

# Uma Abordagem Baseada em Percepção Visual para Apoiar à Aprendizagem de Citologia Cervical

Breno N. S. Keller<sup>1</sup>, Mariana T. Rezende<sup>2</sup>, Renata R. e R. Oliveira<sup>2</sup>,  
Cristina R. P. Costa<sup>2</sup>, Claudia M. Carneiro<sup>2</sup>, Andrea G. Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Computação – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Ouro Preto – MG – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Análises Clínicas – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)  
Ouro Preto – MG – Brasil

kellerbrenons@gmail.com

**Abstract.** *The emergence of new hardware and software has allowed the improvement of activities in different contexts by including technological resources to support the execution of these activities. One context that benefits from this improvement is education since these resources allow exploring various strategies to enhance the teaching-learning process. This incorporation of technology into regular activities also aligns with the expectations of users, who expects technological resources to be integrated into their daily lives. This work presents a computational approach to support the teaching-learning process of content based on visual perception in cytology. To achieve this goal, we designed a framework. We implemented a proof of concept to help evaluate the model and build the database necessary for activities in the context of cytology. Users with knowledge of the area evaluated the framework. The results demonstrate that the interaction model developed could represent real-world activity and expose students to specific unusual situations. The evaluation collected information and indications on how the tool can improve the teaching-learning process.*

**Resumo.** *O surgimento de novos hardwares e softwares permitiu o aprimoramento de atividades em diferentes contextos por meio da inclusão de recursos tecnológicos para apoiar à execução dessas atividades. Um contexto que se beneficia dessa melhoria é a educação, pois o uso desses recursos permite explorar diferentes estratégias para potencializar o processo de ensino-aprendizagem. Essa incorporação de tecnologia em atividades regulares também se alinha a expectativa dos usuários, os quais esperam que os recursos tecnológicos sejam integrados ao seu cotidiano. Este trabalho apresenta uma abordagem computacional para apoiar o processo de ensino-aprendizagem de conteúdo baseado na percepção visual em citologia. Para atingir esse objetivo, projetamos um framework e implementamos uma prova de conceito para avaliar e construir o banco de dados necessário para atividades no contexto da citologia. Foi realizada uma análise do sistema com usuários especialistas na área. Os resultados coletados demonstram que o modelo de interação desenvolvido foi capaz de representar o ambiente real de uso e expor os alunos a situações rotineiras e incomuns. A avaliação realizada coletou informações e indicações de como a ferramenta pode aprimorar o processo de ensino-aprendizagem.*

## 1. Introdução

A utilização de ferramentas computacionais em processos de ensino-aprendizagem permite que diferentes modelos de interação sejam implementados, dada a significativa variabilidade e potencial de adaptação que essas ferramentas apresentam [Guze 2015]. Além disso, as características dessas ferramentas permitem que o processo de aprendizagem seja adaptado aos usuários [Guze 2015, Dankbaar and de Jong 2014]. Sendo assim, é possível construir um processo de aprendizagem alinhado ao conceito de Educação 4.0, onde a inclusão de ferramentas computacionais (como o aprendizado de máquina) pode potencializar e melhorar o processo de aprendizado [Hussin 2018]. Também, o uso de ferramentas de aprendizado de máquina oferece como vantagens: a disponibilidade e a flexibilidade de uso em relação ao aluno, pois o algoritmo adapta o processo às habilidades e limitações do usuário, permitindo assim que esses usuários atinjam seus objetivos de forma mais eficiente [Dargham et al. 2012, Thakkar and Joshi 2015].

No ensino de patologia e citopatologia, a inclusão de recursos tecnológicos em seus processos ocorre por meio de diferentes abordagens e em diferentes níveis de formação [Maley et al. 2008, Wiecha et al. 2010, Bahia et al. 2019, Guiter et al. 2021]. Em geral, essas inclusões são baseadas nas tecnologias de captura digital de lâminas combinadas com microscópios ópticos capazes de gerar imagens de lâminas inteiras (WSI - *whole slide image*), as quais podem ser manipuladas pelo operador e combinadas a algoritmos para serem utilizadas em diferentes contextos de aprendizagem [Guiter et al. 2021, Hanna et al. 2020]. Outro benefício desse processo de digitalização é que a WSI permite que profissionais e amostras estejam em locais geograficamente diferentes. No entanto, tal abordagem requer equipamentos de alto custo capazes de gerar essas imagens, bem como ter acesso à internet e interfaces de alta qualidade para que o usuário tenha uma boa experiência de uso.

É importante ressaltar que esses recursos digitais podem ser utilizadas como ferramentas de suporte para a realização de análises citológicas ou a construção do conhecimento necessário. Nestes processos, os especialistas avaliam visualmente o material citológico, o qual apresenta grande variabilidade morfológica, e devem ser capazes de identificar diferentes elementos dentro do esfregaço [de Melo and de Sousa 2021]. A variabilidade do material citológico e a experiência necessária para realizar essas avaliações tornam esse processo uma tarefa complexa. Portanto, integrar ferramentas de suporte permite uma melhora no processo de formação e a aquisição de experiência pelo profissional, pois a experiência adquirida pelo uso dessas ferramentas é utilizada para realizar a atividade real.

Assim sendo, este trabalho propõe e avalia um *framework* que apoia o ensino e a aprendizagem de conteúdos de citologia cervical baseados em percepção visual. O modelo proposto se concentra em desenvolver e aprimorar a percepção visual (capacidade de discriminação de padrões por meio da visão) do usuário e no aprimoramento de suas habilidades por meio da apresentação de casos.

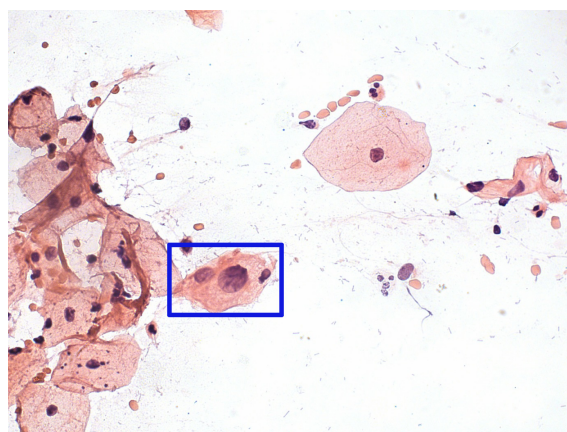
## 2. Contextualização

### 2.1. Caso de Estudo: Ensino de Citologia Cervical

A área da citologia cervical foca em investigar o material coletado da região do colo do útero. O processo de análise mais recorrente dentro da área é o exame de Papanicolaou,

exame o qual foca em detectar lesões pré-neoplásicas em células epiteliais descamadas, uma vez que lesões em estágio inicial podem ser curadas e podem ser detectadas em uma população aparentemente saudável e assintomática. O conhecimento necessário para a realização do exame de Papanicolau e sua análise é adquirido por meio de disciplinas especializadas, que, em geral, introduzem os estudantes às dimensões do câncer cervical e como o rastreamento dessa neoplasia é essencial para garantir a saúde da mulher. Portanto, a disciplina de citologia cervical visa desenvolver nos estudantes o raciocínio lógico, crítico e analítico para conduzir corretamente a análise visual. Sendo assim, todas as etapas do exame são caracterizadas, desde a coleta do material até a liberação do laudo diagnóstico, incluindo técnicas de coloração, montagem da lâmina, leitura do esfregaço citológico, interpretação, monitoramento da qualidade e laudo.

Usualmente, a disciplina é dividida entre aulas teóricas e práticas. Nas aulas teóricas, o professor explica a estrutura dos tecidos, sua formação e maturação, e os processos patológicos que podem ocorrer. O aprendizado nessa etapa é realizado por meio de diversas imagens ilustrando os diferentes elementos presentes no esfregaço cérvico-vaginal, como células (benignas, malignas ou atípicas), agentes infecciosos, microbiota, processos inflamatórios, alterações citológicas e outras estruturas biológicas. Nas aulas práticas, os alunos utilizam microscópios ópticos para visualizar lâminas com diferentes esfregaços, fortalecendo seu aprendizado por meio da experiência prática e permitindo que apliquem seus conhecimentos teóricos quando expostos a diferentes casos e situações. A combinação de teoria e prática visa proporcionar um aprendizado mais aprofundado sobre o tema, morfologias celulares e possíveis alterações, além de permitir o desenvolvimento de habilidades e técnicas para o estudante utilizar em situações profissionais no mundo real. A Figura 1 apresenta um exemplo do material visualizado e da região de interesse em uma análise de esfregaço citológico.



**Figura 1. Visão do exame de Papanicolau no microscópio óptico e região de interesse destacada.**

No entanto, o aprendizado da citologia não se limita somente ao nível de graduação. A formação para atuar na área requer uma especialização em citologia clínica. O conhecimento necessário para essa formação é construído desde a graduação até suas atividades profissionais. Além disso, os citologistas precisam se manter atualizados com os conhecimentos necessários para realizar suas análises, seja fazendo cursos de revisão e atualização ou participando de eventos da área. Essas características fazem do aprendi-

zado da citologia uma atividade constante em busca de garantir a qualidade das análises.

Porém, a operação de um laboratório para aulas práticas apresenta limitações, como a necessidade de profissionais com treinamento técnico para operar e manter os equipamentos (microscópios ópticos) e a disponibilidade do espaço, uma vez que o mesmo laboratório pode ser compartilhado por diferentes disciplinas e turmas no mesmo curso [Chen et al. 2015]. Além das limitações estruturais, o alto custo para aquisição e manutenção dos equipamentos necessários e do pessoal especializado também fortalecem essas limitações. Uma alternativa para mitigar esses custos é simular as interações do laboratório usando recursos computacionais e fornecer aos alunos acesso a essas ferramentas além do ambiente do laboratório para que eles possam treinar suas habilidades. Além disso, o acesso ao laboratório pode ser restrito a horários e dias específicos; enquanto a simulação, pode ser acessada a qualquer momento. Ainda, o modelo remoto oferece aos alunos uma alternativa para desenvolver suas habilidades de inspeção visual em cenários onde o laboratório não está disponível, como as restrições relacionadas a pandemia da COVID-19 [Manou et al. 2022].

## **2.2. Aprendizado de Percepção Visual**

Processos baseados em análise visual dependem da capacidade interpretativa daqueles que realizam a análise. Embora procedimentos e métodos bem estabelecidos possam atenuar isso, o conhecimento e a experiência dos indivíduos impactam significativamente nos resultados. Dessa forma, o conhecimento necessário para realizar essas atividades é construído por meio da percepção visual do indivíduo, essa a qual pode ser definida como a capacidade de interpretar as informações por meio dos estímulos visuais. Essa capacidade é baseada no discernimento e memória visual, isso é, a aptidão de perceber variações em elementos visuais como tamanho, cor e forma e de lembrar e comparar esses estímulos visuais. Sendo assim, a capacidade de cada profissional está vinculada à sua experiência e conhecimento prévio, tal forma que treinamentos pode aprimorar seu desempenho.

Na citologia cervical, aprimorar a qualidade da análise realizada por um profissional envolve desenvolver suas habilidades em analisar e identificar padrões no esfregaço cervical. Além do conhecimento teórico, os profissionais também devem desenvolver e aprimorar suas habilidades de interpretação. A repetição dessas tarefas é capaz de aprimorar o desempenho do profissional ao longo do tempo. Sendo essa melhora o resultado da combinação do acúmulo de experiência na execução da tarefa com a criação de estratégias mais eficientes para a sua execução [Sasaki et al. 2010, Kellman and Krasne 2018].

Esse processo é conhecido como Aprendizagem de Percepção Visual (VPL), que descreve a melhora das habilidades e capacidades de uma pessoa na execução de uma tarefa por meio do acúmulo de experiência na execução de uma atividade visual [Sasaki et al. 2010]. No entanto, é essencial ressaltar que a VPL não é um processo exclusivo de áreas como a citologia ou somente em áreas de atuação profissional, visto que esse processo compõe o processo de aprendizagem de uma pessoa em diferentes estágios da vida incluso desde a infância [Ayhan et al. 2015, Marris et al. 2021].

## **3. Framework**

Este trabalho propõem um *framework* cujo objetivo é apoiar o ensino e aprendizagem de conteúdos de citologia. Onde esses conteúdos requerem que os estudantes utilizem

habilidades de reconhecer e analisar padrões por meio da visão. Além disso, a proposta busca oferecer um modelo de interação com o usuário que não interfira no processo de aprendizagem.

Dessa forma, o *framework* proposto consiste em três módulos: (i) o **módulo de criação de conteúdo**, responsável por oferecer recursos e ferramentas para que profissionais treinados possam produzir o conteúdo necessário para a plataforma; (ii) o **módulo de interação com o usuário**, responsável por exibir ao usuário o conteúdo capaz de apoiar o processo de aprendizado e coletar a interação desse usuário com o conteúdo; e (iii) o **módulo de recomendação**, responsável por definir qual o próximo conteúdo que será apresentado ao usuário.

No **módulo de criação de conteúdo**, os profissionais criam o conteúdo que será utilizado pela plataforma com base em seus conhecimentos técnicos. Esses conteúdos podem ser modelados de diferentes formatos como um resumo, uma imagem, uma apresentação de slides ou uma atividade. No entanto, essa modelagem se restringe às limitações da plataforma e os modelos de interação disponíveis entre a plataforma e o usuário. Portanto, o sistema pode apresentar interações que são virtualizações/simulações de atividades equivalentes do mundo real. Por exemplo, o conteúdo pode ser modelado para simular como os usuários executariam tarefas na vida real; no caso da citologia cervical, ele pode simular a visualização que os usuários teriam através de um microscópio óptico. Além disso, como esse conteúdo é criado digitalmente, ele pode utilizar materiais e fontes além do disponível fisicamente, de forma a apresentar aos alunos uma maior variabilidade de cenários.

A função principal do **módulo de interação com o usuário** é fornecer o conteúdo aos alunos e gerenciar a interação deles com esse material por meio do sistema. Esse processo permite que o usuário interaja com o conteúdo apresentado, resultando em registros dessa interação, como por exemplo as respostas em uma atividade. Esses dados são armazenados e usados para definir o conteúdo recomendado ao usuário. Portanto, apresentar o conteúdo de forma interessante e não exaustiva é crucial, pois o objetivo principal do *framework* é dar suporte ao aprendizado. Dessa forma, quaisquer dificuldades decorrentes da interação ou do formato de exibição do conteúdo podem impactar o sucesso do usuário com a tarefa e, a longo prazo, seu engajamento com o processo. Este módulo abrange todas as interações do usuário (independentemente de sua função) com o sistema. O *framework* reconhece dois principais papéis de usuário: (i) aluno e (ii) professor. Embora essas funções sejam centrais para a sua operação, as implementações podem incluir papéis adicionais para lidar com interações além do fluxo principal da estrutura.

O **módulo de recomendação** tem como objetivo definir qual conteúdo deve ser apresentado a um usuário. Portanto, este módulo orienta a interação do usuário com o conteúdo disponível no sistema. Esta personalização envolve adaptar o processo de apresentação do conteúdo às características do usuário e recomendar conteúdo adaptado às suas necessidades e conhecimentos em vez de um modelo generalizado. Este processo de personalização depende dos padrões de uso do usuário e de outros usuários com perfis semelhantes dentro do sistema. Ele também considera o desempenho do usuário com o conteúdo, como seu nível de conhecimento ou áreas de dificuldade. Consequentemente, o módulo direciona recomendações ao usuário para atender às suas necessidades de aprendizagem, sejam elas envolvendo aquisição de novos conteúdos, reforço de conhecimentos

existentes ou consolidação de entendimento.

A Figura 2 demonstra a comunicação entre os módulos do *framework* e os usuários em diferentes papéis. O fluxo de interação principal pode ser dividido em dois ciclos. Um ciclo começa com o professor criando um novo conteúdo que estará disponível no sistema (T1). Depois disso, esse novo conteúdo é indexado e considerado para ser mostrado a um aluno (T2). O outro ciclo começa com o sistema sugerindo conteúdo ao aluno (S1). O conteúdo é apresentado ao aluno e sua interação é coletada (S2 e S3). Os dados coletados são passados para o módulo de recomendação para determinar o material seguinte (S4).

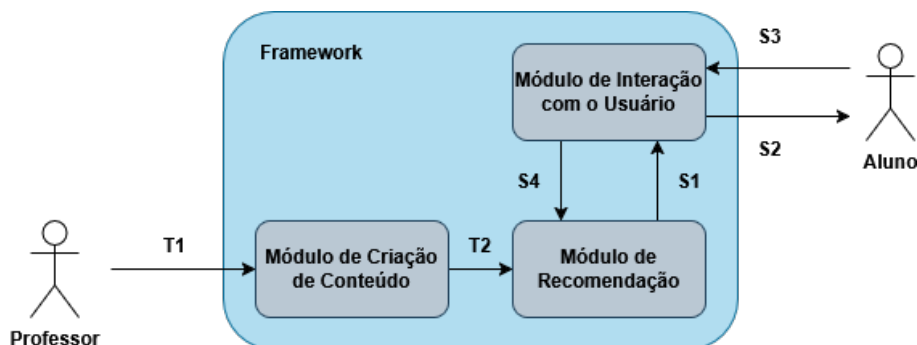


Figura 2. Fluxo geral da estrutura proposta.

#### 4. Prova de Conceito: CRIC Educação

Esta seção descreve o sistema implementado como prova de conceito do *framework* proposto. O sistema desenvolvido foi nomeado CRIC Educação. Vale ressaltar que essa prova de conceito é simplificada na variedade de formatos para apresentar o conteúdo, tendo disponível somente atividades e acesso a slides sobre os tópicos do assunto. Além disso, o módulo de recomendação é simplificado para sugerir as atividades na mesma ordem para todos os usuários.

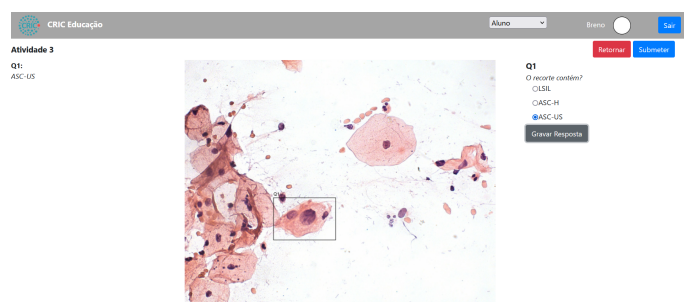
O fluxo principal do **módulo de criação de conteúdo** foi projetado com base em um modelo CRUD para as atividades. Este modelo de conteúdo é composto por uma imagem e um conjunto de marcações associadas (resultando na interface mostrada na Figura 4). Cada marcação representa uma questão na atividade e contém três elementos: as coordenadas necessárias para desenhar a região, o conjunto de alternativas e a alternativa correta. Essas atividades podem ser organizadas em diferentes grupos para fins temáticos. Este formato de material atua como uma atividade de revisão, permitindo que os usuários avaliem seus conhecimentos. A Figura 3 mostra a interface de edição de atividade, todas as imagens citológicas utilizadas pelo sistema estão disponíveis no CRIC Database [Rezende et al. 2021].

O **módulo de interação com o usuário** foi implementado usando Angular e projetado para navegadores web. A implementação do *frontend* priorizou interfaces simples para reduzir qualquer impacto que uma interface mais complexa poderia ter no processo de interação. A Figura 4 mostra a interface para responder atividades. No entanto, este módulo não se limita apenas à função de aluno; ele também inclui as interfaces necessárias para que ambas as funções executem suas ações.

O *backend* implementado para o CRIC Educação foi projetado para ser responsável pelo armazenamento e processamento de dados. Na implementação discutida



**Figura 3. Interface de Edição de Atividade.**



**Figura 4. Interface de Resposta de Atividade.**

neste trabalho, o *backend* foi implementado usando Node.js e uma arquitetura REST, enquanto os dados foram armazenados usando MySQL.

## 5. Avaliação e Resultados

Para avaliar tanto o *framework* proposto como a prova de conceito implementada foi realizada uma avaliação utilizando o CRIC Educação com quatro autores do projeto que possuem conhecimento técnico em citologia.

Durante essa avaliação, cada usuário interagiu com o sistema por meio de diferentes funcionalidades envolvendo os diferentes papéis de usuário. Essa diversidade de papéis é significativa, pois permite uma avaliação abrangente, visto que cada papel tem acesso a diferentes funcionalidades do sistema. Além do conhecimento técnico de citologia e das diferentes visões sobre o sistema, os usuários participantes também apresentam diferentes níveis de familiaridade com o sistema usado no teste.

O cenário de teste foi dividido em duas etapas. A primeira etapa correspondeu ao usuário realizar diferentes tarefas dentro do sistema, simulando diferentes casos de uso dos diferentes papéis de usuário, como por exemplo responder a atividades como aluno e criar e organizar aulas como professor. A segunda etapa envolveu a realização de entrevistas abertas com os usuários para coletar e entender sua percepção do sistema e suas experiências usando-o em diferentes papéis.

### 5.1. Discussão

Em média, os usuários gastaram aproximadamente 25 minutos para completar o conjunto de 20 tarefas, onde 12 dessas tarefas era responder diferentes atividades no sistema (como

a Figura 4). O usuário com mais conhecimento sobre o sistema completou o conjunto de tarefas mais rapidamente durante o teste. Além disso, em média, mais da metade do tempo total foi gasto em tarefas administrativas dentro do sistema, como edição de atividades e organização de aulas.

A percepção dos usuários sobre o sistema foi positiva, com eles relatando uma boa experiência ao utilizá-lo. Ao avaliar o sistema considerando o papel de usuário, a percepção para o papel de aluno foi muito positiva e, para o papel de professor, foi positiva mas com ressalvas. Essas limitações podem ser atribuídas à curva de aprendizado do sistema, ou seja, compreender a terminologia utilizada pelo sistema e localizar onde e como realizar as diferentes tarefas na função de professor. A percepção positiva dos alunos indica que o objetivo de entregar um modelo de interação simples e reduzir o impacto dessa interação com a tarefa de aprendizagem foi alcançado. Mesmo usuários sem conhecimento prévio do sistema conseguiram executar tarefas sem problemas.

Em geral, os usuários concordam que o sistema cumpre seu objetivo de ser uma ferramenta para auxiliar no processo de aprendizagem. Esse consenso é derivado principalmente do modelo de interação do sistema, que apresenta atividades simulando a visão de um microscópio óptico com áreas destacadas. Os usuários avaliam esse formato de interação como uma excelente maneira de exemplificar o conhecimento teórico em aulas e expor os alunos a situações específicas e raras. Eles apreciam que essa interação pode ser acessada via desktop e pela Internet e não se limita a um laboratório com equipamentos específicos.

Quando questionados sobre recursos que gostariam de ver incluídos no sistema no futuro, os usuários comumente desejam uma alternativa para discutir e compartilhar dúvidas. Dado que a tarefa de análise citológica não é uma ciência exata, então diferentes interpretações podem acontecer e devem ser esclarecidas. Contudo, essa demanda pode ser dividida em dois tipos de interação: (i) esclarecimento da resposta, ou seja, por que uma região específica é identificada como A em vez de B, e (ii) ajuda em análises complexas, com foco em ajudar os usuários a resolver uma dúvida que eles tiveram em suas atividades. Esta segunda visão se alinha mais de perto com a discussão feita por [Keller et al. 2021] como um sistema de colaboração separado dentro da análise de ambiente especializado. No entanto, a percepção da necessidade de um ambiente de discussão pode ter sido potencializada pelos usuários terem respondido errado a algumas perguntas na parte de atividades do teste.

Além da terminologia usada no sistema, os usuários não destacaram nenhum problema ou dificuldade com a usabilidade. No entanto, esse desafio com a terminologia do sistema também está associado à curva de aprendizado inicial necessária para utilizá-lo e a própria ambiguidade que alguns termos da língua portuguesa apresentam naturalmente.

Finalmente, os usuários avaliam a inclusão do sistema em sua rotina como uma vantagem. No entanto, é necessário avaliar se essa recepção positiva é mantida com o uso contínuo, o que requer uma avaliação de maior duração com ampla participação.

## 6. Conclusão

Neste trabalho, propomos um *framework* para apoiar o processo de ensino-aprendizagem do conhecimento necessário para se realizar inspeções visuais em citologia diagnóstica.



Além disso, implementados uma prova de conceito do sistema contendo seus módulos de conteúdo, interação com o usuário e recomendação. Após a implementação, citologistas profissionais avaliaram a ferramenta e indicaram que o *framework* e a prova de conceito desenvolvida podem efetivamente dar suporte ao processo de aprendizagem de citologia. Além disso, as informações coletadas pela avaliação sugerem que, embora o modelo de interação do sistema esteja alinhado às expectativas do usuário, melhorias podem ser feitas pela incorporação de recursos de discussão.

Ainda, as entrevistas destacaram caminhos potenciais para aprimoramento e outras alternativas de interação a serem exploradas no futuro. Além disso, a implementação atual pode ser usada como uma ferramenta secundária ao longo de um curso de citologia, permitindo realizar uma avaliação mais robusta do *framework* proposto. Considerando a limitação de dados a serem usados neste trabalho, os dados coletados neste cenário de avaliação também podem ser usados para construir um conjunto de dados capaz de direcionar a implementação do módulo de recomendação. Finalmente, a proposta também é capaz de apoiar outros processos de aprendizagem caso sua principal ação envolva percepção visual.

## Referências

- Ayhan, A. B., Mutlu, B., Aki, E., and Aral, N. (2015). A study of conceptual development and visual perception in six-year-old children. *Perceptual and motor skills*, 121(3):832–839.
- Bahia, N. S., da Silva, W. R., Vianna, J. B., Rodrigues, H. G., Silva, M. T. B., and Bacchi, R. R. (2019). O uso das tdc's como estratégia para aprendizagem em morfologia microscópica. *Informática na Educação: teoria & prática*, 22(2).
- Chen, L.-S., Lay, Y.-J., Yang, C.-C., and Chang, S.-H. (2015). A virtual microscope system for histology learning in education. In *2015 8th International Conference on Ubi-Media Computing (UMEDIA)*, pages 355–359. IEEE.
- Dankbaar, M. E. and de Jong, P. G. (2014). Technology for learning: how it has changed education. *Perspectives on medical education*, 3:257–259.
- Dargham, J., Saeed, D., and Mcheick, H. (2012). E-learning at school level: Challenges and benefits.
- de Melo, C. A. and de Sousa, M. S. (2021). Tecnologia educacional como estratégia integrativa de complementação na formação de estudantes e profissionais da área da saúde: Revisão integrativa. *Research, Society and Development*, 10(10):e87101018796–e87101018796.
- Guiter, G. E., Sapia, S., Wright, A. I., Hutchins, G. G., and Arayssi, T. (2021). Development of a remote online collaborative medical school pathology curriculum with clinical correlations, across several international sites, through the covid-19 pandemic. *Medical Science Educator*, 31:549–556.
- Guze, P. A. (2015). Using technology to meet the challenges of medical education. *Transactions of the American clinical and climatological association*, 126:260.
- Hanna, M. G., Reuter, V. E., Ardon, O., Kim, D., Sirintrapun, S. J., Schüffler, P. J., Busam, K. J., Sauter, J. L., Brogi, E., Tan, L. K., et al. (2020). Validation of a digital pathology

- system including remote review during the covid-19 pandemic. *Modern Pathology*, 33(11):2115–2127.
- Hussin, A. A. (2018). Education 4.0 made simple: Ideas for teaching. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 6(3):92–98.
- Keller, B., Guimarães, T., Malaquias, P. I., Ferreira, G., Resende, M., Carneiro, C., and Bianchi, A. (2021). Citofocus: Uma plataforma para colaboração e aprendizado em citopatologia. In *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde*, pages 404–409, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Kellman, P. J. and Krasne, S. (2018). Accelerating expertise: Perceptual and adaptive learning technology in medical learning. *Medical Teacher*, 40(8):797–802.
- Maley, M. A., Harvey, J. R., Boer, W. B. d., Scott, N. W., and Arena, G. E. (2008). Addressing current problems in teaching pathology to medical students: blended learning. *Medical teacher*, 30(1):e1–e9.
- Manou, E., Lazari, E.-C., Lazaris, A. C., Agrogiannis, G., Kavantzias, N. G., and Thomopoulou, G.-E. (2022). Evaluating e-learning in the pathology course during the covid-19 pandemic. *Advances in Medical Education and Practice*, pages 285–300.
- Marris, J., Perfors, A., Mitchell, D., Wang, W., McCusker, M. W., Lovell, T. J. H., Gibson, R. N., Gaillard, F., and Howe, P. D. (2021). How effective is perceptual training? evaluating two perceptual training methods on a difficult visual categorisation task. In *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, volume 43.
- Rezende, M. T., Silva, R., Bernardo, F. d. O., Tobias, A. H., Oliveira, P. H., Machado, T. M., Costa, C. S., Medeiros, F. N., Ushizima, D. M., Carneiro, C. M., et al. (2021). Cric searchable image database as a public platform for conventional pap smear cytology data. *Scientific data*, 8(1):151.
- Sasaki, Y., Nanez, J. E., and Watanabe, T. (2010). Advances in visual perceptual learning and plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(1):53–60.
- Thakkar, S. R. and Joshi, H. D. (2015). E-learning systems: a review. In *2015 IEEE seventh international conference on Technology for education (T4E)*, pages 37–40. IEEE.
- Wiecha, J., Heyden, R., Sternthal, E., Merialdi, M., et al. (2010). Learning in a virtual world: experience with using second life for medical education. *Journal of medical Internet research*, 12(1):e1337.