



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS FLORIANO
CURSO TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS**

PRISCILA FREITAS MARTINS

**AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE EM INTERFACES DE
TELEOFTALMOLOGIA: Um estudo de caso na plataforma EyerCloud**

FLORIANO

2026

PRISCILA FREITAS MARTINS

AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE EM INTERFACES DE
TELEOFTALMOLOGIA: Um estudo de caso na plataforma EyerCloud

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Floriano.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Ângelo Santos Leite.

Coorientador: Prof. Dr. José Joaquim de Moura Ramos.

FLORIANO

2026

AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE EM INTERFACES DE TELEOFTALMOLOGIA: Um estudo de caso na plataforma EyerCloud

Priscila Freitas Martins¹
Rafael Ângelo Santos Leite²
José Joaquim de Moura Ramos³

RESUMO

A teleoftalmologia assíncrona desloca a mediação diagnóstica do contato presencial para uma interação exclusivamente digital, tornando a interface do *software* o único canal sensorial do especialista clínico com a patologia. Nesse cenário, problemas de usabilidade podem ampliar o esforço mental desnecessário do profissional, com potenciais reflexos sobre a segurança do paciente. Este estudo teve como objetivo identificar os problemas de usabilidade presentes na interface de telediagnóstico oftalmológico assíncrono da plataforma EyerCloud, por meio de avaliação heurística fundamentada nos princípios de Nielsen, discutindo as possíveis implicações teóricas desses problemas para a carga cognitiva extrínseca imposta ao especialista, à luz da teoria da carga cognitiva. Trata-se de pesquisa qualitativa, descritiva, conduzida como estudo de caso, na qual uma avaliadora única realizou a inspeção sistemática do módulo de laudo da plataforma, seguindo um roteiro de tarefas estruturado em quatro fases de avaliação. Os problemas identificados foram catalogados e interpretados à luz de efeitos documentados pela teoria da carga cognitiva. A avaliação identificou vinte e quatro problemas de usabilidade distribuídos entre as dez heurísticas analisadas, com concentração expressiva em falhas de consistência e de prevenção de erros, sendo quinze deles classificados como grande problema de usabilidade ou catástrofe de usabilidade. Os achados mais críticos relacionam-se à fragmentação da interface em elementos excludentes, à ausência de indicadores de status na fila de exames e à falta de classificação entre imagens dos dois olhos. Conclui-se que a plataforma apresenta oportunidades relevantes de melhoria ergonômica, sobretudo nas etapas de maior densidade diagnóstica.

Palavras-chave: teleoftalmologia; interface; usabilidade; carga cognitiva.

ABSTRACT

Asynchronous tele-ophthalmology shifts diagnostic mediation from face-to-face contact to an exclusively digital interaction, making the software interface the clinical specialist's sole sensory channel for assessing the pathology. In this scenario, usability issues can increase the professional's unnecessary mental effort, potentially impacting patient safety. This study aimed to identify usability issues in the asynchronous ophthalmic telediagnosis interface of the EyerCloud platform using a heuristic evaluation based on Nielsen's principles, while discussing the potential

¹ Graduanda em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. IFPI Campus Floriano. priscilafreitasmartins0@gmail.com.

² Doutor em Ciência da Propriedade Intelectual pela UFS e docente do eixo Gestão e Negócios. IFPI Campus Floriano. rafaelangelo@ifpi.edu.br.

³ Doutor em Computação pela Universidade da Corunha e Investigador da Universidade da Corunha, Espanha. joaquim.demoura@udc.es.

theoretical implications of these issues for the extrinsic cognitive load imposed on the specialist, in light of cognitive load theory. This qualitative, descriptive case study involved a single evaluator conducting a systematic inspection of the platform's reporting module, following a task protocol structured into four evaluation phases. The identified issues were cataloged and interpreted in the context of effects documented by cognitive load theory. The evaluation identified twenty-four usability issues across the ten heuristics analyzed—with a significant concentration of flaws regarding consistency and error prevention—fifteen of which were classified as major usability problems or usability catastrophes. The most critical findings relate to the interface's fragmentation into mutually exclusive elements, the absence of status indicators in the exam queue, and the lack of distinction between images of the two eyes. The study concludes that the platform offers significant opportunities for ergonomic improvement, particularly during the stages involving the highest diagnostic density.

Keywords: tele-ophthalmology; interface; usability; cognitive load.

Data de aprovação: 10/07/2026

1 INTRODUÇÃO

Milhares de casos de cegueira evitável ocorrem anualmente no mundo, não por falta de tratamento, mas por falha logística: a impossibilidade de levar diagnóstico especializado a populações afastadas (Burton et al., 2021). Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2023, tradução nossa), cerca de 2,2 bilhões de pessoas no mundo possuem alguma deficiência ocular, no entanto, a OMS alerta que 1 bilhão dos casos poderiam ser evitados com a detecção precoce. Em resposta, a teleoftalmologia tornou-se uma ferramenta clínica validada ao permitir que "a informação viaje em vez do paciente" (Labiris; Panagiotopoulou; Kozobolis, 2018), viabilizando diagnóstico especializado em regiões sem oftalmologistas, contexto que representa 85% dos municípios brasileiros (CBO, 2023).

O impacto da teleoftalmologia foi demonstrado em um estudo extenso de três anos no Sul do Brasil (Projeto TeleOftalmo), com 30.315 pacientes participantes, onde 70,5% dos pacientes tiveram suas queixas oculares totalmente solucionadas a distância, sem necessitar de encaminhamento presencial (Moreira et al., 2022). Este dado quebra o paradigma de que o telediagnóstico serve apenas para triagem. Na prática, ele comprova a viabilidade de uma diminuição da fila de espera do sistema público. Ao resolver remotamente a maioria dos casos menos críticos, o sistema

permite que os casos graves (29,5% restantes) sejam atendidos por especialistas de forma muito mais rápida.

Em contrapartida, o telediagnóstico assíncrono desloca a lógica do diagnóstico de uma interação presencial com o paciente para uma mediação exclusivamente digital, onde a interface torna-se o único canal sensorial do médico com a patologia, com estudos demonstrando que médicos gastam até duas horas em Registro Eletrônico de Saúde (EHR) para cada hora de atendimento direto ao paciente (Sinsky et al., 2016). Diante disso, a qualidade da interface digital, ou sua usabilidade, torna-se um fator com elevado potencial de impacto na realização do diagnóstico (Melnick et al., 2020) e na segurança do paciente (Li et al., 2025).

Nesse contexto, a usabilidade pode ser avaliada tanto por métodos empíricos, aplicados diretamente com usuários reais, quanto por métodos analíticos, como a avaliação heurística de Nielsen (1994), já aplicada a sistemas de saúde digital sob perspectiva do paciente, em aplicativos de telemedicina (Aldekhyyel; Almulhem; Binkheder, 2021), na perspectiva do profissional de saúde, em sistemas de videoconferência clínica (Agnisarman et al., 2017) e em plataformas de telessaúde voltadas ao monitoramento remoto (Lilholt; Jensen; Hejlesen, 2015). Contudo, a avaliação heurística, isoladamente, não revela o esforço mental específico imposto pela interface durante a execução de tarefas complexas.

Paralelamente a isso, a psicologia cognitiva, através da Teoria da Carga Cognitiva (CLT) de John Sweller (1988), oferece um modelo para entender esse esforço. A CLT postula que a memória de trabalho é limitada e processa três tipos de carga: a **intrínseca** (a complexidade inerente à tarefa), a **germinal** (o esforço dedicado à aprendizagem) e a **extrínseca** (o esforço desnecessário imposto pelo *design* da interface). Problemas de usabilidade na interface podem ampliar a carga extrínseca do especialista, sobrecarregando os recursos mentais que deveriam estar voltados exclusivamente ao raciocínio diagnóstico (carga intrínseca) (Krupinski, 2010) e, com isso, potencializando o risco de erro (Young et al., 2014).

A lacuna na literatura reside na interseção dessas duas áreas. A maioria dos estudos de avaliação heurística em telemedicina concentram-se majoritariamente na perspectiva do paciente (Aldekhyyel; Almulhem; Binkheder, 2021) ou em sistemas genéricos de videoconferência clínica (Agnisarman et al., 2017). Uma busca preliminar na literatura não identificou estudos que tenham aplicado avaliação heurística às interfaces de telediagnóstico oftalmológico assíncrono utilizadas pelo

especialista clínico. Também não foram localizados estudos que discutam os achados de avaliação heurística e suas respectivas implicações teóricas para a carga cognitiva extrínseca imposta a esse profissional.

Para preencher essa lacuna, este estudo investigou: **Quais problemas de usabilidade existem na interface de telediagnóstico oftalmológico assíncrono da plataforma EyerCloud e quais suas implicações para a carga cognitiva extrínseca imposta ao especialista?**

Assim, o objetivo deste estudo é identificar os problemas de usabilidade presentes na interface de telediagnóstico oftalmológico assíncrono da plataforma EyerCloud, por meio de avaliação heurística fundamentada nos princípios de Nielsen (1994), discutindo as possíveis implicações teóricas desses problemas para a carga cognitiva extrínseca imposta ao especialista, à luz da Teoria da Carga Cognitiva.

Para tanto, adota-se uma abordagem qualitativa e descritiva, conduzida por meio de estudo de caso, na qual uma avaliadora única inspecionou sistematicamente o módulo de laudo da plataforma EyerCloud, seguindo roteiro de tarefas estruturado em quatro fases de avaliação. Os problemas identificados foram catalogados segundo as dez heurísticas de Nielsen (1994) e, em seguida, interpretados à luz dos efeitos documentados pela Teoria da Carga Cognitiva.

Em termos práticos, os achados desta avaliação heurística têm implicações diretas para o *design* das telas utilizadas pelo especialista clínico em futuras plataformas de teleoftalmologia, reforçando que investir em usabilidade não é apenas questão de satisfação, mas estratégia de mitigação de risco clínico. Dado que a sobrecarga da memória de trabalho associa-se a maior taxa de erros em tarefas complexas (Young et al., 2014), a correção das heurísticas violadas sugere potencial para reduzir a fadiga visual e mental do especialista clínico, otimizar o tempo de laudo e mitigar o risco de erro diagnóstico, com reflexos diretos na segurança do paciente.

Teoricamente, este trabalho contribui ao articular a avaliação heurística e a teoria da carga cognitiva, referenciais até então utilizados de forma isolada em sistemas de saúde digital (Melnick et al., 2020; Lilholt; Jensen; Hejlesen, 2015), para o contexto de plataformas de telediagnóstico oftalmológico assíncrono, pouco explorado na literatura nacional. Adicionalmente, o estudo contribui do ponto de vista metodológico ao mapear as infrações de interface presentes na plataforma e inferir suas possíveis implicações para a carga cognitiva extrínseca, servindo como modelo

replicável para a avaliação ergonômica de outros sistemas de teleoftalmologia no país.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TELEDIAGNÓSTICO

O conceito de telediagnóstico tem origem documentada na literatura médica norte-americana da década de 1970, quando Murphy e Bird (1974), no artigo seminal "Telediagnóstico: um novo recurso comunitário de saúde", cunharam o termo ao avaliar a viabilidade do método a partir de mil atendimentos realizados por meio de televisão em circuito fechado bidirecional, consolidando essa modalidade como um novo recurso de saúde comunitária. Desde então, segundo a definição da Organização Mundial da Saúde (WHO), trata-se da oferta de serviços onde a distância é o fator crítico, ou seja, onde os profissionais e os pacientes estão em locais geográficos distintos (WHO, 2010, tradução nossa). Bashshur (1995), em sua análise dos efeitos do telediagnóstico, aprofunda essa noção ao caracterizar o telediagnóstico como a substituição do contato presencial pela interação mediada tecnologicamente.

Essa evolução atingiu um ponto de inflexão recentemente. A pandemia de COVID-19, por exemplo, impulsionou de forma sem precedentes a implantação de soluções de telemedicina em todo o mundo, forçando organizações de saúde a adotarem rapidamente plataformas digitais para garantir a continuidade dos cuidados e mitigar riscos de contágio. Esse cenário acelerou a aceitação do telediagnóstico não apenas como uma alternativa emergencial, mas como um modelo de saúde digital integrado aos sistemas de saúde (Aldekhyyel; Almulhem; Binkheder, 2021).

Nesse cenário já consolidado, a relevância desse modelo reside na sua capacidade de dissociar o tempo e o espaço da prestação de cuidados, permitindo que exames complexos sejam laudados por especialistas clínicos situados a milhares de quilômetros dos pacientes, ampliando o acesso à saúde especializada. Exemplificando, no *Royal Adelaide Hospital* (Austrália), um serviço de telessaúde utilizou consultas de vídeo em tempo real para superar a barreira geográfica para as comunidades Aborígenes e Ilhéus do Estreito de Torres. Com esse serviço, casos

que poderiam ser fatais puderam ser resolvidos ou controlados com o auxílio de teleconsultas (Ezeamii et al., 2024). Os achados qualitativos deste estudo destacaram a redução da carga de viagens, a melhoria do acesso a especialistas clínicos e o aumento da comunicação através de consultas virtuais especializadas.

Embora o telediagnóstico tenha evoluído significativamente desde sua origem na década de 1970, foi no campo da oftalmologia que essas tecnologias encontraram terreno particularmente fértil (Than et al., 2023). Essa afinidade entre telediagnóstico e oftalmologia se explica pelo fato de que, diferentemente de especialidades cujo diagnóstico depende de exame físico direto, a prática oftalmológica fundamenta-se historicamente na mediação de uma imagem entre o olho do paciente e o olhar do especialista clínico (Labiris et al., 2018).

2.1.1 Teleoftalmologia

A aplicação clínica da teleoftalmologia tem sido documentada em diferentes agravos oculares, com evidências mais consolidadas no rastreamento da retinopatia diabética, principal causa de cegueira evitável entre adultos em idade ativa no mundo (GBD Study, 2021). A teleoftalmologia para retinopatia diabética constitui meio inovador de avaliação retiniana que permite identificar olhos em risco de perda visual, preservando a visão e reduzindo o ônus geral sobre o sistema de saúde (Salongcay; Silva, 2018). Land et al. (2023) reforçam que o crescimento contínuo do número de pacientes diabéticos tornaria insustentável depender exclusivamente do exame presencial, dado o número limitado de oftalmologistas que corresponde a 1 profissional para cada aproximadamente 11.000 pessoas (CBO, 2023).

Estudos conduzidos no Centro-Oeste do Brasil, compararam o rastreamento presencial de retinopatia diabética com o modelo de teleoftalmologia implementado durante a pandemia de COVID-19, como resultado observou-se a redução do tempo médio de espera por avaliação especializada, de 292,3 dias no modelo presencial para 158,8 dias no modelo de telemedicina, além de queda significativa na taxa de encaminhamento, que se refere a porcentagem de pacientes que precisam ser encaminhados (Barbieri et al., 2024).

Além disso, a viabilidade operacional e clínica do modelo remoto foi robustamente demonstrada pelo Projeto TeleOftalmo, desenvolvido no Rio Grande do Sul entre 2017 e 2020. O projeto atendeu 30.315 pacientes através de

telediagnóstico assíncrono realizado em 68 municípios, com participação de 14 oftalmologistas que laudaram exames de retinografia capturados em unidades básicas de saúde por técnicos de enfermagem treinados (Moreira et al., 2022). A taxa de resolubilidade remota alcançou 70,5%, a maioria dos casos foi efetivamente resolvida sem encaminhamento presencial, permitindo que casos críticos (29,5% restantes, incluindo 41,3% com catarata — condição que, segundo Pascolini e Mariotti (2012), responde por aproximadamente 33% dos casos de cegueira no mundo — e 10,6% com suspeita de glaucoma) fossem priorizados no atendimento especializado.

Uma análise de custo-efetividade demonstrou que o custo médio por laudo (R\$ 119,00) era significativamente inferior ao custo estimado de deslocamento e consulta presencial para populações rurais (Zanotto et al., 2020), validando a sustentabilidade econômica do modelo no Sistema Único de Saúde (SUS). Vale ressaltar que a literatura consultada não permite atestar uma redução do sofrimento psicológico do paciente, sendo esse benefício inferido indiretamente a partir da redução comprovada do tempo de espera e da necessidade de deslocamento, já documentadas.

Entretanto, apesar dessas evidências favoráveis, a eficácia do telediagnóstico não depende exclusivamente da disponibilidade de tecnologia, mas da qualidade da interação entre o especialista clínico e o sistema. Krupinski (2010), em estudos pioneiros de telerradiologia, identificou que radiologistas utilizando sistemas PACS (*Picture Archiving and Communication Systems*) com interfaces mal projetadas apresentaram aumento de 23% no tempo médio de laudo e redução de 15% na sensibilidade diagnóstica para detecção de nódulos pulmonares, mesmo com imagens de resolução idêntica a sistemas otimizados. Esse achado evidencia que a qualidade técnica da imagem, embora necessária, não é suficiente: a forma como a informação é organizada, apresentada e acessada pela interface digital modula diretamente o desempenho clínico.

Em ambientes clínicos especializados, a digitalização alterou drasticamente a alocação de tempo. Um estudo com *trainees* (especialistas clínicos com pouco tempo de experiência) de oftalmologia demonstrou que o tempo gasto em documentação por paciente aumentou de 48% (com prontuário em papel) para 57% do tempo total de atendimento após a implementação do EHR (Gali et al., 2019). Este aumento de tempo na documentação e revisão do prontuário eletrônico indica que o tempo de

atendimento foi deslocado do cuidado direto ao paciente para o cuidado “indireto”.

Segundo estudos de usabilidade, EHRs mal projetados, com muitas telas e *prompts*, estão associados à insatisfação do profissional de saúde e ao tempo de contato reduzido com o paciente, além de serem um fator de risco para o *burnout* (Gali et al., 2019; Melnick et al., 2020; Sinsky et al., 2016). Nesse contexto, sistemas médicos evoluíram de registros passivos para Sistemas de Suporte à Decisão Clínica (CDSS), centrais à organização e tomada de decisão (Mucha et al., 2022). Essa mudança confirma que a interação com o *software* consome uma porção dominante da jornada do especialista clínico, caracterizando-o como o ambiente primário de interação.

Corroborando a sobrecarga de trabalho, o estudo de Lintern e Motavalli (2018) caracteriza a saúde como ambiente cognitivo intensivo, onde ferramentas digitais mediam progressivamente a decisão clínica. Quando a tecnologia falha em apoiar o raciocínio clínico, o profissional desvia recursos mentais da tarefa primária para recuperar-se de erros de *design*. A convergência dessas perspectivas evidencia uma responsabilidade crítica de *design*: abordagens tecnocêntricas, insensíveis à estrutura cognitiva do clínico, resultam em sistemas que impedem o trabalho em vez de facilitá-lo.

Dada a centralidade da interface digital no telediagnóstico e o rápido aumento de aplicativos de teleoftalmologia durante a pandemia, torna-se imperativo compreender e mensurar sua qualidade. A disciplina de IHC (Interação Humano-Computador) oferece conceitos e instrumentos consolidados para essa avaliação, sendo a usabilidade o constructo central.

2.2 USABILIDADE

O conceito de usabilidade, em sua definição normativa mais consolidada (ISO 9241-11), refere-se ao grau em que um produto permite que usuários específicos atinjam objetivos de forma eficaz, eficiente e satisfatória em um determinado contexto de uso (ISO, 2018). Para avaliar essa capacidade em interfaces humano-computador, a literatura propõe metodologias que se dividem fundamentalmente em métodos *empíricos*, cujos dados emergem do comportamento observado de usuários reais interagindo com o sistema, e métodos *analíticos*, nos quais avaliadores especialistas examinam a interface com base em princípios

estabelecidos, sem depender de testes com usuários para gerar os achados, categoria que engloba tanto modelos cognitivos e matemáticos quanto métodos de inspeção (Gray; Salzman, 1998; Dias, 2003 apud Rosa; Veras, 2013).

A escolha por um **método de inspeção**, em detrimento de testes empíricos com usuários, ganha justificativa adicional quando se considera o perfil da população-alvo deste estudo. A literatura de IHC aplicada à saúde reconhece que, embora exista consenso sobre a importância de testes de usabilidade, na prática estes testes costumam ser aplicados apenas a projetos selecionados, dado que desafios operacionais, como alto volume de pacientes, restrições de tempo para participar de estudos fora do horário clínico e questões de equipe, limitam significativamente o recrutamento, particularmente de médicos atuantes em tempo integral (Kandaswamy et al., 2024). Esse obstáculo se intensifica no caso específico da oftalmologia, especialidade marcada por distribuição geográfica desigual e escassez de profissionais no Brasil (CBO, 2023).

Nesse cenário, a avaliação heurística surge como alternativa metodologicamente adequada, por ser conduzida pela própria pesquisadora na função de avaliadora, sem exigir a participação direta dos médicos, o método contorna o principal obstáculo identificado que é a limitação do tempo imposto a profissionais com agenda clínica restrita.

2.2.1 Heurísticas de Nielsen

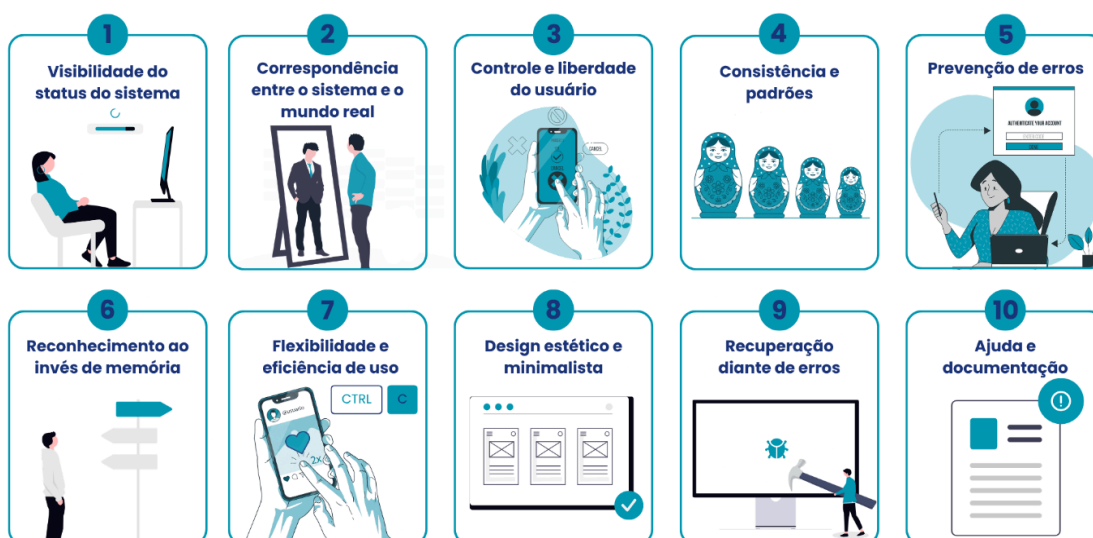
Nos primórdios do *design* de interfaces, testes com usuários ou modelagens formais eram raramente aplicados na prática da indústria por demandarem tempo excessivo, orçamentos elevados e grande expertise técnica. Consequentemente, os desenvolvedores viam-se forçados a avaliar sistemas baseando-se em regras criadas a partir de suas próprias intuições ou tentando seguir manuais de diretrizes exaustivos e complexos, que chegavam a conter mais de mil regras de *design* (Nielsen; Molich, 1990).

Esse cenário rudimentar foi transformado quando os pesquisadores Jakob Nielsen e Rolf Molich (1990) decidiram sistematizar e comprovar a eficácia da inspeção de usabilidade por avaliadores. Em vez de utilizar mil regras impraticáveis, eles reduziram as melhores práticas de usabilidade a um conjunto resumido de princípios fundamentais (as "heurísticas") e submeteram o método a rigorosos testes

empíricos, refinando-os anos depois para as dez heurísticas amplamente reconhecidas hoje (Nielsen, 1994) (Figura 1). Essa abordagem retirou a inspeção de usabilidade do campo da intuição e a consolidou como uma das ferramentas metodológicas mais eficazes e validadas da literatura para o *design* centrado no usuário.

As dez heurísticas de Nielsen (1994), que servem como guia de avaliação para este estudo, abrangem desde aspectos de visibilidade do estado do sistema e correspondência com o mundo real até prevenção de erros e flexibilidade de uso, conforme detalhado na Figura 1.

Figura 1 – As dez Heurísticas de Nielsen.



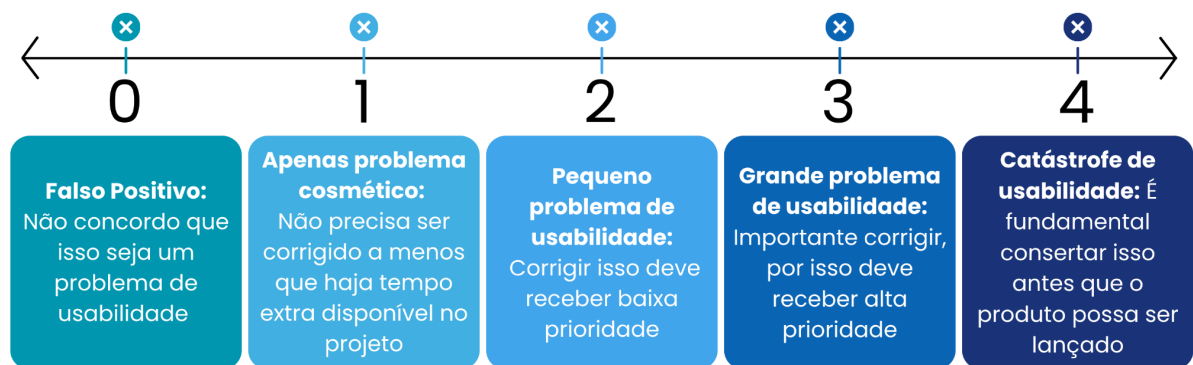
Fonte: Elaborada pelos autores com base em Nielsen (1994).

Tais princípios fundamentam a inspeção sistemática conduzida neste estudo. Contudo, uma limitação prática observada nas primeiras aplicações da avaliação heurística revelou que a simples identificação de uma lista de problemas, sem qualquer hierarquização, pouco auxiliava as equipes de desenvolvimento a decidir por onde começar as correções, sobretudo diante de restrições de tempo e recursos.

Para suprir essa lacuna, Nielsen (1994) propôs uma escala de severidade de cinco pontos (0 a 4), fundamentada na combinação de três fatores: a *frequência* com que o problema ocorre, o *impacto* que ele causa sobre o desempenho do usuário quando ocorre, e a *persistência* do problema, ou seja, se ele pode ser superado após uma única experiência ou se incomoda o usuário repetidamente. A importância

desta classificação reside justamente em transformar uma lista qualitativa de violações em um instrumento de priorização: ao atribuir um valor numérico a cada problema identificado, a escala permite distinguir falhas meramente cosméticas, que podem ser corrigidas apenas se houver tempo disponível, de catástrofes de usabilidade, cuja correção é imperativa antes que o sistema possa ser considerado adequado ao uso, orientando de forma objetiva quais achados desta avaliação heurística merecem maior atenção. Portanto, cada problema catalogado neste estudo recebe um escore de severidade conforme a escala de Nielsen, apresentada na Figura 2.

Figura 2 – A Escala de Severidade.



Fonte: Elaborada pelos autores com base em Nielsen (1994).

Definidos os instrumentos de catalogação e priorização, cabe considerar o alcance do método. Os experimentos empíricos conduzidos por Nielsen (1992) revelaram que avaliadores individuais identificam, em média, 35% dos problemas de usabilidade existentes em uma interface, proporção que cresce progressivamente, ainda que com retornos decrescentes, à medida que mais avaliadores são agregados à análise. No entanto, a adoção do método, mesmo por um único especialista, justificou-se cientificamente sob o argumento de que, em um contexto onde as empresas não procuravam por falhas, identificar parte dos problemas de forma barata, intuitiva e em estágios iniciais do projeto era infinitamente superior a não identificar problema algum (Nielsen, 1992).

Contudo, a validade do método em contextos de saúde digital está documentada em múltiplos estudos. Joshi et al. (2009) aplicaram as heurísticas de Nielsen a um sistema educacional de saúde (PEMT), identificando 127 violações,

com mediana de severidade 3, e demonstrando que o método permite identificar e priorizar problemas que requerem atenção urgente antes da implantação definitiva do sistema. Agnisarman et al. (2017) aplicaram avaliação heurística a sistemas de videoconferência clínica na perspectiva do profissional de saúde. Lilholt, Jensen e Hejlesen (2015) aplicaram o método a uma plataforma de telessaúde em contexto de ensaio clínico real. Esses dois últimos estudos demonstraram a aplicabilidade e sensibilidade do método para revelar problemas de interface em sistemas médicos de alta criticidade.

Nesse cenário, onde o contato direto com o paciente é substituído por dados em uma tela, a interface do *software* assume o papel de único canal sensorial do médico, tornando a usabilidade não um atributo acessório, mas um alicerce para a prática clínica. Entretanto, em teleoftalmologia especificamente, não foram identificados estudos que tenham aplicado avaliação heurística de Nielsen (1994) em plataformas de telediagnóstico assíncrono na perspectiva do especialista clínico, lacuna que o presente estudo se propõe a preencher.

Ainda assim, embora a avaliação heurística permita identificar e hierarquizar problemas de interface por meio da escala de severidade, o método não decompõe o mecanismo psicológico subjacente. Ou seja, a heurística aponta que um problema existe e quão grave ele é, mas não explica como esse problema se traduz, no plano cognitivo, em esforço mental desnecessário. Para compreender essa dinâmica, recorre-se à Teoria da Carga Cognitiva (Sweller, 1988), cujos princípios têm sido aplicados ao *design* de interfaces para compreender como a organização da informação na tela modula o esforço cognitivo do usuário, recurso do qual dependem tanto o manuseio do sistema quanto o raciocínio clínico.

2.3 A CARGA COGNITIVA

A Teoria da Carga Cognitiva (*Cognitive Load Theory - CLT*), desenvolvida por John Sweller na década de 1980, fundamenta-se na premissa de que a arquitetura cognitiva humana impõe limitações fundamentais ao processamento de informações. Sweller (1988) postula que a memória de trabalho, responsável pelo processamento consciente de informações, possui capacidade limitada, estimada por estudos contemporâneos (Cowan, 2001) em aproximadamente 4 ± 1 elementos simultâneos, e duração efêmera (20-30 segundos sem repetição mental ativa). Em contraste, a

memória de longo prazo é virtualmente ilimitada e armazena conhecimento na forma de *schemas*.

O trabalho de Sweller (1988) sugere que o fator primário que distingue especialistas clínicos de novatos na resolução de problemas é o conhecimento específico do domínio na forma de *schemas*, que são estruturas cognitivas que permitem ao profissional reconhecer um estado do problema como pertencente a uma categoria particular.

Quando o oftalmologista é forçado a interagir com uma interface de telediagnóstico de baixa usabilidade, a navegação no sistema deixa de ser automática e passa a exigir resolução ativa de problemas. Diante disso, o profissional recorre à análise de meios-fins (*means-ends analysis*), estratégia cognitiva descrita por Sweller (1988), na qual o usuário precisa processar simultaneamente o estado atual do sistema, o objetivo que deseja atingir e as ações necessárias para reduzir a diferença entre ambos.

Nesse contexto, depreende-se que esse processamento simultâneo impõe carga cognitiva pesada sobre a memória de trabalho, consumindo recursos que deveriam estar inteiramente dedicados ao raciocínio diagnóstico, aumentando o risco de erros operacionais (Young et al., 2014; Sweller, 1988) e potencialmente retardando o desenvolvimento de expertise em contextos de nova plataforma ou caso clínico particular (Krupinski, 2010).

Sweller, Van Merriënboer e Paas (1998) refinaram a CLT ao distinguir três tipos de carga cognitiva que atuam simultaneamente sobre a memória de trabalho:

1. *Carga Intrínseca*: Determinada pela complexidade inerente do material a ser aprendido ou da tarefa a ser executada. No contexto do telediagnóstico oftalmológico, a carga intrínseca corresponde ao raciocínio diagnóstico propriamente dito: identificar lesões retinianas ou correlacionar achados com patologias, por exemplo. Essa carga é irreduzível, pois deriva da natureza da tarefa clínica e do nível de expertise do profissional.
2. *Carga Extrínseca*: Representa o esforço cognitivo imposto pela forma como a informação é apresentada, não pela informação em si. É a carga desnecessária gerada por uma interface inadequada, por exemplo. No caso de plataformas de telediagnóstico, manifestações de carga extrínseca incluem: navegação confusa entre telas, informações essenciais dispersas em múltiplas janelas, elementos visuais que competem pela atenção sem

adicionar valor clínico. Diferentemente da carga intrínseca, a extrínseca é controlável pelo *design* e constitui o alvo primário de otimização ergonômica (Chandler e Sweller, 1991).

3. *Carga Germinal*: Refere-se ao esforço cognitivo produtivo dedicado à construção e automação de *schemas*. Em especialista clínico, a carga germinal manifesta-se quando o profissional integra novos padrões patológicos ao seu repertório ou refina *schemas* existentes através da prática. Os autores Van Merriënboer e Sweller (2005) argumentam que ambientes de aprendizagem eficazes devem minimizar a carga extrínseca para maximizar os recursos disponíveis para a carga germinal, especialmente em contextos de alta complexidade intrínseca.

A formulação aditiva da CLT estabelece que a carga total sobre a memória de trabalho é a soma das três cargas. Quando essa soma excede a capacidade cognitiva disponível ocorre a **sobrecarga**, resultando em queda de desempenho, aumento de erros e, em contextos prolongados, fadiga mental (Sweller et al., 2011).

A conexão teórica entre usabilidade e carga cognitiva fundamenta-se na proposição de que interfaces de baixa usabilidade impõem carga extrínseca desnecessária (Nielsen, 1993; Sweller, 1988). Em sistemas de saúde digital, essa proposição encontra respaldo empírico: Melnick et al. (2020) identificaram que a carga de trabalho mediava a relação entre baixa usabilidade de interface e *burnout* profissional, indicando que o esforço mental imposto pelo *design* do sistema tem consequências mensuráveis sobre o bem-estar do especialista clínico.

Neste estudo, a CLT funciona não como instrumento de medição, mas como lente interpretativa dos achados da avaliação heurística. Para isso, um efeito documentado pela teoria orientará diretamente a identificação de padrões geradores de carga extrínseca: o efeito de atenção dividida (*split-attention effect*), que descreve como a separação espacial ou temporal de informações relacionadas força o usuário a integrá-las mentalmente, consumindo recursos da memória de trabalho (Chandler; Sweller, 1992). Adicionalmente, o efeito de reversão de expertise (*expertise reversal effect*) funcionará como ressalva interpretativa: ao demonstrar que estratégias de simplificação eficazes para usuários novatos podem ser irrelevantes ou prejudiciais para especialistas clínicos experientes (Kalyuga et al., 2003).

Tendo estabelecido os fundamentos teóricos de usabilidade e carga cognitiva, cabe caracterizar o objeto específico de investigação deste estudo: a plataforma

EyerCloud.

2.4 A PLATAFORMA EYERCLOUD

A plataforma EyerCloud, desenvolvida pela empresa Phelcom Technologies, constitui um ecossistema integrado de telediagnóstico oftalmológico composto por *hardware* proprietário (câmera de retinografia não midriática Eyer) e *software web* para laudo remoto. O sistema opera em modelo assíncrono, modalidade na qual imagens são capturadas em unidades básicas de saúde e posteriormente analisadas por oftalmologistas (Labiris et al., 2018).

A arquitetura da EyerCloud compreende três módulos interdependentes: (1) Módulo de Captura, operado por técnicos em Unidades Básicas de Saúde (UBS), que gerencia a interface com a câmera Eyer, captura bilateral de imagens de retina em alta resolução (mínimo 5 megapixels) e coleta de dados demográficos do paciente via formulário digital; (2) Módulo de Laudo, sendo esse o objeto de estudo desta pesquisa, interface *web* utilizada pelos oftalmologistas para visualização de imagens e inserção de diagnóstico através de formulário baseado em protocolos clínicos; e (3) Módulo de Gestão, painel administrativo para acompanhamento de filas, métricas de produtividade e exportação de relatórios epidemiológicos.

O fluxo de trabalho do especialista clínico na plataforma *web* do módulo de laudo segue a sequência: (a) autenticação via login/senha; (b) visualização de fila de exames pendentes em ordem cronológica e botão de criar novo exame; (c) seleção de um exame específico, que abre a interface contendo as imagens bilaterais; (d) análise das imagens com ferramentas de zoom e *download* da imagem; (e) visualização de informações do paciente (nome, data de nascimento, prontuário, comorbidades); (f) preenchimento de formulário diagnóstico com campos estruturados e campo livre para observações; (g) envio do laudo, que é automaticamente disponibilizado para a unidade de saúde de origem via sistema; (h) visualização de pacientes em ordem alfabética e botão de adicionar paciente; (i) seleção do paciente, tela contendo o formulário para editar dados ou removê-lo; e (j) visualização de lista de exames realizados pelo paciente.

Por integrar *hardware*, *software* e protocolos clínicos em uma solução proprietária utilizada em programas de saúde pública brasileiros, a EyerCloud constitui caso representativo das plataformas de telediagnóstico de segunda

geração, nas quais a interface digital assume papel central na cadeia de cuidado oftalmológico.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 MODALIDADE DE PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se, quanto à abordagem, como qualitativa, uma vez que se preocupa com a compreensão de um fenômeno a partir da interpretação da pesquisadora sobre o objeto investigado (Creswell, 2014). Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva, pois visa descrever os problemas de usabilidade presentes em uma interface digital específica e discutir suas possíveis implicações para o esforço mental do especialista clínico, sem estabelecer relações causais testadas empiricamente (Gil, 2002). Em relação aos procedimentos técnicos, o trabalho adota o Estudo de Caso, caracterizado pela observação detalhada e aprofundada de uma unidade de análise específica, que neste trabalho é a plataforma *web* de telediagnóstico EyerCloud.

Importa delimitar que o escopo deste estudo não avalia a acurácia diagnóstica dos especialistas clínicos, nem compara desempenho clínico por complexidade de caso, nem coleta autorrelato de usabilidade ou de carga cognitiva percebida pelo especialista clínico. O objeto de análise é exclusivamente a interface, examinada por meio de inspeção da pesquisadora na função de avaliadora através da avaliação heurística; a discussão sobre carga cognitiva extrínseca é interpretativa e teórica, conduzida à luz da CLT, e não constitui medição do estado mental do clínico.

3.2 INSTRUMENTOS E PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

Este estudo adota um processo de avaliação formalizado, baseado no modelo proposto por Lecaros et al. (2022), que a partir de análise comparativa da literatura sistematizou um fluxo de avaliação heurística estruturado em fases, validado por juízo de avaliadores experientes em IHC. A adoção de um processo formalizado, em vez de uma inspeção não estruturada, mitiga um risco documentado na própria literatura que fundamenta o método: a ausência de um processo comum e a interpretação livre por parte do avaliador aumentam a probabilidade de execução

inadequada da inspeção. O fluxo proposto pelos autores foi adaptado para o contexto de avaliadora especialista única, consolidando-se em quatro fases conforme a Figura 3:

Figura 3 – Fases adaptadas do método de Lecaros et al. (2022)



Fonte: Elaborada pelos autores com base em Lecaros et al. (2022).

Fase 1: Planejamento: O fluxo real de interação do especialista na plataforma EyerCloud foi mapeado e descrito em sequência de tarefas citadas na seção 2.4. Esse roteiro estruturado delimita o escopo da inspeção, garantindo que nenhuma etapa da interação seja negligenciada.

Fase 2: Familiarização com o Sistema: Antes da inspeção formal, a pesquisadora responsável pela avaliação realizou uma navegação exploratória livre pela plataforma, sem registro de problemas, com o objetivo exclusivo de compreender a arquitetura geral do sistema, o vocabulário da interface e o fluxo de interação. Essa etapa, prevista tanto em Lecaros et al. (2022) quanto na literatura clássica do método (Nielsen, 1993), é necessária para evitar que a desorientação de primeiro contato com a plataforma seja confundida com violação heurística, o que comprometeria a validade dos achados.

Fase 3: Avaliação: A pesquisadora responsável pela avaliação executou a inspeção seguindo o roteiro de tarefas definido na Fase 1, percorrendo a interface duas vezes. Na primeira passagem obteve uma visão geral do fluxo; na segunda, examinou cada elemento de interface isoladamente contra cada uma das dez heurísticas de Nielsen (1994). Cada problema identificado foi documentado com: (a) captura de tela da falha; (b) heurística violada; (c) descrição da violação; (d) em qual tarefa ocorreu.

Fase 4: Revisão Crítica: Concluída a inspeção, todos os problemas catalogados foram revisados pela pesquisadora responsável pela avaliação com o objetivo de verificar sobreposições, consolidar descrições ambíguas e confirmar que cada item registrado constitui uma violação heurística distinta. Apenas após essa

revisão cada problema recebeu sua nota na escala de severidade de Nielsen (1994), de cinco pontos (0 a 4), permitindo priorizar objetivamente quais achados representam maior risco à usabilidade da plataforma.

3.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DOS DADOS

3.3.1 Análise Descritiva dos Problemas de Usabilidade

Os achados catalogados ao final da Fase 4 (captura de tela, heurística violada, descrição, severidade e em qual tarefa ocorreu) são organizados e sintetizados de três formas complementares: (a) distribuição de frequência das violações por heurística de Nielsen (1994), permitindo identificar quais dos dez princípios são mais recorrentemente infringidos na interface; (b) distribuição por nível de severidade (Nielsen, 1994), permitindo hierarquizar a urgência de correção; (c) mapeamento das violações por tarefas de interação, permitindo identificar se os problemas se concentram em pontos específicos do fluxo de laudo ou se distribuem de forma difusa.

3.3.2 Análise Interpretativa à Luz da Teoria da Carga Cognitiva

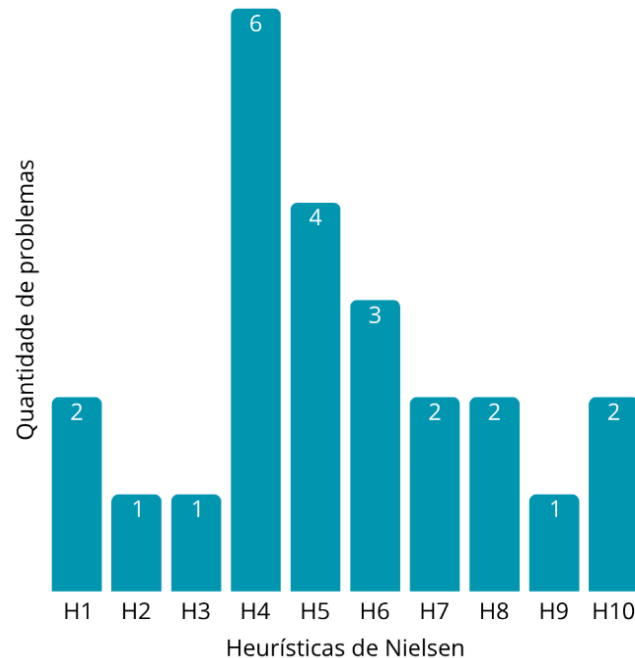
Para conectar os achados da inspeção às possíveis implicações teóricas para a carga cognitiva extrínseca, adota-se a abordagem de análise de conteúdo dirigida (Hsieh; Shannon, 2005), na qual as violações heurísticas catalogadas são interpretadas à luz de categorias teóricas definidas neste caso, os efeitos da CLT estabelecidos na seção 2.3: o efeito de atenção dividida (Chandler; Sweller, 1992) e, como ressalva interpretativa, o efeito de reversão de expertise (Kalyuga et al., 2003). Para cada violação, discute-se como ela pode gerar carga extrínseca desnecessária ao especialista, tendo esses efeitos como referência interpretativa. O produto desta etapa é discursivo, não uma medida numérica de carga cognitiva.

4 RESULTADOS

A avaliação heurística da interface de telediagnóstico da plataforma EyerCloud identificou 24 problemas de usabilidade distribuídos entre todas as 10

heurísticas de Nielsen (1994). A Figura 4 apresenta a distribuição dos problemas por heurística, evidenciando as categorias com maior concentração de violações.

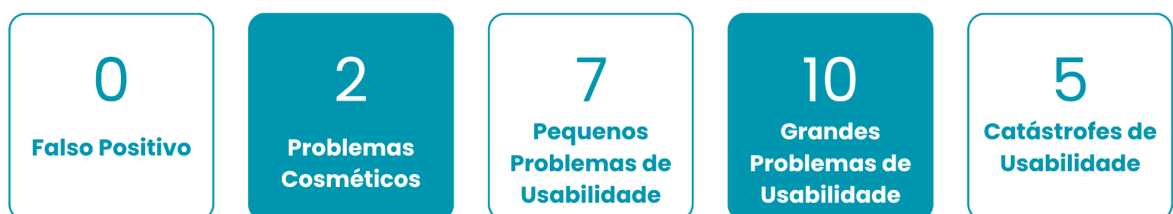
Figura 4 – Distribuição dos problemas por Heurística de Nielsen.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

No que diz respeito à severidade, os problemas foram classificados segundo a escala de Nielsen (1994), variando de 0 (falso positivo) a 4 (catástrofe de usabilidade). A Figura 5 apresenta a distribuição dos problemas por nível de severidade, permitindo identificar o perfil de criticidade das violações encontradas na interface.

Figura 5 – Distribuição dos problemas por Nível de Severidade.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O Quadro 1 apresenta a relação completa dos problemas identificados, organizados por tarefa do fluxo de telediagnóstico, contendo para cada entrada: o código do problema, a heurística violada, a descrição sintética da violação e o escore de severidade atribuído.

Quadro 1 – Catalogação de problemas

Tarefa do fluxo	Código do problema	Heurística Violada	Descrição Sintética da Violação	Severidade
Problemas Globais da Interface	P1	H8: Design estético e minimalista	Banner persistente de alerta de armazenamento (100%) posicionado com máxima saliência, competindo visualmente com as tarefas clínicas ao longo de todo o fluxo.	3
	P2	H4: Consistência e padrões	O ícone de setas circulares, universalmente reconhecido como "atualizar", é utilizado de forma inconsistente no cabeçalho para a ação estrutural de "troca de clínica".	2
	P3	H4: Consistência e padrões	O controle de "Modo Escuro" apresenta uma zona morta no próprio indicador móvel, não reconhecendo o clique no elemento que possui maior sinalização visual de interatividade.	1
	P4	H3: Controle e liberdade do usuário	Ao clicar no botão que sinaliza a ação de "Assinar Plano", não há uma "saída de emergência" interna no sistema para reverter a ação, forçando o uso de recursos externos (voltar do navegador).	3
	P5	H5: Prevenção de erros	Botão de <i>logout</i> localizado em área de acesso recorrente encerra a sessão ativada instantaneamente, sem exibir nenhuma etapa de confirmação, o que agrava a chance de interrupção acidental.	2

Autenticação via login/senha (a)	P6	H9: Recuperação diante de erros	A notificação de credenciais inválidas aparece no rodapé (área de baixa saliência visual), não indica qual campo está incorreto e não fornece orientação construtiva para a solução.	3
	P7	H8: Design estético e minimalista	A tela de login destina mais de 50% de seu espaço visual a um banner promocional (" <i>New updates available</i> "), gerando ruído e ofuscando a área principal de autenticação do especialista.	2
Visualização de fila de exames pendentes em ordem cronológica (b)	P8	H1: Visibilidade do status do sistema	A lista de exames pendentes omite completamente os marcadores visuais do status de trabalho (pendente, em andamento, concluído), forçando o profissional a usar recordação ativa ao invés de reconhecimento.	4
	P9	H5: Prevenção de erros	O botão "Selecionar" no calendário carece de destaque visual. Sua omissão resulta em um preenchimento nulo silencioso, exibindo um falso estado de filtro ativo sem alertar o clínico.	3
	P10	H4: Consistência e padrões	O campo de busca textual e as opções de filtro categórico (data/tipo) estão agrupados, sugerindo submissão combinada, mas o sistema exige que sejam executados em etapas sequenciais separadas.	2
	P11	H5: Prevenção de erros	Ao filtrar resultados por data e combinar a pesquisa textual do nome de pacientes, o autocompletar da barra de pesquisa sugere pacientes cujos exames estão fora do filtro de data ativa. Ao clicar na sugestão, o sistema induz o usuário a um erro (ausência de resultados).	3
	P12	H4:	Ao posicionar o mouse sobre	1

		Consistência e padrões	as opções do menu de exportação, o cursor exibe o ícone de seleção de texto ao invés do indicador de interatividade (ponteiro/mão), contrariando convenções <i>web</i> .	
	P13	H1: Visibilidade do status do sistema	O indicador do módulo de Inteligência Artificial exibe frequentemente a cor branca de forma ambígua, agrupando condições excludentes (ausência de análise, falha ou incompatibilidade) sem distingui-las para o clínico. Além de não deixar claro o significado das demais cores(verde, amarelo/vermelho)	3
	P14	H10: Ajuda e documentação	Inexistência de documentação ou <i>tooltip</i> claro e focado que explique os critérios de elegibilidade para triagem automatizada e que sane a ambiguidade do estado branco do indicador de IA.	3
	P15	H4: Consistência e padrões	O sistema utiliza o mesmo padrão visual (contêiner em formato de pílula) tanto para indicadores passivos ("IA") quanto para botões interativos ("Compartilhar"), falhando em diferenciar visualmente o que é clicável.	2
Seleção de um exame específico (c)	P16	H6: Reconhecimento ao invés de memória	A fragmentação da interface em abas excludentes (Imagens, Informações, Laudo) separa espacialmente dados interdependentes, forçando o clínico a reter achados na memória ao transitar entre as telas.	4
	P17	H6: Reconhecimento ao invés de memória	A tira de miniaturas exibe os exames de forma linear, sem separação anatômica entre OD e OE, rompendo com o modelo clínico de	4

Análise das imagens com ferramentas (d)			comparação bilateral e forçando a memorização espacial das imagens.	
	P18	H6: Reconhecimento ao invés de memória	O visualizador em tela cheia isola as imagens, impedindo a visualização simultânea dos dados clínicos e do formulário, forçando a alternância de telas e a memorização de curto prazo.	4
Visualização de informações do paciente do exame (e)	P19	H4: Consistência e padrões	Campos de dados do paciente são exibidos com aparência de caixas de texto, mas bloqueados para edição, forçando o especialista a abandonar a tela de laudo para corrigir erros cadastrais.	3
	P20	H7: Flexibilidade e eficiência de uso	Ausência de atalho (botão de edição contextual) junto às informações do paciente na tela de laudo, obrigando o usuário a realizar uma navegação longa e ineficiente por outras telas para corrigir dados.	2
Preenchimento de formulário diagnóstico (f)	P21	H2: Correspondência entre o sistema e o mundo real	Utilização de jargões técnicos de sistema ("tratar panorâmicas individualmente", "colunas de capturas") em vez da linguagem natural e clara, dificultando a previsão do resultado no laudo.	3
	P22	H10: Ajuda e documentação	A interface oferece modelos de laudo (Simplificado e Textual) sem critérios de uso explícitos, forçando a memorização e induzindo à quebra de padronização dos registros clínicos.	3
Visualização de pacientes em ordem alfabética (h)	P23	H5: Prevenção de erros	O sistema permite a criação de múltiplos cadastros de pacientes com o mesmo nome, sendo este o único campo obrigatório, sem exigir ou cruzar dados de identificação única (como CPF ou data de nascimento).	4

Seleção do paciente (i)	P24	H7: Flexibilidade e eficiência de uso	O campo CEP está posicionado ao final do formulário de endereço, impedindo o preenchimento automático prévio dos demais campos e forçando a digitação manual extensa.	2
-------------------------	-----	---------------------------------------	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Vale ressaltar que não foram encontrados problemas nas tarefas de envio do laudo e na visualização de lista de exames por paciente.

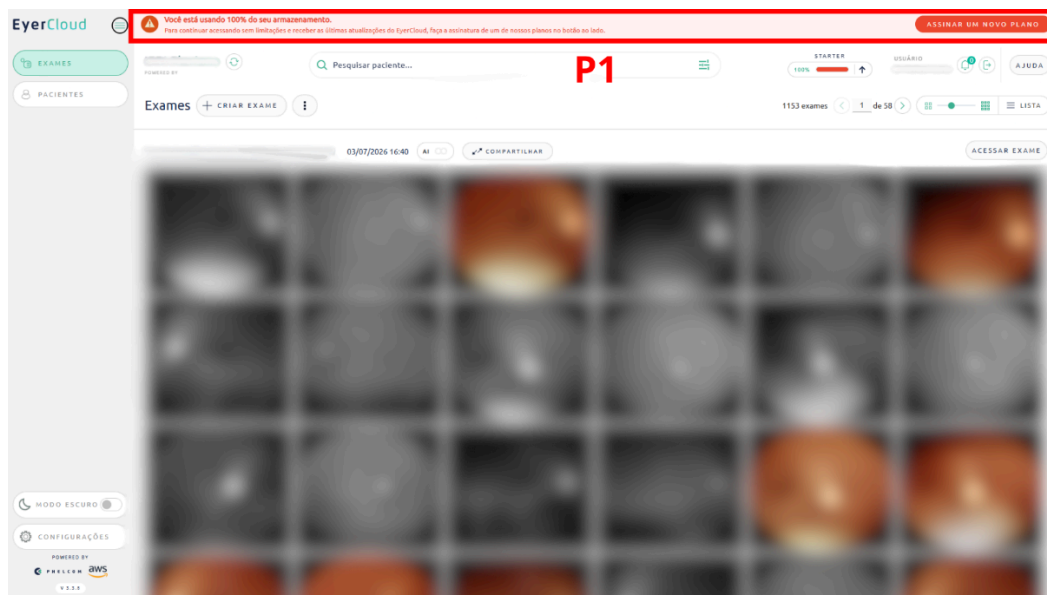
4.1 PROBLEMAS QUE IMPLICAM DIRETAMENTE PARA A CARGA COGNITIVA DO CLÍNICO

Os problemas de alta criticidade são discutidos individualmente a seguir, à luz dos efeitos documentados pela Teoria da Carga Cognitiva (Sweller et al., 1998), com ênfase nos padrões de *design* que tendem a ampliar a carga extrínseca imposta ao especialista durante o telediagnóstico.

4.1.1 Competição visual contínua por banner administrativo persistente (P1)

O banner de alerta de armazenamento ("Você está usando 100% do seu armazenamento") é exibido de forma persistente no topo de quase todas as telas do módulo de laudo, ocupando a posição de maior saliência visual da interface (Figura 6). Essa escolha de *design* coloca uma notificação de natureza administrativa em competição visual direta com os elementos clínicos da interface, sem qualquer distinção hierárquica entre urgência administrativa e urgência clínica.

Figura 6 – Banner de alerta de armazenamento.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026). Imagens de retinografia borradas para preservar a confidencialidade dos dados dos pacientes.

A violação enquadra-se na Heurística 8, cujo princípio estabelece que cada unidade de informação irrelevante à tarefa em execução compete com as unidades relevantes e reduz sua visibilidade relativa (Nielsen, 1994). No contexto do módulo de laudo, a tarefa primária do especialista é de natureza exclusivamente clínica (identificar, analisar e laudar exames oftalmológicos) e a limitação de armazenamento não constitui informação relevante para a execução dessa tarefa. Ao posicionar um alerta administrativo com máximo peso visual em todas as telas do fluxo diagnóstico, o sistema trata como equivalentes dois tipos de urgência que são funcionalmente distintos para o especialista, impondo processamento cognitivo contínuo de uma informação que não contribui para o raciocínio clínico.

A persistência do banner ao longo de todo o fluxo agrava a violação. Diferentemente de um alerta pontual que o usuário pode ignorar após o primeiro contato, a presença permanente do elemento obriga o especialista a filtrá-lo cognitivamente. Esse padrão corresponde ao que Sweller (1988) descreve como fonte de carga extrínseca contínua: um estímulo visual competitivo que não pode ser suprimido pelo usuário e que consome recursos da memória de trabalho de forma cumulativa ao longo da jornada de laudos.

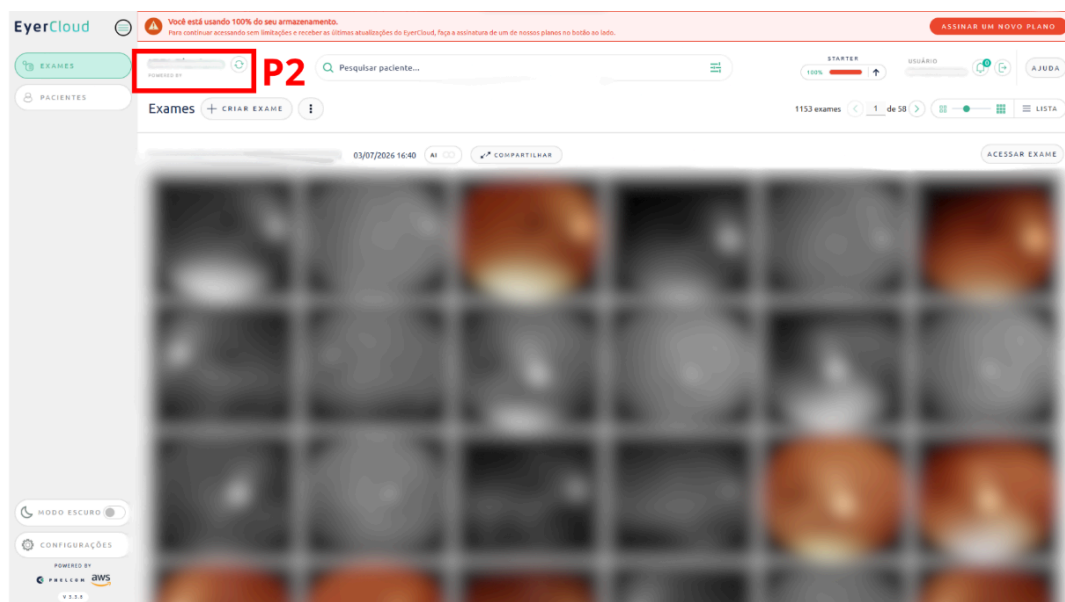
A severidade foi classificada como 3, pela combinação de dois fatores estabelecidos por Nielsen (1994) como determinantes do grau de severidade: a

frequência, dado que o banner está presente em todas as telas do fluxo diagnóstico sem possibilidade de dispensa pelo usuário, e o impacto, dado que sua posição de máxima saliência visual impõe processamento cognitivo competitivo de forma contínua ao longo de toda a sessão de laudos. A persistência irrestrita do elemento ao longo do fluxo impede que o especialista o filtre cognitivamente após o primeiro contato, diferenciando esse problema de alertas pontuais cujo impacto se esgota na primeira exposição.

4.1.2 Ambiguidade de ícone gerando análise de meios-fins (P2)

No cabeçalho da plataforma, o nome da clínica atual é acompanhado por um ícone de duas setas circulares, o mesmo elemento gráfico que é associado, em *softwares web* e aplicativos móveis, à ação de atualizar/sincronizar conteúdo. Na EyerCloud, entretanto, esse ícone corresponde à ação de trocar a clínica atual por uma outra dentro da mesma conta, uma função de troca de contexto organizacional e não de atualização de dados (Figura 7).

Figura 7 – Ícone não sugestivo para alternar clínica.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026). Imagens de retinografia borradas para preservar a confidencialidade dos dados dos pacientes.

A violação primária enquadra-se na Heurística 4, que estabelece que os usuários não devem precisar questionar se diferentes palavras, situações ou ações

significam a mesma coisa, devendo o sistema seguir as convenções já estabelecidas pela experiência prévia do usuário com outras plataformas (Nielsen, 1994). O ícone de setas circulares carrega um significado consolidado fora da EyerCloud, de modo que sua reutilização para uma função estruturalmente distinta (troca de clínica) rompe a convenção que o usuário já traz internalizada de outros sistemas que utiliza rotineiramente, obrigando-o a desconfirmar uma expectativa válida antes de agir.

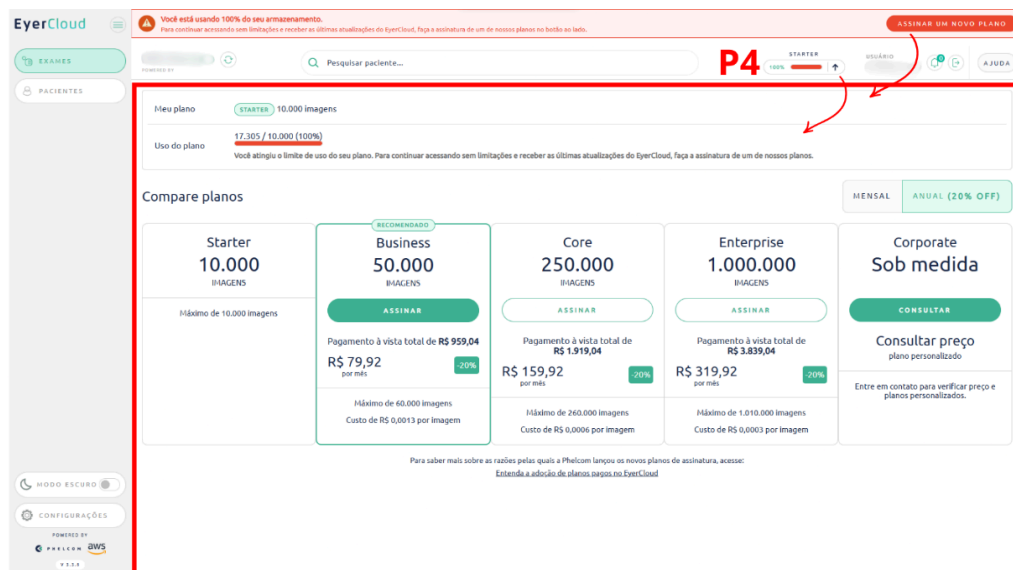
Do ponto de vista da carga cognitiva, esse descompasso entre convenção esperada e comportamento real do sistema impõe ao clínico uma etapa adicional de verificação dedutiva antes da ação (clique e observar o resultado, ou hesitar e evitar o clique por receio de disparar uma atualização indesejada), ativando a mesma dinâmica de análise de meios-fins descrita por Sweller (1988) como fonte de carga extrínseca: recursos da memória de trabalho são consumidos na resolução de uma ambiguidade de interface, e não na tarefa clínica.

A severidade foi classificada como 2 (pequeno problema de usabilidade), pela combinação dos fatores de frequência e impacto (Nielsen, 1994): o ícone está presente de forma persistente no cabeçalho, elevando a frequência de exposição à ambiguidade, mas o impacto imediato tende a se limitar à hesitação ou à necessidade de tentativa exploratória, sem consequência destrutiva ou irreversível associada ao clique indevido.

4.1.3 Análise de meios-fins por ausência de rota de retorno (P4)

Ao clicar no botão "Assinar", a interface não oferece nenhum controle interno para retornar ao estado anterior. A única forma de desfazer a ação é recorrer a mecanismos externos à própria interface: o botão "voltar" do navegador ou a troca de aba, artifícios que o sistema não disponibiliza nem sinaliza como caminho de saída (Figura 8).

Figura 8 – Interface com ofertas de planos sem opção de saída.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026).

A violação enquadra-se na Heurística 3 (controle e liberdade do usuário), que estabelece que usuários frequentemente escolhem funções do sistema por engano e precisam de uma "saída de emergência" claramente identificada para abandonar o estado indesejado sem precisar percorrer um diálogo extenso (Nielsen, 1994). A ausência desse mecanismo delega ao usuário a responsabilidade de conhecer e operar um recurso alternativo para reverter uma ação iniciada.

Do ponto de vista da carga cognitiva, essa ausência de rota de escape interna força o especialista a interromper o fluxo de raciocínio da tela atual e recorrer a uma estratégia de recuperação não prevista pelo sistema, ativando novamente a análise de meios-fins descrita por Sweller (1988) como fonte de carga extrínseca, o esforço não está mais em decidir o que fazer na tela de planos, mas em descobrir como sair dela.

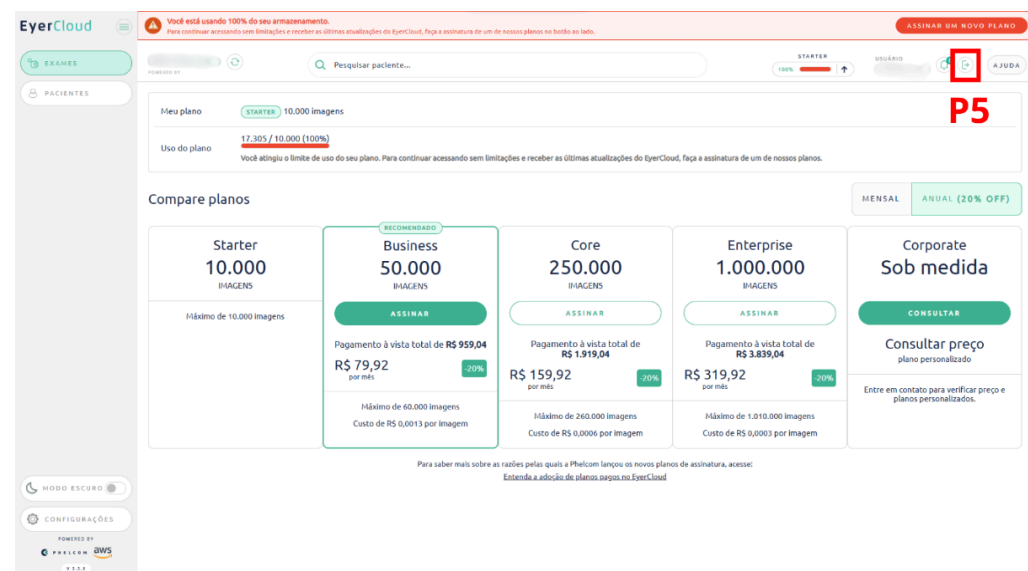
A severidade foi classificada como 3 (grande problema de usabilidade) pela combinação do impacto sobre o fluxo diagnóstico e da persistência do problema: uma vez acionada a tela de planos, o especialista não dispõe de nenhuma rota de saída interna, sendo obrigado a recorrer a recursos externos ao sistema, outra aba do navegador ou o botão de voltar do navegador, para retomar o fluxo interrompido. Embora a frequência de acionamento acidental possa ser considerada baixa dado o rótulo textual explícito do botão, o impacto quando ocorre é desproporcionalmente

alto: o especialista é extraído do contexto clínico sem possibilidade de retorno direto, tendo que reorientar-se no fluxo de laudos após a recuperação.

4.1.4 Reconstituição de tarefa por *logout* sem confirmação (P5)

O botão de *logout*, localizado no cabeçalho global da plataforma ao lado do sino de notificações, executa o encerramento da sessão imediatamente ao clicar, sem qualquer etapa de confirmação intermediária (Figura 9). Não há distinção entre um clique intencional e um clique acidental, ambos produzem o mesmo resultado irreversível: o encerramento da sessão ativa.

Figura 9 – Ícone para *logout*.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026).

A violação enquadra-se na Heurística 5 (Prevenção de erros), que estabelece que um *design* cuidadoso, capaz de impedir que o problema ocorra, é preferível até mesmo a boas mensagens de erro; ações capazes de gerar condições propensas a erro devem ser eliminadas ou, quando isso não for possível, apresentar ao usuário uma opção de confirmação antes que ele efetive o comprometimento com a ação (Nielsen, 1994). O *logout* é uma ação de alto custo de reversão, porque sua execução acidental interrompe qualquer tarefa em andamento, e nesse caso, sem oferecer ao usuário um alerta sobre esse custo antes de executá-la.

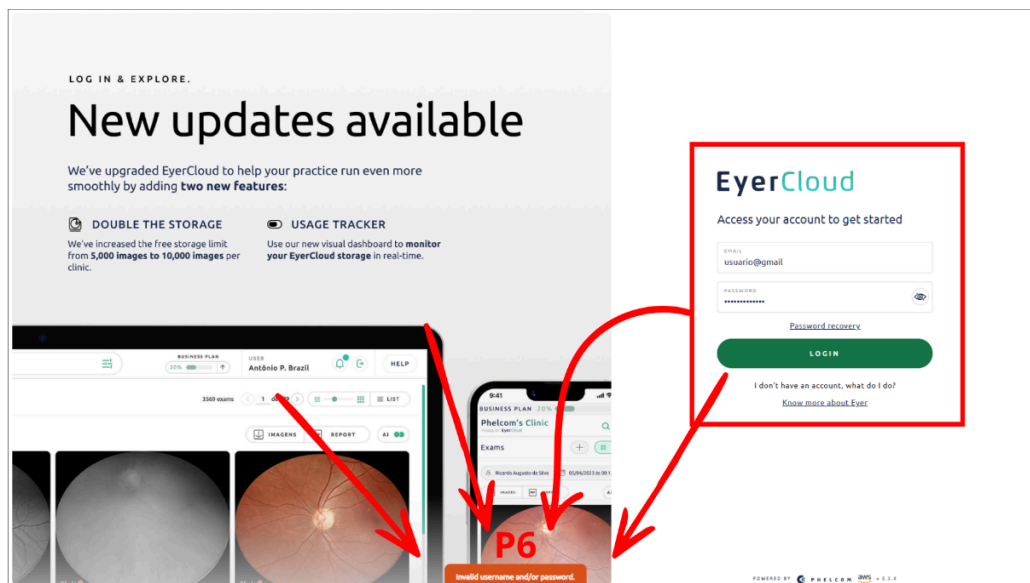
Do ponto de vista da carga cognitiva, esse tipo de ação sem barreira de confirmação é particularmente sensível no contexto do especialista clínico, cujo fluxo de trabalho já foi caracterizado neste estudo como uma sequência estruturada de etapas até o envio do laudo (seção 2.4). Um *logout* acidental no meio do preenchimento do formulário diagnóstico obrigaria o especialista a reconstituir mentalmente o estado da tarefa interrompida ao reautenticar-se, reintroduzindo carga extrínseca não relacionada ao raciocínio clínico (Sweller, 1988).

A severidade foi classificada como 2 (pequeno problema de usabilidade), pela combinação dos fatores de frequência e impacto (Nielsen, 1994): a ação exige um clique direcionado a um botão com rótulo e posição distintos dos demais elementos do cabeçalho, o que reduz a probabilidade de acionamento acidental, e o impacto, embora relevante, é mitigado pela possibilidade de recuperação por meio de reautenticação, ainda que às custas da reconstituição mental do estado da tarefa interrompida.

4.1.5 Análise de meios-fins por erro de autenticação sem orientação (P6)

Ao submeter credenciais inválidas na tela de login da plataforma EyerCloud, o sistema exibe uma notificação de erro sob a forma de alerta centralizado na extremidade inferior da tela, área de baixa saliência visual em interfaces *web*, onde o olhar do usuário tende a não se fixar espontaneamente durante a interação com formulários (Figura 10). Além do posicionamento problemático, a mensagem exibida não oferece orientação sobre como proceder para corrigi-lo.

Figura 10 – Notificação de erro na tela de *login*.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026).

A violação primária enquadra-se na Heurística 9, que estabelece três critérios cumulativos para mensagens de erro eficazes: devem ser expressas em linguagem simples, indicar com precisão o problema e sugerir construtivamente uma solução (Nielsen, 1994). Critérios que o alerta não satisfaz pela interface analisada: a ausência de indicação do campo inválido impede que o usuário reconheça imediatamente a origem do erro ou até mesmo entenda que ocorreu um erro em razão da posição do alerta, estratégia que, segundo a CLT, ativa a análise de meios-fins (Sweller, 1988), consumindo recursos da memória de trabalho que, em um acesso pré-diagnóstico, deveriam estar disponíveis para a tarefa clínica subsequente.

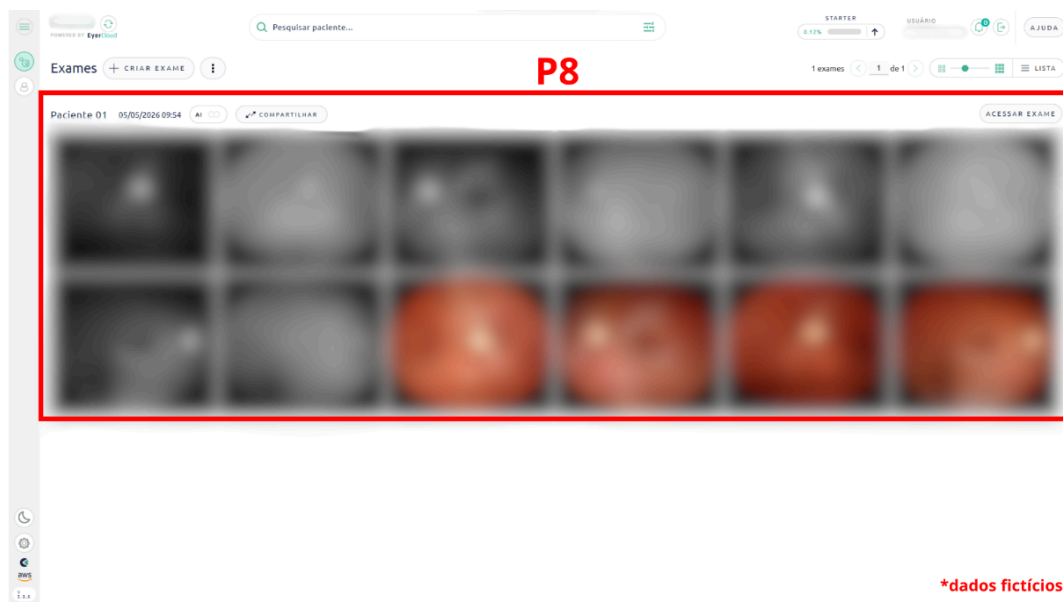
A severidade foi classificada como 3 (grande problema de usabilidade) pela combinação de dois fatores de agravamento: o baixo índice de notabilidade do alerta, que aumenta o tempo até o reconhecimento do erro e prolonga o ciclo de tentativa e erro. A relevância clínica desse desequilíbrio é acentuada pelo perfil do usuário da plataforma, o oftalmologista especialista, que acessa o sistema de forma recorrente em contexto de pressão temporal e demanda cognitiva elevada.

4.1.6 Recordação ativa por ausência de status na fila (P8)

A fila exibe os exames pendentes de laudo sem qualquer marcador de status

(pendente, em andamento ou concluído). Todos os itens da lista são apresentados com o mesmo peso visual, independentemente da etapa em que se encontram no ciclo de trabalho do especialista (Figura 11).

Figura 11 – Exames pendentes sem status explícito.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026). Imagens de retinografia borradas para preservar a confidencialidade dos dados dos pacientes.

A violação enquadra-se na Heurística 1 (Visibilidade do status do sistema), cujo princípio estabelece que o sistema deve manter o usuário informado sobre o que está ocorrendo, por meio de *feedback* adequado e em tempo razoável (Nielsen, 1994). Nesse caso, o princípio se aplica não ao *feedback* de uma ação pontual, mas à necessidade de o sistema comunicar o estado de cada item dentro de uma lista de trabalho, o especialista precisa saber em que etapa do ciclo de laudo cada exame se encontra. Sem esse *feedback*, ele precisa reconstituir mentalmente qual exame já foi laudado e qual ainda demanda ação, informação que o sistema já possui, mas não expõe.

Do ponto de vista da carga cognitiva, essa ausência de sinalização transforma uma tarefa que deveria ser de reconhecimento imediato (identificar visualmente o que falta laudar) em uma tarefa de recordação ativa, dependente da memória do próprio especialista ou de conferência manual item a item, o inverso do que a literatura de usabilidade recomenda para reduzir esforço mental desnecessário em tarefas de triagem sequencial. Esse desvio de reconhecimento

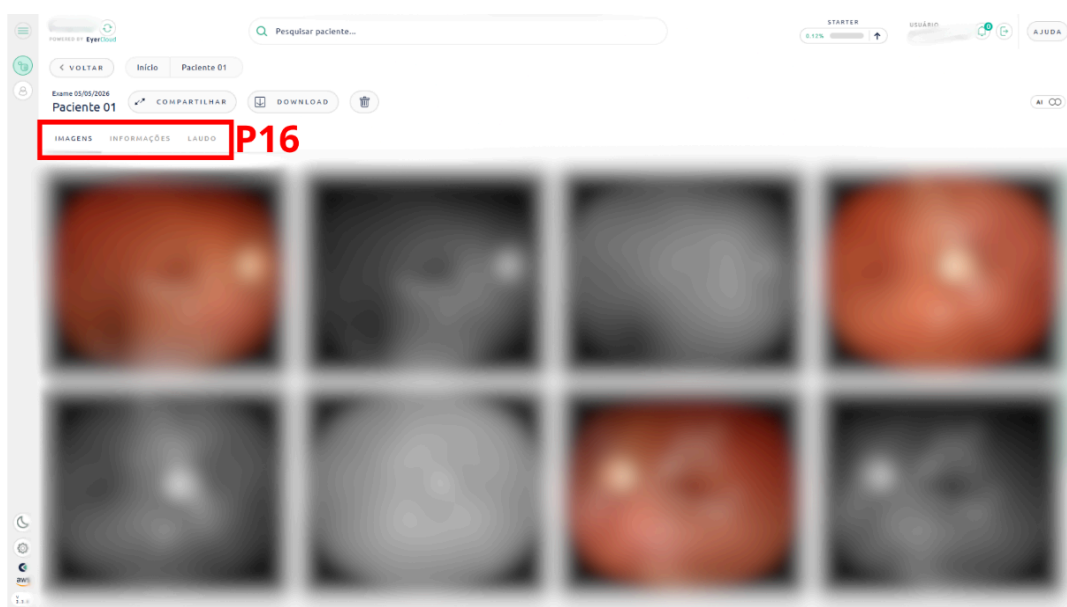
para recordação é agravado pelo volume de exames em fluxos assíncronos de teleoftalmologia, nos quais a fila tende a acumular múltiplos itens em diferentes estágios simultaneamente, ampliando a probabilidade de omissão involuntária de casos não laudados ou de retrabalho sobre casos já concluídos.

A severidade foi classificada como 4 (catástrofe de usabilidade), pela ausência de qualquer mecanismo compensatório capaz de mitigar a lacuna identificada. Sem esse recurso alternativo, a correção deixa de ser desejável e passa a ser imperativa antes que a plataforma possa ser considerada plenamente adequada ao uso do especialista clínico (Nielsen, 1994).

4.1.7 Atenção dividida por fragmentação em abas excludentes (P16)

A interface de laudo organiza as informações do exame em três abas excludentes (Imagens, Informações e Laudo), de modo que o acesso a qualquer uma delas oculta completamente o conteúdo das demais. Para formular o diagnóstico, o especialista clínico precisa correlacionar simultaneamente os achados imagéticos, os dados clínicos do paciente e os campos do formulário diagnóstico, informações que o sistema fragmenta em telas que não podem ser visualizadas ao mesmo tempo (Figura 12).

Figura 12 – Abas de um exame.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026). Imagens de retinografia borradas para preservar a confidencialidade dos dados dos pacientes.

A violação enquadra-se na Heurística 6 (Reconhecimento ao invés de memória), que estabelece que o sistema deve minimizar a carga de memória do usuário tornando objetos, ações e opções visíveis, de modo que o profissional não precise memorizar informações de uma parte do sistema para usá-las em outra (Nielsen, 1994). Nesse caso, o especialista é sistematicamente forçado a reter achados imagéticos na memória de trabalho enquanto navega para a aba de laudo, ou a retornar às imagens para confirmar detalhes já visualizados.

Essa configuração é o exemplo mais direto, em toda a interface analisada, do efeito de atenção dividida descrito por Chandler e Sweller (1992): quando informações que precisam ser integradas mentalmente estão separadas espacialmente o usuário é forçado a realizar essa integração na memória de trabalho, consumindo recursos que, no contexto do telediagnóstico oftalmológico, deveriam estar inteiramente dedicados ao raciocínio diagnóstico (carga intrínseca).

A severidade foi classificada como 4 (catástrofe de usabilidade): a fragmentação afeta diretamente a etapa central do fluxo diagnóstico, está presente em cada exame laudado e não possui mecanismo compensatório interno. Sua correção é imperativa (Nielsen, 1994).

4.1.8 Atenção dividida e reversão de expertise por ausência de separação OD/OE (P17)

A tira de miniaturas exibe as imagens capturadas de forma linear e contínua, sem qualquer separação visual ou rotulação que distinga as imagens do olho direito (OD) das imagens do olho esquerdo (OE). O especialista clínico precisa identificar a lateralidade de cada imagem por atributos visuais intrínsecos ou por memorização da posição relativa na sequência, sem que o sistema ofereça esse referencial de forma explícita (Figura 13).

Figura 13 – Miniaturas sem etiquetas.



Fonte: Captura de tela elaborada pelos autores a partir de EyerCloud (2026). Imagens de retinografia borradas para preservar a confidencialidade dos dados dos pacientes.

A violação enquadra-se na Heurística 6. A comparação bilateral OD/OE não é uma preferência de organização, é o modelo clínico padrão de avaliação retiniana, no qual a leitura de um olho só adquire significado diagnóstico pleno em relação ao outro.

O efeito de atenção dividida (Chandler; Sweller, 1992) opera aqui em dimensão temporal: o especialista precisa reter na memória de trabalho a identidade e a posição de imagens já vistas para compará-las com as subsequentes, em vez de ter os dois conjuntos (OD e OE) organizados de forma que a comparação bilateral seja imediata. O efeito de reversão de expertise (Kalyuga et al., 2003) é pertinente: o *schema* de comparação bilateral está tão automatizado no especialista que qualquer organização que o contrarie não apenas não ajuda, gera interferência ativa no reconhecimento, impondo esforço que não existiria em uma interface que respeitasse o modelo clínico do usuário.

A severidade foi classificada como 4: a ausência de separação anatômica afeta cada exame bilateral laudado, não possui compensação visual interna e compromete diretamente a etapa de análise de imagens, etapa de maior densidade diagnóstica do fluxo.

4.1.9 Atenção dividida por isolamento do visualizador em tela cheia (P18)

O visualizador em tela cheia, acionado para ampliar as imagens retinianas, ocupa a totalidade da área de exibição, como pode ser analisado na Figura 13, suprimindo da tela todos os demais elementos da interface (dados clínicos do paciente, histórico e formulário diagnóstico). O retorno a esses elementos exige o fechamento do visualizador e a navegação manual de volta à aba correspondente.

A violação enquadra-se na Heurística 6, completando o padrão sistemático de fragmentação já identificado em P16 e P17. Enquanto P16 separa as informações em abas excludentes e P17 omite o referencial anatômico nas miniaturas, P18 elimina completamente o contexto clínico no momento de maior demanda diagnóstica, a análise detalhada da imagem em alta resolução. É exatamente nesse momento que o especialista mais necessita correlacionar o que vê na imagem com os dados do paciente (comorbidades, histórico, queixa principal), e é exatamente nesse momento que o sistema os torna inacessíveis.

Os três problemas (P16, P17, P18) configuram, um padrão arquitetural de *design* contrário ao efeito de atenção dividida documentado por Chandler e Sweller (1992): em vez de integrar espacialmente informações que precisam ser processadas conjuntamente, a interface as separa em camadas excludentes, delegando à memória de trabalho do especialista a tarefa de integração que competiria ao *design*. Em um contexto de alta carga intrínseca (como o raciocínio diagnóstico oftalmológico), essa delegação sistemática ao especialista representa risco cumulativo: a cada ciclo de alternância entre visualizador e dados clínicos, recursos da memória de trabalho são consumidos em gerenciamento de interface, reduzindo a capacidade disponível para o raciocínio clínico (Sweller et al., 1998).

A severidade foi classificada como 4: o problema ocorre em cada análise de imagem ampliada, afeta a etapa de maior densidade diagnóstica do fluxo e não possui mecanismo de compensação que mitigue o isolamento imposto pelo visualizador.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo identificar os problemas de usabilidade presentes na interface de telediagnóstico oftalmológico assíncrono da plataforma EyerCloud e discutir suas possíveis implicações teóricas para a carga cognitiva

extrínseca do especialista clínico. A avaliação heurística identificou vinte e quatro problemas distribuídos pelas dez heurísticas de Nielsen, com predominância de violações de consistência e padrões e de prevenção de erros, sendo quinze deles classificados como grande problema de usabilidade ou catástrofe de usabilidade. Os achados mais críticos concentraram-se na etapa de visualização de fila de exames pendentes.

Observa-se que os achados mais críticos concentraram-se justamente no ponto funcionalmente mais crítico da plataforma, que é a etapa de seleção e análise das imagens do exame, correspondente ao momento de maior complexidade do fluxo de laudo. Esse alinhamento entre a localização dos problemas mais graves e o núcleo da atividade clínica reforça a relevância prática dos achados, sugerindo que as correções prioritárias da plataforma deveriam recair sobre essa etapa específica do fluxo.

Cabe destacar as limitações deste estudo. Por ter sido conduzida por uma avaliadora única, é esperado, conforme a própria literatura do método, que uma parcela dos problemas de usabilidade existentes na interface não tenha sido identificada, de modo que os vinte e quatro problemas catalogados devem ser entendidos como um retrato parcial das violações presentes na plataforma.

Os achados tampouco foram validados junto a oftalmologistas usuários reais da plataforma, o que impede confirmar se os problemas identificados são de fato percebidos como obstáculos em contexto real de uso. A discussão sobre carga cognitiva extrínseca tem caráter teórico-interpretativo, não constituindo medição empírica do esforço mental do especialista clínico, de modo que a plausibilidade dessa relação ainda carece de verificação por métodos empíricos.

Adicionalmente, a avaliação restringiu-se ao módulo de laudo da plataforma, não contemplando os módulos de captura e de gestão, tampouco outras plataformas de teleoftalmologia, o que limita a generalização dos achados. Por fim, por se tratar de um sistema em constante atualização, é possível que parte das violações registradas já tenha sido corrigida ou modificada entre o momento da coleta e a publicação deste trabalho.

Para pesquisas futuras, sugere-se a validação empírica dos achados junto a especialistas clínicos, por meio de testes de usabilidade complementares, bem como a mensuração direta da carga cognitiva por instrumentos consolidados na literatura, de modo a confirmar ou refutar as implicações teóricas aqui discutidas.

REFERÊNCIAS

- AGNISARMAN, S. et al. *Toward a more usable home-based video telemedicine system: a heuristic evaluation of the clinician user interfaces of home-based video telemedicine systems*. **JMIR Human Factors**, v. 4, n. 2, e11, 2017. Disponível em: <https://humanfactors.jmir.org/2017/2/e11/>. Acesso em: 23 out. 2025.
- ALDEKHYYEL, R. N.; ALMULHEM, J. A.; BINKHEDER, S. *Usability of telemedicine mobile applications during COVID-19 in Saudi Arabia: a heuristic evaluation of patient user interfaces*. **Healthcare**, v. 9, n. 11, 1574, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9032/9/11/1574>. Acesso em: 20 out. 2025.
- BARBIERI, Vanessa de O. Almeida et al. *Transition from an in-person to a telemedicine diabetic retinopathy screening program*. **Arquivos Brasileiros de Oftalmologia**, v. 87, n. 4, artigo e2023-0200, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0004-2749.2023-0200>. Acesso em: 05 abr. 2026.
- BASHSHUR, Rashid L. *On the definition and evaluation of telemedicine*. **Telemedicine Journal**, v. 1, n. 1, p. 19-30, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/tmj.1.1995.1.19>. Acesso em: 15 out. 2025.
- BURTON, Matthew J. et al. *The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020*. **The Lancet Global Health**, v. 9, n. 4, p. e489-e551, 2021. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30488-5/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30488-5/fulltext). Acesso em: 06 set. 2025.
- CHANDLER, Paul; SWELLER, John. *Cognitive load theory and the format of instruction*. **Cognition and Instruction**, v. 8, n. 4, p. 293-332, 1991. Disponível em: https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2. Acesso em: 15 jan. 2025.
- CHANDLER, Paul; SWELLER, John. *The split-attention effect as a factor in the design of instruction*. **British Journal of Educational Psychology**, v. 62, n. 2, p. 233-246, jun. 1992. Disponível em: <https://bpspsychub.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.2044-8279.1992.tb01017.x>. Acesso em: 14 jun. 2026.
- CONSELHO BRASILEIRO DE OFTALMOLOGIA. **Censo Oftalmológico 2023**. São Paulo: CBO, 2023. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2023/06/condicoes-saude-ocular-cbo-2023-ofthalmologia.pdf>. Acesso em: 11 out. 2025.
- COWAN, Nelson. *The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity*. **Behavioral and Brain Sciences**, Cambridge, v. 24, n. 1, p. 87-114, fev. 2001. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/behavioral-and-brain-sciences/article/magical-number-4-in-shortterm-memory-a-reconsideration-of-mental-storage-capacity/44023F1147D4A1D44BDC0AD226838496>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CRESWELL, John W. **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 4. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2014. 273 p. ISBN 978-1-4522-2609-5. Disponível em: https://books.google.com/books/about/Research_Design.html?id=4uB76lC_pOQC. Acesso em: 2 jun. 2026.

ROSA, Juan Miguel; VERAS, Manoel. Avaliação heurística de usabilidade em jornais online: estudo de caso em dois sites. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 18, n. 1, p. 138-157, jan./mar. 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/pci/article/view/22845/18429>. Acesso em: 07 mai. 2026.

EZEAMILI, Victor C. et al. *Revolutionizing Healthcare: How Telemedicine Is Improving Patient Outcomes and Expanding Access to Care*. **Cureus**, v. 16, n. 7, p. e63881, 5 jul. 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39099901/>. Acesso em: 15 nov. 2025.

GALI, Helena. E. et al. *Impact of Electronic Health Record Implementation on Ophthalmology Trainee Time Expenditures*. **Journal of Academic Ophthalmology**, v. 11, n. 1, p. e61-e67, 2019. Disponível em: <https://www.aupojournal.org/jao/vol11/iss2/8/>. Acesso em: 20 out. 2025.

GBD 2019 BLINDNESS AND VISION IMPAIRMENT COLLABORATORS; VISION LOSS EXPERT GROUP OF THE GLOBAL BURDEN OF DISEASE STUDY. *Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: the Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study*. **The Lancet Global Health**, v. 9, n. 2, p. e144-e160, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30489-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30489-7). Acesso em: 15 abr. 2026.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/151/o/gil_como_elaborar_projeto_de_pesquisa.pdf. Acesso em: 7 jul. 2026.

HSIEH, Hsiu-Fang; SHANNON, Sarah E. *Three approaches to qualitative content analysis*. **Qualitative Health Research**, v. 15, n. 9, p. 1277-1288, nov. 2005. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1049732305276687>. Acesso em: 11 de nov. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9241-11:2018: Ergonomics of human-system interaction: part 11: usability: definitions and concepts**. Geneva: ISO, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/63500.html>. Acesso em: 20 out. 2025.

JOSHI, Ashish et al. *Usability of a patient education and motivation tool using heuristic evaluation*. **Journal of Medical Internet Research**, [s. l.], v. 11, n. 4, e47, nov. 2009. Disponível em: <https://www.jmir.org/2009/4/e47/>. Acesso em: 7 jul. 2026.

KALYUGA, Slava; AYRES, Paul; CHANDLER, Paul; SWELLER, John. *The expertise reversal effect*. **Educational Psychologist**, v. 38, n. 1, p. 23-31, 2003. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/S15326985EP3801_4. Acesso em: 03 abr. 2026.

KANDASWAMY, Swaminathan et al. *Realizing the full potential of clinical decision support: translating usability testing into routine practice in health care operations*. **Applied Clinical Informatics**, v. 15, n. 5, p. 1039-1048, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/a-2404-2129>. Acesso em: 08 mar. 2026.

KRUPINSKI, Elizabeth A. *Current perspectives in medical image perception*. **Attention, Perception & Psychophysics**, v. 72, n. 5, p. 1205-1217, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/APP.72.5.1205>. Acesso em: 24 nov. 2025.

LABIRIS, Georgios et al. *Evaluation of the repeatability and reproducibility of a portable slit lamp*. **Seminars in Ophthalmology**, v. 33, n. 5, p. 625-630, 2018. Disponível em : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29487825/>. Acesso em: 28 out. 2025.

LABIRIS, Georgios; PANAGIOTOPOULOU, Eirini-Kanella; KOZOBOLIS, Vassilios P. *A systematic review of teleophthalmological studies in Europe*. **International Journal of Ophthalmology**, v. 11, n. 2, p. 314-325, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18240/ijo.2018.02.22>. Acesso em: 27 out. 2025.

LAND, Matthew R. et al. *Examining the role of telemedicine in diabetic retinopathy*. **Journal of Clinical Medicine**, v. 12, n. 10, artigo 3537, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/jcm12103537>. Acesso em: 18 jun. 2026.

LECAROS, Adrian et al. *Selection and modeling of a formal heuristic evaluation process through comparative analysis*. In: SOARES, Marcelo M.; ROSENZWEIG, Elizabeth; MARCUS, Aaron (ed.). **Design, User Experience, and Usability: UX Research, Design, and Assessment**. Cham: Springer, 2022. p. 27-39. (Lecture Notes in Computer Science, v. 13321). Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05897-4_3. Acesso em: 16 fev. 2026.

LI, Y. et al. *Exploring the impact of telemedicine in chronic patients from diverse socioeconomic contexts: systematic review of qualitative studies*. **Frontiers in Public Health**, v. 12, 2025. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/public-health/articles/10.3389/fpubh.2024.1510735/full>. Acesso em: 16 out. 2025.

LILHOLT, P. H.; JENSEN, M. H.; HEJLESEN, O. K. *Heuristic evaluation of a telehealth system from the Danish TeleCare North Trial*. **International Journal of Medical Informatics**, v. 84, n. 5, p. 319-326, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386505615000155>. Acesso em: 06 mar. 2026.

LINTERN, Georgios; MOTAVALLI, Al. *Healthcare information systems: the cognitive challenge*. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 18, n. 1, p. 3, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12911-018-0584-z>. Acesso em: 26 out. 2025.

MELNICK, Edward R. et al. *The association between perceived electronic health record usability and professional burnout among US physicians*. **Mayo Clinic Proceedings**, v. 95, n. 3, p. 476-487, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2019.09.024>. Acesso em: 20 out. 2025.

MOREIRA, Taís de Campos et al. *Teleophthalmology in primary care: a three-year experience in Southern Brazil*. **Telemedicine and e-Health**, v. 28, n. 4, p. 521-528, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2022.v38n6/e00281321/pt/>. Acesso em: 22 out. 2025.

MUCHA, Henrik et al. *Usability of clinical decision support systems*. **Journal of Medical Systems**, v. 46, n. 3, p. 25, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41449-022-00324-8>. Acesso em: 20 out. 2025.

MURPHY, Robert L. Jr.; BIRD, Kenneth T. *Telediagnosis: a new community health resource. Observations on the feasibility of telediagnosis based on 1000 patient transactions*. **American Journal of Public Health**, v. 64, n. 2, p. 113-119, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.2105/AJPH.64.2.113>. Acesso em: 24 mai. 2026.

NIELSEN, Jakob. *Finding usability problems through heuristic evaluation*. In: ACM CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 1992, Monterey. **Proceedings...** New York: ACM Press, 1992. p. 373-380. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/142750.142834>. Acesso em: 17 jun. 2026.

NIELSEN, Jakob. *Heuristic evaluation*. In: NIELSEN, Jakob; MACK, Robert L. (Ed.). **Usability Inspection Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1994. p. 25-62. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/189200.189209>. Acesso em: 01 mar. 2025.

NIELSEN, Jakob; MOLICH, Rolf. *Heuristic evaluation of user interfaces*. In: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS (CHI'90), 1990, Seattle. **Proceedings [...]**. New York: ACM Press, 1990. p. 249-256. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/97243.97281>. Acesso em: 21 abr. 2026.

NIELSEN, Jakob. **Usability engineering**. Boston: Academic Press, 1993. 362 p. ISBN 0-12-518406-9. Disponível em: <https://archive.org/details/usabilityenginee0000niel>. Acesso em: 10 set. 2025.

PASCOLINI, Donatella; MARIOTTI, Silvio Paolo. *Global estimates of visual impairment: 2010*. **British Journal of Ophthalmology**, v. 96, n. 5, p. 614-618, 2012. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1410993>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SALONGCAY, Recivall P.; SILVA, Paolo S. *The role of teleophthalmology in the management of diabetic retinopathy*. **Asia-Pacific Journal of Ophthalmology**, v. 7, n. 1, p. 17-21, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.22608/APO.2017479>. Acesso em: 28 mai. 2026.

SINSKY, Christine. et al. *Allocation of physician time in ambulatory practice: a time and motion study in 4 specialties*. **Annals of Internal Medicine**, v. 165, n. 11, p. 753-760, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27595430/>. Acesso em: 22 out. 2025.

SWELLER, John. *Cognitive load during problem solving: effects on learning*. **Cognitive Science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988. University of New South Wales. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1207/s15516709cog1202_4. Acesso em: 21 out. 2025.

SWELLER, John; VAN MERRIËNBOER, Jeroen. J. G.; PAAS, Fred G. W. C. *Cognitive architecture and instructional design*. **Educational Psychology Review**, v. 10, n. 3, p. 251-296, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>. Acesso em: 25 nov. 2025.

SWELLER, John. et al. **Cognitive load theory**. New York: Springer, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4>. Acesso em: 25 out. 2025.

THAN, Jonathan et al. *Teleophthalmology and retina: a review of current tools, pathways and services*. **International Journal of Retina and Vitreous**, v. 9, artigo 76, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40942-023-00502-8>. Acesso em: 26 fev. 2026.

VAN MERRIËNBOER, Jeroen. J. G.; SWELLER, John. *Cognitive load theory and complex learning: recent developments and future directions*. **Educational Psychology Review**, v. 17, n. 2, p. 147-177, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>. Acesso em: 19 nov. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Telemedicine: opportunities and developments in member states**. Geneva: WHO, 2010. Disponível em: <https://www.afro.who.int/publications/telemedicine-opportunities-and-developments-member-state>. Acesso em: 15 nov. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Blindness and visual impairment**. Geneva: WHO, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairmen>. Acesso em: 20 out. 2025.

YOUNG, John. Q. et al. *Cognitive load theory: implications for medical education*. **Medical Teacher**, v. 36, n. 5, p. 371-384, 2014. Disponível em: <https://med.virginia.edu/faculty-affairs/wp-content/uploads/sites/458/2016/04/2014-6-14-1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ZANOTTO, Bruna Stella et al. Avaliação econômica de um serviço de telemedicina para ampliação da Atenção Primária à Saúde no Rio Grande do Sul: o microcusteio do Projeto TeleOftalmo. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, p. 1349-1360, abr. 2020. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csc/a/fy5tzX5FnNTCmms7tR76pGH/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 15 out. 2025.