objetivas, compreensíveis e bem organizadas, facilitando a interpretação por parte dos profissionais envolvidos;
- **Engajamento Pedagógico (ENG)**: verifica se as estratégias e objetivos propostos favorecem a participação ativa e o desenvolvimento do estudante no processo de aprendizagem;
- **Adaptação Inclusiva (ADP)**: analisa se o documento considera adequadamente as necessidades específicas do estudante, propondo adaptações curriculares, metodológicas ou sensoriais coerentes com o contexto inclusivo;
- **Coerência das Estratégias (COE)**: avalia se os recursos, metodologias e intervenções sugeridas apresentam consistência entre si e relação adequada com os objetivos definidos no PEI;
- **Viabilidade de Implementação (VIB)**: avalia se as estratégias, recursos e objetivos descritos no PEI podem ser aplicados de maneira realista no ambiente escolar.

5. Resultados Técnicos

Como parte da validação técnica do iLuminIA, foram executados 70 testes funcionais contemplando os principais fluxos da aplicação, incluindo cenários principais e alternativos. Os testes abrangeram funcionalidades como autenticação e autorização de usuários, gerenciamento de instituições, cadastro de estudantes, gerenciamento de turmas, solicitação

e aprovação de papéis, além de operações relacionadas aos documentos utilizados para a geração dos PEIs.

Os resultados evidenciaram o funcionamento adequado da maior parte dos fluxos implementados, sendo identificadas apenas algumas inconsistências relacionadas principalmente a funcionalidades ainda dependentes do backend, melhorias de usabilidade e ajustes de validação em formulários. Esses problemas foram registrados durante o processo de testes e incorporados ao planejamento de correções e evolução da abordagem.

Os documentos completos contendo os casos de teste, resultados obtidos e registros das inconsistências identificadas encontram-se disponibilizados no repositório de artefatos do projeto.

6. Resultados Pedagógicos

A avaliação pedagógica contou com a participação de 38 respondentes, dos quais a maioria possui formação em nível de especialização (26 participantes). As áreas de atuação mais representativas foram Educação, Cuidadoria e Psicopedagogia, evidenciando um público com experiência direta em contextos de educação inclusiva e acompanhamento de estudantes com necessidades educacionais específicas.

Em relação à experiência prévia com PEIs, 32 participantes afirmaram já ter atuado com esse tipo de documento, principalmente em atividades de leitura, escrita e participação em equipes multidisciplinares. Observou-se ainda que a maior parte dos respondentes possui entre um e quatro anos de experiência com PEIs. Esse perfil é reforçado pela autoavaliação de conhecimento sobre a temática, na qual 29 participantes atribuíram notas elevadas ao próprio nível de conhecimento, sendo 15 avaliações no nível 4 e 9 no nível 5 da escala adotada. Esses resultados indicam que a amostra analisada é composta predominantemente por profissionais com experiência prática e conhecimento consolidado sobre a elaboração e utilização de PEIs, conferindo maior confiabilidade às avaliações realizadas ao longo do estudo.

6.1. Fase 1: Avaliação Individual

Nessa etapa, os participantes analisaram separadamente cada um dos quatro rascunhos de PEIs, atribuindo notas em uma escala *Likert* de 1 a 5 para os cinco critérios definidos neste estudo. Assim, foi possível identificar como cada rascunho se comporta individualmente em relação aos aspectos considerados relevantes para a elaboração de PEIs, permitindo observar pontos fortes e limitações específicas de cada documento antes da realização das comparações diretas entre eles. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para cada PEI em cada critério avaliado.

Inicialmente, foi calculada a média das notas atribuídas pelos participantes para cada critério de avaliação, considerando individualmente cada um dos quatro rascunhos de PEIs. Os documentos identificados como PEI_A e PEI_C correspondem aos rascunhos gerados pelo iLuminIA, enquanto os documentos PEI_B e PEI_D foram elaborados manualmente por profissionais da área educacional.

Observa-se que o PEI_A apresentou o melhor desempenho em todos os critérios considerados, alcançando as maiores médias em todas os 5 critérios. Em seguida, destaca-se o PEI_C , que também obteve avaliações superiores aos documentos produzidos manualmente. Isso sugere que os rascunhos gerados foram percebidos pelos avaliadores

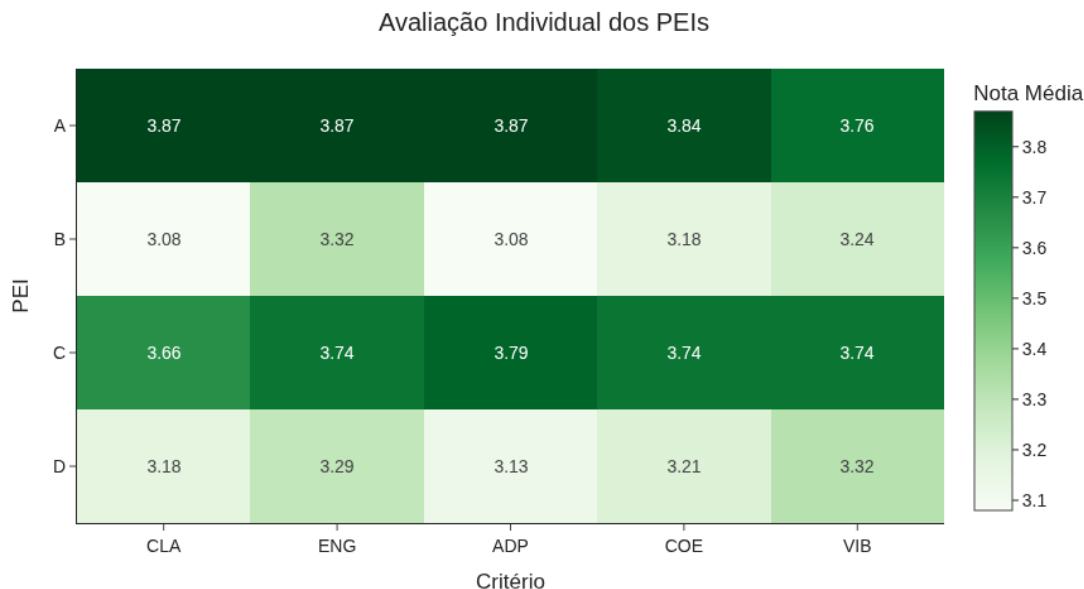


Figura 3. Mapa de calor das médias dos quatro rascunhos em cada critério.

como mais adequados aos critérios pedagógicos analisados do que os rascunhos desenvolvidos por humanos. O PEI_A se destacou principalmente nos critérios de Clareza das Informações, Engajamento Pedagógico e Adaptação Inclusiva (todos com média 3,87, a maior média destacada), embora também tenha obtido resultados positivos nos demais aspectos avaliados. O PEI_C apresentou desempenho próximo ao do PEI_A em diversos critérios, reforçando a consistência dos documentos gerados pelo iLuminIA.

A Tabela 2 complementa essa análise ao apresentar estatísticas descritivas das avaliações gerais. Observa-se que o PEI_C apresentou o menor desvio padrão ($DP = 1,13$), indicando maior consistência nas avaliações atribuídas pelos participantes, enquanto os demais documentos exibiram dispersões semelhantes ($DP \approx 1,17-1,18$).

Tabela 2. Estatísticas descritivas das avaliações gerais por PEI.

PEI	Média	DP	Med.	Q1	Q3	Min.	Máx.
PEI_A	3,84	1,18	4,0	3,0	5,0	1	5
PEI_B	3,18	1,18	3,0	2,0	4,0	1	5
PEI_C	3,73	1,13	4,0	3,0	5,0	1	5
PEI_D	3,23	1,17	3,0	2,0	4,0	1	5

Complementarmente, os rascunhos gerados pelo iLuminIA (PEI_A e PEI_C) apresentaram mediana igual a 4, superior à observada nos documentos elaborados por humanos (PEI_B e PEI_D), cuja mediana foi igual a 3. O mesmo comportamento é observado nos quartis, com $Q1 = 3$ e $Q3 = 5$ para os PEIs gerados, em comparação a $Q1 = 2$ e $Q3 = 4$ para os documentos humanos, indicando que a distribuição das avaliações dos PEIs gerados concentrou-se em notas mais elevadas.

O teste de Friedman indicou diferenças estatisticamente significativas entre os quatro PEIs em todos os critérios avaliados ($p < 0,05$). A análise pós-hoc

por meio do teste de Wilcoxon com correção de Bonferroni mostrou que essas diferenças concentraram-se principalmente nos critérios de Clareza, Adaptação Inclusiva e Coerência das Estratégias. Em especial, observou-se que os PEIs gerados pelo iLuminIA apresentaram desempenho significativamente superior aos documentos elaborados manualmente em diversas comparações, sem diferenças significativas entre os próprios documentos gerados.

Tabela 3. Resultados dos testes estatísticos por critério de avaliação.

Critério	<i>p</i> -valor	Comparações Significativas
Clareza	< 0,001	$A > B$, $A > D$
Engajamento	0,012	–
Adaptação Inclusiva	< 0,001	$A > B$, $A > D$, $C > B$, $C > D$
Coerência das Estratégias	< 0,001	$A > B$, $A > D$, $C > D$
Viabilidade de Implementação	0,021	–

6.2. Fase 2: Avaliação Comparativa

Já nessa etapa, os participantes foram convidados a comparar diretamente os quatro rascunhos de PEIs, selecionando apenas como aquele que melhor atendia a cada um dos critérios estabelecidos no estudo. A Figura 4 apresenta a distribuição das escolhas dos participantes para cada critério avaliado.

Os resultados exibidos na Figura 4a mostram que o PEI_A foi o documento mais selecionado em quatro dos cinco critérios analisados, destacando-se em Clareza, Adequação Pedagógica, Adaptação Inclusiva e Viabilidade de Implementação. O único critério em que o PEI_A não obteve o maior número de votos foi Coerência das Estratégias, no qual o PEI_C apresentou uma ligeira vantagem.

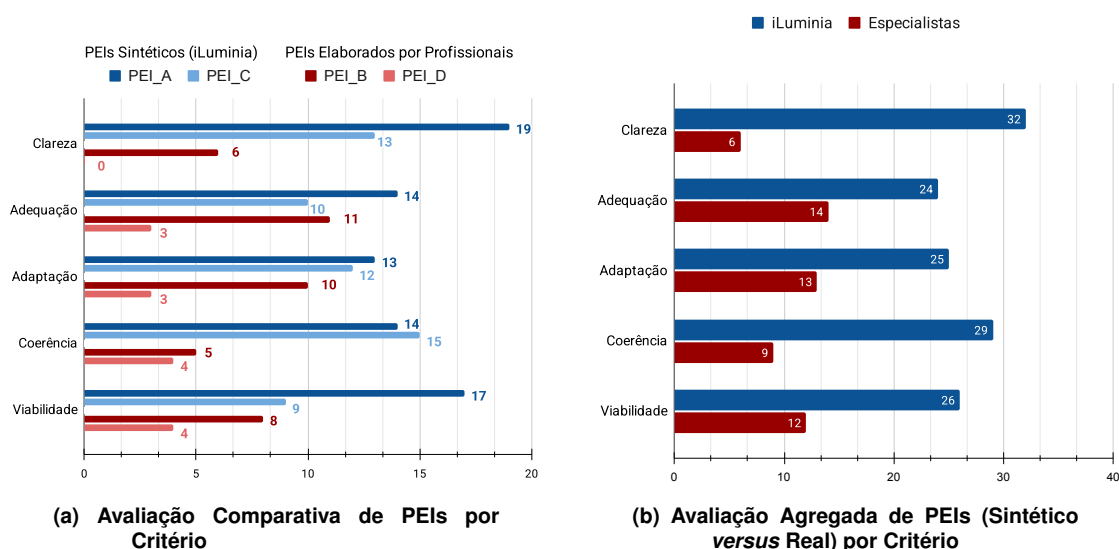


Figura 4. Percepção comparativa entre rascunhos de PEI sintéticos (iLuminIA) e PEIs gerados por profissionais especialistas.

A Figura 4b apresenta os resultados agregados das escolhas dos avaliadores, indicando maior preferência pelos PEIs A e C, gerados pelo iLuminIA, em todos os critérios

avaliados. Esse comportamento é particularmente evidente no critério de Clareza, em que os dois documentos somaram 32 das 38 preferências registradas. Tal resultado demonstra que os rascunhos produzidos apresentam elevada objetividade e organização textual, características importantes para facilitar a interpretação e utilização dos documentos pelos profissionais envolvidos no planejamento educacional.

6.3. Discussões Gerais sobre os Resultados Pedagógicos

Os resultados da avaliação individual e comparativa indicam que os rascunhos produzidos pelo iLuminIA atenderam aos critérios pedagógicos considerados neste estudo, obtendo desempenho superior aos documentos elaborados manualmente em diferentes aspectos. Em complemento às escalas de avaliação, os participantes puderam registrar comentários qualitativos ao final do formulário. De modo geral, os avaliadores destacaram que os PEIs gerados apresentaram estrutura adequada, objetivos alinhados às necessidades dos estudantes e organização compatível com a prática educacional, embora tenham sugerido o aprimoramento de aspectos como definição de metas mais específicas, critérios de acompanhamento mais detalhados e maior clareza em alguns trechos.

Os comentários também ajudam a explicar os resultados quantitativos observados. Segundo os especialistas, os documentos identificados como PEI_A e PEI_C destacaram-se principalmente pelo maior grau de individualização, pela coerência entre o perfil do estudante, os objetivos propostos e as estratégias pedagógicas recomendadas. Esses aspectos estão diretamente relacionados ao emprego da arquitetura baseada em RAG, que permite complementar o contexto do estudante com informações provenientes dos relatórios e de documentos pedagógicos, produzindo rascunhos mais contextualizados do que aqueles elaborados apenas a partir de modelos generativos convencionais.

Apesar dos resultados obtidos, a abordagem proposta apresenta limitações inerentes à disponibilidade e à qualidade das informações utilizadas durante a geração. Como o modelo não acompanha diretamente o estudante em seu contexto escolar, a qualidade do PEI depende da existência de documentos suficientemente completos, atualizados e representativos. Dessa forma, informações incompletas, desatualizadas ou pouco descritivas podem limitar sua capacidade de produzir recomendações adequadamente personalizadas, algo já evidenciado pela literatura [Fan et al. 2024].

Além dessa dependência, o uso de LLMs também envolve riscos inerentes, como a geração de informações incorretas ou não fundamentadas (*alucinações*), a reprodução de vieses presentes nos dados de treinamento e possíveis impactos relacionados à privacidade de informações sensíveis [AI 2024]. Nesse contexto, os rascunhos produzidos pelo iLuminIA devem ser compreendidos como instrumentos de apoio ao processo de elaboração dos PEIs, e não como documentos finais. Assim, recomenda-se que todas as saídas sejam revisadas e validadas por profissionais da educação, cuja participação permanece indispensável para assegurar a adequação pedagógica e contextual das recomendações geradas [Matos et al. 2026].

6.4. Ameaças à Validade

Os resultados apresentados devem ser interpretados considerando algumas limitações do estudo. Em primeiro lugar, a avaliação foi conduzida utilizando apenas quatro rascunhos de PEIs, o que restringe a diversidade de cenários analisados e pode limitar a

generalização dos resultados. Ademais, a seleção dos participantes ocorreu por conveniência, envolvendo profissionais com diferentes níveis de experiência na elaboração de PEIs.

Por fim, o período disponível para a condução da avaliação foi reduzido, limitando a quantidade de documentos analisados e o número de participantes envolvidos. Estudos futuros poderão ampliar essa investigação por meio da avaliação de um conjunto maior de PEIs, contemplando diferentes perfis de estudantes e contextos educacionais, permitindo analisar de forma mais abrangente os pontos fortes, limitações e cenários de aplicação da abordagem proposta.

7. Conclusão e Direções Futuras

Tanto a avaliação técnica quanto a avaliação pedagógica apresentaram evidências positivas em relação à iLuminIA, destacando a capacidade dos modelos de linguagem apoiados por RAG de produzir rascunhos claros, coerentes e adequados às necessidades dos estudantes. Como principal contribuição, a solução demonstra o potencial da integração entre LLMs e recuperação de informações contextualizadas para apoiar a elaboração de PEIs, auxiliando na produção de rascunhos que possam subsidiar o planejamento de estratégias educacionais individualizadas. Apesar dos resultados promissores, este estudo apresenta limitações relacionadas ao escopo da avaliação, generalização dos resultados para diferentes realidades escolares e perfis de estudantes. Tais limitações reforçam a necessidade de estudos longitudinais.

Como trabalhos futuros, pretende-se investigar o uso de outros LLMs e estratégias de Engenharia de Prompt, buscando aprimorar a qualidade, consistência e personalização dos rascunhos gerados. Também estão previstas expansões para contemplar novas funcionalidades e validação da solução em cenários reais de uso, por meio de sua implantação gradual em escolas públicas, permitindo avaliar seu impacto prático no apoio à elaboração de PEIs e no fortalecimento de iniciativas voltadas à educação inclusiva.

8. Artefatos

Os principais artefatos produzidos neste trabalho foram disponibilizados em um repositório público³. O repositório contém os quatro rascunhos de PEIs analisados pelos avaliadores, o formulário de avaliação aplicado, os dados anonimizados obtidos a partir das respostas dos avaliadores, os testes técnicos e os gráficos e tabelas utilizados na apresentação dos resultados.

9. Declaração de Uso de IA Generativa

Ferramentas de Inteligência Artificial Generativa foram utilizadas como apoio durante a elaboração deste manuscrito, auxiliando principalmente na revisão da escrita para adequação ao estilo acadêmico, refinamento textual e organização das ideias apresentadas nas diferentes seções do artigo. Os autores permaneceram responsáveis pela concepção do trabalho, análise dos resultados, validação do conteúdo produzido e revisão final do manuscrito, assumindo integralmente a responsabilidade pelas informações apresentadas.

³<https://github.com/gabrielrudan/iLuminIA---Artefatos-da-Pesquisa.git>

Referências

- AI, N. (2024). Artificial intelligence risk management framework: Generative artificial intelligence profile. *NIST Trustworthy and Responsible AI Gaithersburg, MD, USA*.
- Akçin, F. N. (2022). Identification of the processes of preparing individualized education programs (IEP) by special education teachers, and of problems encountered therein. *Educational Research and Reviews*, 17(1):31–45.
- Borges, A. S. R. and Araujo, F. P. O. (2025). Do algoritmo à inclusão: O uso da IA na criação de planos de aula para robótica educacional. In *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*, pages 276–289. SBC.
- Chu, Z., Wang, S., Xie, J., Zhu, T., Yan, Y., Ye, J., Zhong, A., Hu, X., Liang, J., Yu, P. S., et al. (2025). Llm agents for education: Advances and applications. *arXiv preprint arXiv:2503.11733*, 2.
- da Silva, G. L. and Camargo, S. P. H. (2021). Revisão integrativa da produção científica nacional sobre o plano educacional individualizado. *Revista Educação Especial*, 34:1–23.
- da Silva, G. L., Camargo, S. P. H., Mello, M. P., and da Silva Costa, D. (2022). Contexto histórico e político para uma ação propositiva de organização e operacionalidade do plano educacional individualizado de estudantes com deficiências. *Education Policy Analysis Archives*, 30:85–85.
- dos Santos, M. S., de Araújo Silva, É. T., and Lippe, E. M. O. (2025). Reflexões sobre o plano educacional individualizado (pei) na educação inclusiva de alunos com deficiência. *REIN-Revista Educação Inclusiva*, 10(1):2–13.
- Fan, W., Ding, Y., Ning, L., Wang, S., Li, H., Yin, D., Chua, T.-S., and Li, Q. (2024). A survey on rag meeting llms: Towards retrieval-augmented large language models. In *Proceedings of the 30th ACM SIGKDD conference on knowledge discovery and data mining*, pages 6491–6501.
- Kupper, L. (2000). A guide to the individualized education program. Technical report, Office of Special Education and Rehabilitative Services, Washington, DC.
- Li, Z., Wang, Z., Wang, W., Hung, K., Xie, H., and Wang, F. L. (2025). Retrieval-augmented generation for educational application: A systematic survey. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8:100417.
- Lu, J. and Li, J. (2025). A novel framework for educational Q&A: Leveraging RAG and code interpreters for knowledge retrieval and logical computation. *PloS one*, 20(12):e0337361.
- Mascaro, C. A. A. d. C. (2018). O plano educacional individualizado e o estudante com deficiência intelectual: estratégia para inclusão. *Revista Espaço Acadêmico*, 18(205):12–22.
- Matos, G., da Silva, J. F., Venceslau, A., and de Macedo, J. F. (2026). A short survey on hybrid and traditional evaluation methods for llm outputs. In *Proceedings of the 28th International Conference on Enterprise Information Systems - Volume 2: ICEIS*, pages 1061–1068. INSTICC, SciTePress.

- Sowbhagya, M. P., Vikas, K. B., Joshi, S., and Illuri, S. (2026). Samarth: An AI-powered multi-agent system for automated and compliant individualized education program generation. *International Scientific Journal of Engineering and Management (ISJEM)*, 5(5):1–4.
- Tannús-Valadão, G. and Mendes, E. G. (2018). Inclusão escolar eo planejamento educacional individualizado: estudo comparativo sobre práticas de planejamento em diferentes países. *Revista Brasileira de Educação*, 23:e230076.
- Zhang, L., Jackson, H., Yang, S., Qian, X., Carter, R., Diliberto, J., and Zhang, J. (2024). Prototyping a multi-agent system to enhance AI-human collaboration in individualized education program development. Online (Preprint).