

Tecnologias educacionais no processo de ensino-aprendizagem em citopatologia clínica: da microscopia óptica à imagem digital

Patrícia Nardin¹

Farmacêutica-Bioquímica, com mestrado e doutorado em Ciências-Biológicas: Bioquímica pela UFRGS, e pós-doutorado na mesma área. Especialista em Citopatologia Diagnóstica pela Universidade Feevale. Experiência em análise clínica nos hospitais HCPA e Tacchini. Professora na UNISINOS

✉ pnardin@unisinios.br

Lisiane Cervieri Mezzomo

Farmacêutica-Bioquímica, especialista em Citologia Clínica pela Sociedade Brasileira de Análises Clínicas/RS. Mestre e Doutora em Patologia - Biomarcadores pela UFCSPA. Experiência como Tenente-Farmacêutica no Exército e professora substituta na UFCSPA. Docente convidada em cursos de especialização na Feevale e UFRGS, especializada em citologia e controle de qualidade laboratorial

Recebido em 27 de julho de 2022

Aceito em 14 de abril de 2024

Resumo:

O uso de tecnologias vem revolucionando a prática pedagógica nos últimos anos. Neste contexto, a microscopia digital, que consiste na transformação de material disposto sobre as tradicionais lâminas de vidro em imagens digitais e a transmissão remota de campos microscópicos, tem contribuído nesse processo. Considerando a progressiva inserção dessas ferramentas ao processo de ensino-aprendizagem, esse trabalho visa discutir o uso da microscopia digital no ensino da citopatologia clínica, as diferentes metodologias e aplicabilidades, vantagens e desvantagens e ainda, apontar sugestões, disponíveis na internet, para acesso educacional. Para a revisão bibliográfica foram empregadas as bases *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Pubmed/NCBI (*National Library of Medicine/Nacional Center for Biotechnology Information*) utilizando, como descritores, os seguintes termos correspondentes em inglês: citologia digital, telecitologia, citopatologia digital, microscopia virtual, educação. A utilização de imagens digitais permite o acesso a uma ampla gama de amostras e acima de tudo, tem possibilitado o ensino a distância. Dentre as vantagens do uso dessa ferramenta no ensino da citopatologia clínica, destaca-se a ampla acessibilidade, a representatividade da melhor amostra e a flexibilidade de horário e local. Entretanto, apesar das limitações, essa tecnologia mostra-se promissora na melhoria do aprendizado.

Palavras-chave: Educação, microscopia virtual, telecitologia, tecnologia digital.

Educational technologies in clinical cytopathology teaching and learning process: from optical microscopy to digital image

Abstract:

The use of technology has been revolutionizing pedagogical practice in recent years. In this context, digital microscopy, which consists of transforming material arranged on traditional glass slides into digital images and the remote transmission of microscopic fields, has contributed to this process.

¹ Esse artigo é fruto de um trabalho de conclusão apresentado ao curso de Especialização em Citopatologia Diagnóstica da Universidade Feevale no ano de 2021 sob orientação da Profa. Dra. Lisiane Cervieri Mezzomo.

Considering the progressive insertion of these tools into the teaching-learning process, this work aims to discuss the use of digital microscopy in teaching clinical cytopathology, the different methodologies and applicability, advantages and disadvantages and point out suggestions, available on the internet, for educational access. For the bibliographic review, the Scientific Electronic Library Online (SciELO), Latin American and Caribbean Literature in Health Sciences (LILACS) and Pubmed/NCBI (National Library of Medicine/National Center for Biotechnology Information) databases were using, as descriptors, the following corresponding terms in English: digital cytology, telecytology, digital cytopathology, virtual microscopy, education. The use of digital images allows access to a wide range of samples and, above all, has enabled distance learning. Among the advantages of using this tool in teaching clinical cytopathology, the wide accessibility, the representativeness of the best sample and the flexibility of time and place stand out. However, despite the limitations, this technology shows promise in improving learning.

Keywords: Education, virtual microscopy, telecytology, digital technology.

Tecnologías educativas en el proceso de enseñanza-aprendizaje en citopatología clínica: de la microscopía óptica a la imagen digital

Resumen:

El uso de la tecnología ha estado revolucionando la práctica pedagógica en los últimos años. A este proceso ha contribuido la microscopía digital, que consiste en la transformación de material dispuesto in portaobjetos de vidrio tradicionales en imágenes digitales y la transmisión remota de campos microscópicos ha contribuido a este proceso. Considerando la progresiva inserción de estas herramientas en el proceso de enseñanza-aprendizaje, este trabajo tiene como objetivo discutir el uso de la microscopía digital en la enseñanza de la citopatología clínica, las ventajas y desventajas y también señalar sugerencias, disponibles en Internet, para acceso educativo. Para la revisión bibliográfica se utilizaron las bases de datos Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud (LILACS) y Pubmed/NCBI (National Library of Medicine/Nacional Center for Biotechnology Information) utilizando, como descriptores, los siguientes términos correspondientes en inglés: citología digital, telecitología, citopatología digital, microscopía virtual y educación. El uso de imágenes digitales permite el acceso a una amplia gama de muestras y, sobre todo, ha permitido la educación a distancia. Entre las ventajas de utilizar esta herramienta en la enseñanza de la citopatología clínica destacan la amplia accesibilidad, la representatividad de la mejor muestra y la flexibilidad de tiempo y lugar. Sin embargo, a pesar de las limitaciones, esta tecnología se muestra prometedora para mejorar el aprendizaje.

Palabras clave: Educación, microscopía virtual, telecitología, tecnología digital.

INTRODUÇÃO

O ensino tradicional de disciplinas que fazem uso da microscopia inclui atividades práticas laboratoriais mediante a análise das características morfológicas do material biológico disposto em lâminas de vidro. Este modelo vem enfrentando desafios contemporâneos devido às limitações de espaço físico, custo e ainda, redução de tempo e de disponibilidade de aulas práticas em laboratório frente às alterações curriculares (TRIOLA; HOLLOWAY, 2011).

Nos últimos anos tem havido o uso crescente das metodologias ativas de aprendizagem, que vêm sendo apontadas como opções ao ensino tradicional, pois permitem

que o estudante tenha um papel ativo na busca e produção do conhecimento (SOUZA *et al.*, 2019). Esse novo modelo de ensino está sendo favorecido pelo desenvolvimento das tecnologias de análise microscópica digital, uma vez que essas ferramentas permitem o compartilhamento remoto de amostras biológicas digitais e possibilitam interações entre docentes e discentes em sistemas de aprendizagem (VAINER *et al.*, 2017).

Desde a criação do microscópio no século XVI e as primeiras consequências dessa descoberta para o estudo das células, houve uma grande evolução no desenvolvimento de novas tecnologias para a investigação de características morfológicas de estruturas celulares como, por exemplo, a microscopia de fluorescência, microscopia de varredura, microscopia confocal, e mais recentemente, análises microscópicas automatizadas. Embora a técnica de citopatologia seja utilizada há mais de 50 anos na prevenção e no diagnóstico de câncer e outras patologias (LIMA *et al.*, 2012), a evolução das tecnologias tem possibilitado a criação de ferramentas que trazem diversos benefícios para o ensino de disciplinas que se utilizam da microscopia, como hematologia, parasitologia, microbiologia, patologia e histologia. É possível, atualmente, digitalizar lâminas inteiras, elaborar atlas virtuais com imagens em alta resolução e, ainda, compartilhar imagens microscópicas em tempo real. Essas ferramentas possibilitam a transmissão remota das amostras e podem ainda, ser utilizadas para melhorar e diversificar o ensino (NISHAT *et al.*, 2017). A incorporação das tecnologias de microscopia digital como método auxiliar no ensino vem sendo ampliada nos últimos anos e, cada vez mais integrada à prática acadêmica (DOS SANTOS *et al.*, 2021; MICHELOW *et al.*, 2022).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é discutir o uso da microscopia digital no ensino da citopatologia, as diferentes metodologias e aplicabilidades na educação superior, vantagens e desvantagens em relação ao formato tradicional e ainda, apontar sugestões para acesso educacional que estão disponíveis na internet.

METODOLOGIA

Realizou-se uma revisão da literatura com a finalidade de agrupar e sintetizar o conteúdo acerca do emprego da citologia digital como ferramenta no processo de ensino-aprendizagem no ensino superior.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas seguintes bases de dados: Scientific Electronic Library Online (SciELO), Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS) e Pubmed/NCBI (National Library of Medicine/Nacional Center for Biotechnology Information) utilizando-se, na busca, os correspondentes em inglês dos termos: “citologia digital”, “telecitologia”, “citopatologia digital”, “microscopia virtual”, “educação” com o auxílio dos operadores booleanos de busca AND e OR.

Os critérios de inclusão utilizados na pesquisa foram: estudos científicos, nacionais e internacionais relacionados à temática de estudo, nos idiomas português, inglês ou espanhol, disponíveis *on-line* na forma de artigo completo. Os critérios de exclusão foram: artigos que não estivessem dentro do escopo ou com enfoque em outras temáticas fora dos descritores e artigos incompletos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sistemas digitais que podem ser utilizados no processo de ensino-aprendizagem de citopatologia

Sistemas digitais como a microscopia virtual são programas baseados em computador que permitem a visualização, a navegação e a anotação em lâminas digitais que são capturadas por uma câmera acoplada ao microscópio ou por um sistema de digitalização (escaneamento) de imagens (PANTANOWITZ *et al.*, 2009). Com a introdução de sistemas de informática cada vez mais robustos, seu uso tem sido cada vez mais associado a ferramentas de ensino-aprendizagem.

Dada a importância do exame citopatológico no contexto diagnóstico, o ensino de citopatologia clínica aplicado a graduandos de diversos cursos da área da saúde, pós-graduandos e, ainda, a profissionais da área que necessitam de um aprendizado contínuo, é bastante reconhecido.

Em seu manuscrito, Tötsch (2016) afirma que não há uma homogeneidade no ensino de citopatologia na Europa e que técnicas mais modernas, como a incorporação de atlas digitais associados a módulos de ensino, estão cada vez mais integradas ao processo de ensino-aprendizagem favorecendo sua padronização, aprendizado e assimilação do conteúdo (TÖTSCH, 2016).

Há três tipos distintos de sistemas digitais que até o momento podem ser utilizados no processo de ensino-aprendizagem em citopatologia:

(A) Sistema Estático: envolve a seleção e a captura de uma ou mais imagens microscópicas em um formato digital, seguida pela transmissão remota (NISHAT *et al.*, 2017). Este sistema permite a captura de subgrupos selecionados de campos microscópicos (PANTANOWITZ *et al.*, 2009). Entre os aspectos positivos desse sistema pode-se citar o baixo custo e ampla aplicabilidade (KHURANA, 2012; PANTANOWITZ *et al.*, 2009), a dispensabilidade de software especial para visualização da imagem (NISHAT *et al.*, 2017) e um menor tamanho do arquivo de imagem, quando comparado a outros formatos digitais. Entretanto, são limitações importantes, a focalização e ampliação da imagem e a necessidade de representação adequada da amostra como um todo, que fica restrita a apenas uma ou algumas imagens (WILBUR, 2011) dependentes da seleção do observador. Essa ferramenta é comumente utilizada em atlas virtuais para estudo de casos, identificação e detalhamento de características morfológicas celulares, controle de qualidade e em ensaios de proficiência. É considerada uma ferramenta educacional eficiente visto que permite a visualização das características citológicas em detalhes, uma vez que as imagens são previamente selecionadas baseando-se na sua morfologia.

(B) Sistema Dinâmico ou *Real-Time*: compreende a transmissão em tempo real ou *streaming* de imagens citológicas obtidas por um microscópio que pode ser local ou remotamente operado, via interface robótica. Nesse sistema, há atualização contínua da imagem conforme a lâmina é visualizada permitindo sua revisão completa, mudança de foco e ampliação da imagem quando necessário (KHURANA, 2012; PANTANOWITZ *et al.*, 2009; PINCO *et al.*, 2009). Dentre as vantagens desse método cita-se a análise de múltiplos campos da mesma amostra citopatológica, permitindo a avaliação da lâmina em sua totalidade. As limitações envolvem a necessidade de horário pré-determinado para o acesso remoto e o alto custo da técnica. Além disso, o manejo da tecnologia ainda exige avanços, sendo ainda consideravelmente lento, decorrente de eventuais sobrecargas de rede (NISHAT *et al.*, 2017; KHURANA, 2012; WILBUR, 2011). Este sistema é utilizado geralmente em eventos de atualização em tempo real para estudantes e/ou profissionais, tendo como operador do sistema o próprio palestrante, entretanto, seu uso esporádico em aulas presenciais ou remotas também pode ser aplicado.

(C) Sistema WSI (*Whole Slide Imaging*) ou Microscopia Virtual: trata-se de um sistema que mimetiza a microscopia real, valendo-se de tecnologia de *hardware* (*scanner* WSI). Consiste no escaneamento de toda a extensão da lâmina que contém a amostra citológica e sua conversão em uma imagem digital que pode ser visualizada em uma tela de computador através de um *software* especializado. A análise da imagem mimetiza uma visão microscópica da amostra e permite o deslocamento e ampliação de qualquer área de interesse (NISHAT *et al.*, 2017; WILBUR, 2011; THRALL *et al.*, 2011). Considerando que amostras biológicas, incluindo as amostras para análise citopatológica, frequentemente contêm elementos com distribuição tridimensional resultantes de sobreposições de células ou de agrupamentos celulares (KHURANA, 2012; KHALBUSS *et al.*, 2011; PANTANOWITZ *et al.*, 2009), essa ferramenta torna-se bastante útil quando atrelada a *scanners* WSI equipados com função *z-stack*, que permite que o observador mude o plano focal, tendo, portanto, uma funcionalidade bastante semelhante à microscopia óptica convencional (THRALL *et al.*, 2011), sendo esta sua principal vantagem. Entre as desvantagens estão o alto custo do *scanner*, uso de *software* especializado para visualização da imagem, o tempo de escaneamento da lâmina (PANTANOWITZ *et al.*, 2009) e, ainda, a geração de um arquivo de grande tamanho (na ordem de gigabytes) para uma única imagem, em função do *z-stack* (WILBUR, 2011).

Inúmeras aplicabilidades podem ser vinculadas a este tipo de ferramenta digital, desde o treinamento de alunos e/ou profissionais para encontrar ou definir características celulares importantes ou, até mesmo como ferramenta diagnóstica (SAINI *et al.*, 2023). Seu uso já está sendo bastante difundido em bibliotecas virtuais, em ensaios de proficiência, e em controle de qualidade, sendo considerada uma ferramenta bastante útil de ensino-aprendizagem (ECCHER, A.; GIROLAMI, I., 2020).

Aplicações da citopatologia digital no processo de ensino-aprendizagem

A aplicabilidade recente da citopatologia digital em ambiente educacional, seja de forma complementar ou como ferramenta de apoio à microscopia convencional, embora bastante utilizada, ainda é restrita. O acesso a essas ferramentas tem permitido o estudo de inúmeras amostras, incluindo aquelas de patologias raras e amostras antigas que acabariam se deteriorando naturalmente com o tempo. Porém, acima de tudo, essas ferramentas têm

possibilitado o ensino e o estudo a distância (MICHELOW *et al.*, 2022; GUITER *et al.*, 2021; VAINER *et al.*, 2017).

As imagens digitais também podem ser utilizadas em programas educacionais (como por exemplo, os ensaios de proficiência que já utilizam essa ferramenta de forma rotineira), teleconferências e *webinars*, educação continuada de profissionais de saúde, provas de avaliação/admissão de estudantes ou profissionais de saúde, em páginas da internet para consulta, podendo incluir casos clínicos e ainda, em educação remota/ou a distância. Atualmente, as ilustrações presentes em publicações, como livros e revistas científicas, são efetuadas por este método, produzindo documentos com imagens de alta definição (FERNANDES *et al.*, 2015; KHALBUSS *et al.*, 2011).

Uma base de dados universalmente acessível, que compila imagens digitais de alta qualidade traz inúmeros benefícios a estudantes e profissionais (LEE *et al.*, 2018; NISHAT *et al.*, 2017; THRALL *et al.*, 2011). Nesse sentido, muitos *sites* acadêmicos e de organizações profissionais de citologia já apresentam imagens digitais bem selecionadas e organizadas disponíveis (LEE *et al.*, 2018; WILBUR, 2016). Entretanto, o provimento de imagens digitais apenas, não é suficiente pedagogicamente. Um suporte adicional, como por exemplo, um ambiente interativo com esclarecimento de dúvidas e *feedbacks* aos alunos, faz-se necessário para um efetivo processo de ensino-aprendizagem (VAN ES *et al.*, 2015; VAN ES *et al.*, 2016). A tabela 1, página seguinte, apresenta exemplos de alguns *web-sites* relacionados.

Tanto o sistema digital estático (WILBUR, 2011) como o sistema WSI (FERNANDES *et al.*, 2015) podem ser utilizados para a construção de uma laminoteca *online* (biblioteca virtual) com objetivos variados: treinamento de estudantes ou profissionais (HAMILTON *et al.*, 2012), preparação para avaliações ou exames de proficiência e educação continuada de profissionais. O escaneamento e a organização de lâminas citológicas em uma base de dados estruturada com livre acesso *online* é uma poderosa ferramenta de ensino (CAPITANIO *et al.*, 2018), permitindo facilidade de acesso a diferentes casos clínicos e às respectivas amostras citológicas, complementando o processo de ensino-aprendizagem e tornando-o, dessa maneira, mais efetivo.

Tabela 1 - Web-sites educacionais em citopatologia

INSTITUIÇÃO	ENDEREÇO DO SITE	SISTEMA
The British Society for Colposcopy and Cervical Pathology (BSCCP)	http://www.bsccp.org.uk/	Estático
Eurocytology	http://www.eurocytology.eu	Estático e WSI
Europeans Federation of Cytological Societies (EFCS)	http://www.cytest.eu/	Estático e WSI
American Society of Cytopathology (ASC)	http://www.cytopathology.org/	Estático
The International Academy of Cytology	http://www.cytology-iac.org	Estático e WSI
Hologic	http://www.cytologystuff.com/	Estático
iCytology	https://www.icytology.wordpress.com/	Estático
Cytology Website	http://137.189.150.85/cytopathology/	Estático
College of American Pathologist (CAP)	http://www.cap.org	WSI

Fonte: Adaptado de CAPITANIO *et al.*, 2018.

Tanto o sistema digital estático (WILBUR, 2011) como o sistema WSI (FERNANDES *et al.*, 2015) podem ser utilizados para a construção de uma laminoteca *online* (biblioteca virtual) com objetivos variados: treinamento de estudantes ou profissionais (HAMILTON *et al.*, 2012), preparação para avaliações ou exames de proficiência e educação continuada de profissionais. O escaneamento e a organização de lâminas citológicas em uma base de dados estruturada com livre acesso *online* é uma poderosa ferramenta de ensino (CAPITANIO *et al.*, 2018), permitindo facilidade de acesso a diferentes casos clínicos e às respectivas amostras

citológicas, complementando o processo de ensino-aprendizagem e tornando-o, dessa maneira, mais efetivo.

Neste contexto, cabe destacar que a alteração no processo do formato presencial para o virtual resultando no ensino a distância ou *e-learning* (MOREIRA; SCHLEMMER, 2020), em função das restrições causadas pela pandemia de COVID-19, limitou eventos ou atividades presenciais (DARICI *et al.*, 2021; GUITER *et al.*, 2021; CHIOU, 2020). Considerando essa necessidade, a microscopia digital poderia ser aplicada a várias modalidades de ensino a distância, inclusive incorporada em um cenário mais ativo como a sala de aula invertida ou *flipped classroom*, gamificação ou *team-based learning* (TBL).

Igualmente, os eventos de atualização na área como conferências, congressos, palestras, *workshops*, encontros e *webinars* fizeram uso de plataforma digital remota e, conseqüentemente, da citopatologia digital em suas apresentações, possibilitando o uso de qualquer tipo de sistema: estático, dinâmico e/ou WSI. Na literatura, o uso do sistema dinâmico é referido, principalmente, em eventos de atualização (WILBUR, 2016), nos quais tanto o controle da informação como a transmissão da imagem em tempo real são de responsabilidade do próprio palestrante. Entretanto, o processamento assíncrono da transmissão da informação, com o posicionamento correto na lâmina, traz limitações para a aplicação do sistema dinâmico (GIANSANTI *et al.*, 2010).

Segundo a RDC 302/2005, os laboratórios clínicos que disponibilizam o exame citopatológico devem implementar um programa de garantia da qualidade para produzir resultados confiáveis por meio de monitoramento do desempenho (RDC nº 302 de 2005). Fazem parte deste programa, os ensaios de proficiência que, atualmente, utilizam imagens digitais de casos selecionados. Nesse sentido, a revisão e a discussão de casos difíceis e/ou discordantes que representa um excelente material para atividades de educação continuada, pode ser amplamente facilitada pelo uso de imagens digitais. O *College of American Pathologists* (CAP), reconhecido internacionalmente como uma das principais organizações certificadoras da qualidade para laboratórios, oferece material educacional usando slides virtuais (sistema WSI) tanto de citologia ginecológica quanto de citologia não-ginecológica (KHALBUSS *et al.*, 2011). Ainda, empresas de controle de qualidade laboratorial nacionais já estão desenvolvendo ensaios de proficiência na área com casos clínicos e lâminas virtuais.

Atualmente, segundo Crowell e colaboradores (2019), há sistemas disponíveis que fazem uso da inteligência artificial (IA) para detectar núcleos celulares em imagens WSI que os classificam de acordo com o tipo e grau de anormalidade mostrando, dessa forma, as células pertinentes ao diagnóstico em uma interface simples e ‘amigável’ (CROWELL *et al.*, 2019). Tendo como base a descrição dos autores, a utilização deste software em ambiente educacional, tanto para treinamento quanto para atualização de alunos e profissionais da área, também seria factível. Entre os sistemas digitais, o WSI tem grande vantagem educacional, pois permite o desenvolvimento de uma habilidade fundamental ao estudante e/ou profissional: identificar áreas de interesse e/ou de relevância diagnóstica no esfregaço total (HAMILTON *et al.*, 2012).

Com o aumento da disponibilidade destes sistemas virtuais no processo de ensino-aprendizagem, os estudantes terão ao seu alcance o livre acesso a um vasto material educacional.

Vantagens e desvantagens do uso de técnicas digitais como ferramenta de ensino-aprendizagem em citopatologia

Na literatura há descrições de uma série de vantagens e desvantagens a respeito das técnicas digitais aplicadas à citopatologia. Como vantagens, destacam-se:

(A) Redução de custos: muitas universidades estão substituindo laboratórios de microscopia por laboratórios de informática reduzindo dessa forma os custos com manutenção de microscópios. Adiciona-se a isso, a dificuldade para obtenção, manutenção e substituição de laminários adequados às práticas de ensino (PANTANOWITZ *et al.*, 2009).

(B) Acessibilidade: as imagens virtuais são facilmente acessadas pelos usuários (STERGIOU *et al.*, 2009) e podem ser compartilhadas (KHALBUSS *et al.*, 2011), sem limitações de distância.

(C) Representatividade da amostra: o uso de lâminas virtuais assegura que todos os estudantes visualizem a melhor lâmina representativa de um dado tema com boa qualidade técnica (homogeneidade na qualidade) (LEE *et al.*, 2018) e uma grande variedade de imagens virtuais (STERGIOU *et al.*, 2009).

(D) Recursos Adicionais: lâminas virtuais podem conter observações digitalmente anotadas, como uma legenda contendo dados mais detalhados para identificação de características importantes (VAN ES, 2019; HAMILTON *et al.*, 2012) que devem ser destacadas ou mesmo, quizzes (LEE *et al.*, 2018).

(E) Captura e preservação de exemplos clássicos, amostras raras ou incomuns: lâminas de vidro de alta qualidade são impossíveis de serem substituídas ou duplicadas (KHALBUSS *et al.*, 2011). Desse modo, lâminas de amostras raras ou incomuns, difíceis de serem acrescentadas a um laminário convencional, podem ser armazenadas, disponibilizadas e visualizadas por inúmeros estudantes sem o receio do corante esmaecer, de serem quebradas ou perdidas (NISHAT *et al.*, 2017; WILBUR, 2011; THRALL *et al.*, 2011).

(F) Armazenamento: as amostras digitais utilizadas em aulas, exames e/ou testes são facilmente arquivadas (VAN ES, 2019).

(G) Estratégias educacionais: a disponibilização da lâmina em uma tela de um computador permite maior interação. Isso pode ocorrer, por exemplo, mediante a discussão de um caso clínico específico, associado à amostra virtual representativa, por diferentes grupos ou profissionais (HAMILTON *et al.*, 2012; KHALBUSS *et al.*, 2011).

(H) Flexibilidade de aprendizado: livre acesso a qualquer hora e lugar, dentro ou fora da instituição de ensino; uma vez que não é necessário o uso do microscópio (LEE *et al.*, 2018), eliminam-se as restrições de acesso ao laboratório de microscopia. A flexibilidade é um fator importante para a implementação desse sistema de aprendizagem digital (STERGIOU *et al.*, 2009) inverter a ordem.

(I) Aprendizagem associativa: as imagens digitais podem estar associadas a outros dados complementares, como dados clínicos, fotomicrografias, raios-X, resultados de exames laboratoriais e moleculares estimulando um raciocínio clínico (SACO *et al.*, 2016) e resolução de problemas (STERGIOU *et al.*, 2009).

(J) Equidade e padronização: todos os participantes, alunos ou profissionais, podem fazer uso da mesma plataforma digital proporcionando equidade e padronização no processo de ensino (ex.: avaliações) ou programas de garantia de qualidade (VAN ES, 2019; WILBUR, 2016).

(K) *Feedback* imediato: as plataformas de aprendizagem têm opção de fornecer *feedback* individualizado visual e escrito, reforçando a resposta correta ou corrigindo equívocos de modo síncrono ou assíncrono (STERGIOU *et al.*, 2009).

(I) Receptividade: geralmente, os estudantes respondem positivamente à introdução da citologia virtual, pois se sentem confortáveis com o uso de microscopia virtual pelo conhecimento prévio em informática (SACO *et al.*, 2016). Além disso, estudos mostram que os estudantes têm um aprendizado efetivo usando esta tecnologia (MUKHERJEE; DONNELLY, 2018; DONNELLY *et al.*, 2016).

Apesar das significativas vantagens da adoção dessas tecnologias, existem limitações a serem avaliadas. Nesse sentido, as opções pedagógicas de sua utilização devem considerar:

(A) Diminuição da habilidade de manuseio do microscópio óptico: com a adoção exclusiva ou predominante das tecnologias digitais, pode-se ter impacto negativo no aprendizado do manuseio prático da microscopia óptica, considerado uma importante competência por muitos educadores e pesquisadores da área da saúde (SACO *et al.*, 2016).

(B) Tempo de aquisição da imagem ou de escaneamento: a pré-seleção de campos microscópicos na citologia estática e o escaneamento da lâmina de vidro na microscopia virtual consomem mais tempo quando comparados à análise visual por microscopia óptica (PANTANOWITZ *et al.*, 2009).

© Limitação de focalização: especialmente em agrupamentos e sobreposições celulares e células dispersas em diferentes planos focais (VAN ES *et al.*, 2018). A focalização em diferentes planos é dependente da função *Z-stack* (KHALBUSS *et al.*, 2011) e a precisão do diagnóstico depende do número de planos adquiridos no eixo Z e a distância entre os planos (VAN ES, 2019).

(D) Velocidade de carregamento das imagens: eventualmente pode ter lentidão, a depender do computador e da velocidade da conexão de rede. Uma internet de alta velocidade e um servidor com capacidade suficiente são necessários, especialmente quando muitos estudantes acessam o repositório de imagens virtuais ao mesmo tempo (SACO *et al.*, 2016).

(E) Maior tempo de análise da imagem: a maioria dos estudos mostra que é mais demorado examinar, rastrear e/ou obter um diagnóstico com microscopia digital do que com lâminas de vidro tradicionais (VAN ES, 2019). Frequentemente, isso decorre da distribuição ampla e randômica do material na lâmina (THRALL *et al.*, 2011). Adicionalmente, a navegação em uma lâmina digital pode ser lenta, o que é exacerbado quando o material citológico é escasso (VAN ES *et al.*, 2018).

(F) Ausência de orientação/treinamento de apoio: quando os alunos acessam o conteúdo virtual por conta própria, a falta de orientação é uma barreira no aprendizado (LEE *et al.*, 2018).

(G) Manipulação de imagens digitais: a otimização da imagem é essencial, entretanto, a manipulação (edições simples como redimensionar, rotar, cortar, ajustes de brilho, contraste, cor) de imagens digitais obtidas de materiais citológicos pode afetar sua interpretação. Nesse sentido, cuidados precisam ser tomados para assegurar que alterações na imagem não alterem a interpretação (PINCO *et al.*, 2009).

(H) Falta de padronização: no processamento da amostra e no uso de múltiplos *softwares* de visualização (NISHAT *et al.*, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tecnologias digitais em citopatologia configuram-se como plataformas de amplo acesso para o ensino por meio da disponibilização de imagens digitais de alta qualidade. Essas ferramentas, na maioria das vezes utilizadas como um complemento às atividades práticas de microscopia óptica convencional, especialmente no ensino da graduação e pós-graduação, estão sendo cada vez mais incorporadas (ROHR *et al.*, 2022; DOS SANTOS *et al.*, 2021).

Com o avanço e a ampliação das tecnologias disponíveis, cada vez mais se caminha para a substituição de lâminas de vidro por automação, com o uso de imagens digitais. Acredita-se que, em um futuro muito próximo, as desvantagens relacionadas ao sistema computacional serão superadas tecnologicamente. Pode-se prever ainda, a inserção de novas plataformas preditivas com uma análise mais precisa dos critérios morfológicos em imagens

digitais (GIARNIERI; SCARDAPANE, 2023). Estas plataformas, não somente auxiliarão o diagnóstico citopatológico (HOLMSTRÖM *et al.*, 2021), mas também serão complementares nos processos de ensino-aprendizagem, especialmente pela facilidade de acesso e compartilhamento

Acredita-se ainda, que o avanço tecnológico solucionará muitos problemas relacionados à qualidade das imagens. Entretanto, para a produção de imagens digitais de alta qualidade, outros pontos relacionados à fase pré-analítica (fixação, coloração e escolha adequada da amostra) bem como, o pós-processamento (edição) deverão ser observados e adaptados de acordo com a nova realidade.

As considerações acima destacadas direcionam para a conveniência de se ponderar caso a caso, a adoção dessas tecnologias como estratégias pedagógicas. Claramente há peculiaridades que precisam de atenção para essas implementações tecnológicas. Apesar das limitações, essa tecnologia digital se mostra promissora à respectiva adoção como ferramenta de ensino-aprendizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada. RDC n° 302. Dispõe sobre regulamento técnico para funcionamento de laboratórios clínicos, 2005. Disponível em https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/res0302_13_10_2005.html
- CAPITANIO, A.; DINA, R. E.; TREANOR, D. Digital cytology: A short review of technical and methodological approaches and applications. *Cytopathology*, 29(4), p. 317-325, 2018. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cyt.12554>
- CHIOU, P. Z. Learning cytology in times of pandemic: An educational institutional experience with remote teaching. *Journal of the American Society of Cytopathology*, 9, p. 579-585, 2020. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32622857/>
- CROWELL, E. F.; BAZIN, C.; THURLOTTE, V.; ELIE, H.; JITARU, L.; OLIVIER, G.; CAILLOT, Y.; BRIXTEL, R.; LESNER, B.; TOUTAIN, M.; RENOUF, A. Adaptation of CytoProcessor for cervical cancer screening of challenging slides. *Diagnostic Cytopathology*, 47(9), p. 890-897, 2019. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/dc.2421>
- DARICI, D.; REISSNER, C.; BROCKHAUS, J.; MISSLER, M. Implementation of a fully digital histology course in the anatomical teaching curriculum during COVID-19 pandemic. *Annals of Anatomy*, 236, 2021. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8739541/>
- DONNELLY, A. D.; MUKHERJEE, M. S.; LYDEN, E. R.; RADIO, S. J. Online education in cytotechnology programs: a pilot study. *Journal of the American Society of Cytopathology*, 5(4), p. 235-243, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213294515300193>
- DOS SANTOS, F. S.; OSAKO, M.K.; PERDONÁ, G. D. S. C.; ALVES, M. G. SALES, K.U. Virtual microscopy as a learning tool in Brazilian medical education. *Anatomical Sciences Education*, 14(4), p. 408-416, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33720510/>
- ECCHER, A.; GIROLAMI, I. Current state of whole slide imaging use in cytopathology: Pros and pitfalls. *Cytopathology*,

Tecnologias educacionais no processo de ensino-aprendizagem em citopatologia clínica: da microscopia óptica à imagem digital

31(5), p. 372-378, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32020667/>

FERNANDES, S., DUARTE, R.; SILVA, R. A. Development of an online slide library. *Citotech Online - Case Review*, n. 1 p. 21-30, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.26537/citotech.v0i1.495>

GIANSANTI, D.; GRIGIONI, M.; D'AVENIO, G.; MORELLI, S.; MACCIONI, G.; BONDI, A.; GIOVAGNOLI, M. R. Virtual microscopy and digital cytology: state of the art. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 46(2), p. 115-122, 2010. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20567061/>

GIARNIERI, E.; SCARDAPANE, S. Towards artificial intelligence applications in next generation cytopathology. *Biomedicines*, 11(8): 2225, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37626721/>

GUITER, G. E.; SAPIA, S.; WRIGHT, A. I.; HUTCHINS, G. G. A.; ARAYSSI, T. 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(2), p. 549-556, 2021. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33495717/>

HAMILTON, P. W.; WANG, Y.; MCCULLOUGH, S. J. Virtual microscopy and digital pathology in training and education. *The APMIS Journal*, 120(4), p. 305-315, 2012. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22429213/>

HOLMSTRÖM, O.; LINDER, N.; KAINGU, H.; MBUUKO, N.; MBETE, J.; KINYUA, F.; TÖRNQUIST, S.; MUIINDE, M.; KROGERUS, L.; LUNDIN, M.; DIWAN, V.; LUNDIN, J. Point-of-care digital cytology with artificial intelligence for cervical cancer screening in a resource-limited setting. *JAMA Network Open*, 4(3):e211740, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33729503/>

KHALBUSS, W. E.; PANTANOWITZ, L.; PARWANI, A. V. Digital imaging in cytopathology. *Pathology Research International*, 2011. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21785680/>

KHURANA, K. K. Telecytology and its evolving role in cytopathology. *Diagnostic Cytopathology*, 40(6), p. 498-502, 2012. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22619124/>

LEE, L. M. J.; GOLDMAN, H. M.; HORTSCH, M. The virtual microscopy database-sharing digital microscope images for research and education. *Anatomical Science Education*, 11(5), p. 510-515, 2018. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29444388/>

LIMA, D. N. O.; BARROS, A. L. S.; OLIVEIRA, M. L.; AZEVEDO, M. D. *Caderno de referência 1: Citopatologia Ginecológica*. Brasília: Ministério da Saúde. Rio de Janeiro: CEPESC, 2012. Disponível em https://bvsm.sau.gov.br/bvs/publicacoes/atlas_citopatologia_ginecologica.pdf

MICHELOW, P.M.; WET, D. R. D. FAINMAN, G. M. Evaluation of the pivot to digital teaching and learning in pathology: Sentiments from a low-middle-income country. *Cancer Cytopathology*, 130(12), p. 920-926, 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35679144/>

MOREIRA, J. A.; SCHLEMMER, E. Por um novo conceito e paradigma de educação digital *onlife*. *Revista UFG*, v. 20, 2020. Disponível em <https://revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/63438>

MUKHERJEE, M. S.; DONNELLY, A. D. Initial Assessments of E-Learning modules in cytotechnology education. *Journal of Pathology Informatics*, 9(4), 2018. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29531849/>

NISHAT, R.; RAMACHANDRA, S.; BEHURA, S. S.; KUMAR, H. Digital cytopathology. *Journal of Oral and Maxillofacial Pathology*, 21(1), p. 99-106, 2017. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5406828/>

PANTANOWITZ, L.; HORNISH, M.; GOULART, R. A. The impact of digital imaging in the field of cytopathology. *Cytojournal*, 6(6), 2009. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19495408/>

PINCO, J.; GOULART, R. A.; OTIS, C. N.; GARB, J.; PANTANOWITZ, L. Impact of digital image manipulation in cytology. *Archives Pathology & Laboratory Medicine*, 133(1), p. 57-61, 2009. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19123737/>

ROHR, J. M.; MUKHERJEE, M.; DONNELLY, A. SPRINKLE, S.; DUARTE, E. M.; VALDES, A. Y. Successful integration of

- thyroid cytopathology and surgical pathology education in an E-module format. **Journal of Pathology Informatics**, 13(100124), 2022. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36268066/>
- SACO, A.; BOMBI, J. A.; GARCIA, A.; RAMÍREZ, J.; ORDI, J. Current status of Whole-Slide Imaging in education. **Pathobiology**, 83(2-3), p. 79-88, 2016. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27101397/>
- SAINI, T.; BANSAL, B.; DEY, P. Digital cytology: Current status and future prospects. **Diagnostic Cytopathology**, 51(3), p. 211-218, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36594526/>
- SOUZA, T. D. A.; FIGUEIREDO, M. N. D. C.; CAMILO, M. D. S.; CRUZ, T. D. S. O Uso de Abordagem Híbrida para o Ensino de Citopatologia. In: 25º Congresso Internacional ABED de Educação a Distância, 2019, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. Associação Brasileira de Educação a Distância, p. 20-24. Disponível em <https://www.abed.org.br/congresso2019/anais/trabalhos/30414.pdf>
- STERGIOU, N.; GEORGOULAKIS, G.; MARGARI, N.; ANINOS, D. STAMATAKI, M.; STERGIOU, E.; POULIAKIS, A.; KARAKITSOS, P. Using a web-based system for the continuous distance education in cytopathology. **International Journal of Medical Informatics**, 78(12), p. 827-838, 2009. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19775933/>
- THRALL, M.; PANTANOWITZ, L.; KHALBUSS, W. Telecytology: Clinical applications, current challenges, and future benefits. **Journal of Pathology Informatics**, 2(51), 2011. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22276242/>
- TRIOLA, M. M.; HOLLOWAY, W. J. Enhanced virtual microscopy for collaborative education. **BMC Medical Education**, p.11:14, 2011. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21269474/>
- TÖTSCH, M. Education and training in cytology in Europe. **Cytopathology**, 27(5), p. 317-320, 2016. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27650599/>
- VAINER, B.; MORTENSEN, N. W.; POULSEN, S. S.; SØRENSEN, A. H.; OLSEN, J.; SAXILD, H. H.; JOHANSEN, F.F. Turning microscopy in the medical curriculum digital: Experiences from the Faculty of Health and Medical Sciences at University of Copenhagen. **Journal of Pathology Informatics**. 8(11), 2017. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28382225/>
- VAN ES, S. L. Digital pathology: semper ad meliora. **Pathology**, 51(1), p. 1-10, 2019. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30522785/>
- VAN ES, S. L.; GREAVES, J.; GAY, S.; ROSS, J.; HOLZHAUSER, D.; BADRICK, T. Constant quest for quality: Digital cytopathology. **Journal of Pathology Informatics**, 9(13), 2018. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29721361/>
- VAN ES, S. L.; KUMAR, R. K.; PRYOR, W. M.; SALISBURY, E. L.; VELAN, G. M. Cytopathology whole slide images and adaptive tutorials for postgraduate pathology trainees: A randomized crossover trial. **Human Pathology**, 46(9), p. 1297-1305, 2015. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26093936/>
- VAN ES, S. L.; KUMAR, R. K.; PRYOR, W. M.; SALISBURY, E. L.; VELAN, G. M. Cytopathology whole slide images and adaptive tutorials for senior medical students: A randomized crossover trial. **Diagnostic Pathology**, 11(1), 2016. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26746436/>
- WILBUR, D. C. Digital cytology: Current state of the art and prospects for the future. **Acta Cytologica**, 55(3), p. 227-238, 2011. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21525733/>
- WILBUR, D. C. Digital pathology and its role in cytology education. **Cytopathology**, 27(5), p. 325-330, 2016. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27650601/>.



Este trabalho está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).