

Eduardo Ferro dos Santos, José Guilherme Santa Rosa, Cláudia Ferreira Mazzoni *

Perspectivas do Uso da Inteligência Artificial no Projeto de Interfaces Digitais para Sistemas Complexos

* **Eduardo Ferro dos Santos** é professor Associado (Livre Docente) no Departamento de Ciências Básicas e Ambientais da Universidade de São Paulo. Professor do Programa de Pós Graduação em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco
eduardo.ferro@usp.br
ORCID 0000-0002-1212-6714

José Guilherme Santa Rosa é professor Associado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte lotado no Departamento de Design e Professor do Programa de Pós-Graduação em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco
jguilhermesantarosa@gmail.com
ORCID 0000-0001-7201-0767

Cláudia Ferreira Mazzoni é diretora Técnica da ARBEIT - ergonomia estratégica. Professora do Programa de Pós-Graduação em Ergonomia da Universidade Federal de Pernambuco. MBA em Gestão de Empresas de Saúde pela FGV. Mestre em Ergonomia pela University of Southern California. Doutora em Biomecânica Ocupacional pela Queen's University
claudiafmazzoni@gmail.com
ORCID 0009-0004-5487-2856

Resumo A Inteligência Artificial (IA) tem impulsionado transformações significativas no campo da Interação Humano-Computador (IHC), especialmente no projeto de interfaces digitais voltadas a sistemas complexos. Neste artigo, investiga-se como a IA tem sido aplicada para tornar interfaces mais adaptativas, inteligentes e responsivas a contextos de uso dinâmicos e imprevisíveis. Adota-se como abordagem metodológica uma revisão integrativa da literatura, com foco em estudos que descrevem aplicações práticas, vantagens e limitações da IA no design de interação. Os resultados apontam para um conjunto crescente de soluções baseadas em sistemas de recomendação, agentes conversacionais, ferramentas de design assistido e interfaces adaptativas. Conclui-se que, embora promissora, a integração da IA ao design de interfaces exige abordagens interdisciplinares e éticas que conciliam capacidades computacionais com princípios fundamentais da IHC.

Palavras Chave Inteligência Artificial, Interação Humano-Computador, Sistemas Complexos, Projeto de Interface, Fatores Humanos.

Perspectives on the Use of Artificial Intelligence in the Design of Digital Interfaces for Complex Systems

Abstract Artificial Intelligence (AI) has driven significant transformations in the field of Human-Computer Interaction (HCI), particularly in the design of digital interfaces for complex systems. This article investigates how AI has been applied to make interfaces more adaptive, intelligent, and responsive to dynamic and unpredictable usage contexts. An integrative literature review was adopted as the methodological approach, focusing on studies that describe practical applications, advantages, and limitations of AI in interaction design. The findings highlight a growing range of solutions based on recommended systems, conversational agents, assisted design tools, and adaptive interfaces. It is concluded that, while promising, the integration of AI into interface design requires interdisciplinary and ethical approaches that align computational capabilities with the core principles of HCI.

Keywords Artificial Intelligence, Human-Computer Interaction, Complex Systems, Interface Design, Human Factors

Perspectivas sobre el Uso de la Inteligencia Artificial en el Diseño de Interfaces Digitales para Sistemas Complejos

Resumen La Inteligencia Artificial (IA) ha impulsado transformaciones significativas en el campo de la Interacción Humano-Computadora (IHC), especialmente en el diseño de interfaces digitales orientadas a sistemas complejos. En este artículo, se investiga cómo la IA ha sido aplicada para hacer que las interfaces sean más adaptativas, inteligentes y sensibles a contextos de uso dinámicos e impredecibles. Se adopta como enfoque metodológico una revisión integradora de la literatura, centrada en estudios que describen aplicaciones prácticas, ventajas y limitaciones de la IA en el diseño de la interacción. Los resultados señalan un conjunto creciente de soluciones basadas en sistemas de recomendación, agentes conversacionales, herramientas de diseño asistido e interfaces adaptativas. Se concluye que, aunque prometedora, la integración de la IA en el diseño de interfaces requiere enfoques interdisciplinarios y éticos que concilien las capacidades computacionales con los principios fundamentales de la IHC.

Palabras clave Inteligencia Artificial, Interacción Humano-Computadora, Sistemas Complejos, Diseño de Interfaces, Factores Humanos.

Introdução

Atualmente, o uso de sistemas digitais integra-se de forma indissociável à vida cotidiana, permeando atividades pessoais, profissionais e sociais (Pereira; Darin; Silveira, 2024). Esses sistemas operam em contextos cada vez mais dinâmicos, lidando com grandes volumes de dados, interagindo com múltiplos perfis de usuários, adaptando-se a uma diversidade de dispositivos e respondendo a ambientes em constante transformação. Diante dessa crescente complexidade, o projeto de interfaces digitais exige abordagens mais robustas, adaptativas e inteligentes.

Essa necessidade torna-se particularmente evidente no campo da Interação Humano-Computador (IHC), em que as interações entre usuários e sistemas não seguem padrões fixos ou lineares. As abordagens tradicionais de design de interface, baseadas em estruturas estáticas e previsíveis, mostram-se progressivamente insuficientes frente à evolução do mundo tecnológico caracterizado pela multiplicidade de contextos e pela variabilidade das demandas.

De acordo com Gorokhov e Kholodnyak (2018), o século XXI vem sendo marcado pela geração de sistemas não lineares complexos com propriedades de singularidade, imprevisibilidade e intencionalidade. Setores como saúde, plantas petroquímicas, usinas nucleares e tecnologia da informação evidenciam, de forma crescente, os limites de abordagens tradicionais baseadas em modelos lineares e determinísticos de análise organizacional.

Para atender a essa nova realidade, demanda-se o desenvolvimento de metodologias/“ferramentas tecnológicas” capazes de atender a gestão e a otimização de sistemas complexos, transformando a maneira como estes são projetados, monitorados e otimizados. Dessa forma, permitindo um controle mais preciso, uma análise preditiva mais eficiente e a criação de soluções autônomas e adaptáveis.

Nesse cenário, levanta-se a hipótese de que a Inteligência Artificial (IA) possa contribuir significativamente para o desenvolvimento de interfaces mais inteligentes, capazes de aprender com os usuários, adaptar-se dinamicamente a diferentes contextos e até mesmo antecipar necessidades futuras. Diversas ferramentas baseadas em IA já vêm sendo aplicadas com esse propósito: sistemas de recomendação que ajustam conteúdos conforme os interesses do usuário, assistentes virtuais que compreendem comandos de voz e sistemas que reorganizam elementos da interface de acordo com o ambiente de uso são exemplos de soluções emergentes (Armershi et al., 2019; Shneiderman, 2022).

Neste artigo, busca-se demonstrar e analisar criticamente as ferramentas baseadas em IA e as perspectivas atuais de seu uso no projeto de interfaces digitais, com ênfase em sistemas complexos. Adota-se como método uma revisão integrativa da literatura (Souza; Silva; Carvalho, 2010), voltada à identificação das aplicações mais recorrentes, bem como das vantagens e limitações dessas tecnologias em comparação com abordagens tra-

dicionais da IHC. A proposta é contribuir para a compreensão dos rumos e dos desafios emergentes dessa interseção interdisciplinar entre IA, design de interação e sistemas complexos.

Metodologia

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória, com foco na identificação, análise e categorização de ferramentas baseadas em Inteligência Artificial voltadas ao projeto de interfaces digitais para sistemas complexos. Foi fundamentada na realização de uma revisão integrativa da literatura. Tal método permite reunir, analisar e sintetizar os conhecimentos produzidos sobre determinado fenômeno, contribuindo para a construção de uma base teórica sólida e abrangente (Souza; Silva; Carvalho, 2010). A investigação das ferramentas fundamentou-se na análise de fontes secundárias disponíveis na web, como sites oficiais de produtos, documentações técnicas, blogs especializados, repositórios de desenvolvedores e publicações institucionais.

A escolha pela abordagem justifica-se pela necessidade de compreender de forma ampla e crítica às perspectivas contemporâneas sobre o uso da IA no projeto de interfaces digitais para sistemas complexos, considerando a variedade de aplicações, enfoques metodológicos e áreas de origem dos estudos analisados. A metodologia adotada possibilita não apenas identificar os principais avanços na área, mas também mapear lacunas, desafios e tendências emergentes.

Para a seleção das fontes, foi estabelecido o critério de inclusão de aplicações que abordam diretamente o uso da IA no projeto de interfaces digitais. Foram excluídos trabalhos que tratam da IA de forma genérica ou sem relação com sistemas complexos. Após a leitura exploratória dos conteúdos potencialmente relevantes, os estudos selecionados foram submetidos à análise completa.

Essa análise foi realizada com base na extração dos seguintes dados: objetivo da aplicação, tipo de IA empregada, descrição da aplicação prática, vantagens relatadas, limitações observadas e implicações para o design de interação. Os dados foram organizados em categorias temáticas, permitindo a síntese dos principais aspectos discutidos e a estruturação da análise apresentada nas seções seguintes.

As ferramentas foram classificadas em cinco categorias funcionais: (1) prototipagem rápida, (2) plataformas de design, (3) modelagem e simulação, (4) geração de componentes e (5) recursos analíticos de UX. Em cada categoria, foram selecionadas duas ferramentas representativas, com base na variedade de funcionalidades, aplicabilidade prática e grau de inovação tecnológica. Essa abordagem permitiu mapear o atual ecossistema de soluções baseadas em IA aplicáveis ao design de interação, destacando seus usos em sistemas de alta complexidade e suas possíveis implicações ergonômicas e cognitivas.

Por fim, a discussão combina interpretação crítica dos achados (as ferramentas identificadas) com referências teóricas da IHC, ergonomia e sistemas complexos.

Revisão Integrativa

Em relação aos sistemas complexos referem-se a uma organização para a qual é difícil, senão impossível, restringir sua descrição a um limitado número de parâmetros ou variáveis características sem perder suas propriedades essenciais (Leplat, 1992). De acordo com González e Saurin (2013), são características de um sistema complexo: (a) grande quantidade de parâmetros cujos elementos constituintes devem interagir dinamicamente, tanto no caráter físico quanto no informativo, levando a mudanças ao longo do tempo; (b) não linearidade em seu comportamento; (c) presença de circuitos fechados, ou seja, uma atividade desenvolvida em um determinado momento dentro do sistema pode retroalimentar ela mesma; (d) ser aberto, no sentido de que o ambiente externo exerce influência sobre o mesmo; (e) possuir história, pois fatos ocorridos no passado influenciam as ações presentes e futuras do sistema; (f) tomadas de decisões sob substancial incerteza, pois as informações vêm de inferências ou fontes indiretas; (g) utilização de um componente por mais de um elemento simultaneamente e com propósitos diferentes, facilitando a riqueza das interações entre elementos.

Tradicionalmente, os métodos aplicados para se analisar uma atividade com base nos princípios da ergonomia caracterizam-se por resultar em informações dissociadas e pouco efetivas para contribuir na transformação do trabalho (Mazzoni et al., 2020). Para atender a crescente complexidade e as incertezas nas interações entre humanos e sistemas, a disciplina de Ergonomia e Fatores Humanos tem buscado ampliar seu foco, indo além das áreas tradicionais, na busca de uma abordagem mais sistêmica. Read et al. (2020) citam diversos métodos que consideram a abordagem macroergonômica e que, cada vez mais, são aplicados para descrever, avaliar, projetar e redesenhar sistemas sociotécnicos para apoiar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema, tais como: Análise Cognitiva do Trabalho, Análise de Eventos do Trabalho em Equipe Sistêmico, Modelo Teórico de Acidentes e Processos de Sistemas e o Método de Análise de Ressonância Funcional.

No entanto, percebe-se que apesar dos métodos de ergonomia de sistemas poderem modelar muitos aspectos da complexidade (a interdependência, a não linearidade e a natureza hierárquica da organização de sistemas e subsistemas), os autores são críticos ao fato de que eles fornecem apenas descrições estáticas dos problemas. Isso implica na dificuldade das análises ergonômicas em considerar conceitos-chave de complexidade, como emergência e ciclos de feedback dinâmicos, não sendo possível simular dinamicamente o comportamento dos sistemas ao longo do tempo.

A IA tem se mostrado como um recurso eficaz para lidar com essa

complexidade, podendo contribuir para a melhoria do desempenho, otimizando processos e encontrando soluções inovadoras em diversos setores, tais como:

- Sistemas de saúde: estudos mostram que a aplicação de princípios macroergonômicos aliados à modelagem de redes podem melhorar a segurança e a eficiência em UTIs (Carayon et al., 2006);
- Setor aeronáutico: a análise de sistemas complexos pode orientar estratégias de resiliência e segurança operacional, complementando modelos ergonômicos tradicionais (Dekker, 2011; Hollnagel, 2009);
- Setores de mineração, exploração de petróleo e gás e geração de energia nuclear: são sistemas complexos desafiadores no que diz respeito à saúde e segurança não somente de seus operadores quanto da sociedade em geral (Karwowski, 2012).

A integração da IA como nova ferramenta para a Ergonomia Cognitiva e a IHC possibilita desenvolver sistemas que não apenas respondem a comandos, mas que compreendam o contexto do usuário, prevejam suas necessidades e se ajustem dinamicamente para otimizar a interação. A IA pode preencher a lacuna na simulação dinâmica dos sistemas complexos, permitindo que os designers de IHC e ergonômistas cognitivos modelam e prevejam o comportamento emergente, os ciclos de feedback e a evolução dos sistemas ao longo do tempo.

Em relação ao termo “inteligência artificial” foi usado pela primeira vez em 1956, em um workshop em Dartmouth College, New Hampshire. Para Howard (2019), a IA pode ser entendida como um termo que expressa o uso de métodos computacionais para replicar a inteligência humana. Em outras palavras, a IA envolve criar algoritmos e modelos computacionais que imitam ou simulam comportamentos inteligentes, como resolver problemas, entender o ambiente e se adaptar a novas situações.

As características fundamentais dos sistemas de IA que os distinguem de programas computacionais tradicionais incluem:

- Aprendizado, que é a capacidade de adquirir conhecimento a partir de dados e experiências, e de melhorar seu desempenho ao longo do tempo sem ser explicitamente programado para cada cenário (Mitchell, 1997; Russell; Norvig, 2021). Isso é frequentemente alcançado através de algoritmos de aprendizado de máquina e permite que sistemas de IA se tornem mais personalizados e eficientes, mas também levanta questões sobre como os usuários podem entender e confiar em um sistema que muda seu comportamento (Shneiderman, 2022). Do ponto de vista da Ergonomia Cognitiva, é essencial que o processo de aprendizado da IA seja transparente o suficiente para que o usuário compreenda as razões por trás das decisões do sistema, evitando a sensação de uma “caixa preta” (Woods, 2016);

- **Raciocínio**, compreendido com a habilidade de inferir conclusões a partir de premissas, resolver problemas e tomar decisões lógicas e inferenciais, mesmo em face de informações incompletas ou incertas (Russell; Norvig, 2021). Em aplicações de IHC, isso pode se manifestar em sistemas que oferecem recomendações inteligentes, solucionam problemas complexos ou fornecem diagnósticos. Para a Ergonomia Cognitiva, a qualidade do raciocínio da IA é fundamental para evitar sobrecarga de informação ou apresentação de dados irrelevantes, garantindo que as informações sejam úteis e acionáveis para o usuário (Norman, 2013);

- **Percepção**, capacidade de algumas IAs de perceber o ambiente através de dados sensoriais (visão computacional, processamento de linguagem natural, etc.) (Goodfellow; Bengio; Courville, 2016). Isso permite que a IA compreenda o que está acontecendo ao seu redor e no contexto do usuário. Em termos de IHC, significa interfaces que podem interpretar gestos, comandos de voz ou até mesmo emoções do usuário. Para a Ergonomia Cognitiva, a acurácia e a relevância dessa percepção são cruciais para que o sistema responda de forma apropriada e não invasiva (Picard, 1997);

- **Adaptação**, que se refere à possibilidade de uma IA se adaptar a novas situações e requisitos, modificando seu comportamento para otimizar o desempenho ou atender às necessidades do usuário (Russell; Norvig, 2021). Essa característica é particularmente relevante para a Ergonomia Cognitiva e a IHC, pois permite a criação de sistemas mais flexíveis e personalizados. No entanto, a adaptação deve ser gerenciada cuidadosamente para evitar que o sistema se torne imprevisível ou que as mudanças no comportamento da IA causem confusão ou desconfiança no usuário (Hofman; Klein, 2017); e

- **Autonomia**, característica de alguns sistemas de IA que podem tomar decisões e executar ações sem intervenção humana direta (Russell; Norvig, 2021). Embora a autonomia possa aumentar a eficiência, ela impõe um desafio significativo para a Ergonomia Cognitiva e a IHC. É fundamental projetar sistemas autônomos de forma que os usuários mantenham o controle e a compreensão de suas ações, estabelecendo níveis apropriados de supervisão e permitindo intervenção humana quando necessário (Sheridan; Parasuraman, 2005). A questão de “delegar” tarefas à IA e o nível de confiança que o usuário deposita nela se tornam centrais (Lee; See, 2004).

Dessa forma, depreende-se que a aplicação da IA na abordagem da Ergonomia Cognitiva e da IHC não se trata apenas de projetar interfaces esteticamente agradáveis e fáceis de usar, mas de criar interações que considerem a cognição humana em face de sistemas inteligentes, adaptáveis e, por vezes, autônomos. O desafio é garantir que a tecnologia de IA seja um

auxílio, e não um obstáculo, para o desempenho e o bem-estar humano.

Quanto à conceituação e aplicação da Ergonomia Cognitiva e Interação Humano-Computador (IHC) na atualidade, a revisão integrativa destaca que a cognição humana e a inteligência artificial podem ser consideradas tanto na elaboração de interfaces para sistemas complexos quanto para a avaliação de sistemas dessa natureza.

De acordo com Iida (2016) a ergonomia é uma área interdisciplinar que envolve três domínios: ergonomia física, ergonomia organizacional e ergonomia cognitiva - esta última se ocupa dos processos mentais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora, relacionados com as interações entre as pessoas e outros elementos de um sistema.

Wisner e Sznclwar (2004), destacam que no passado, muitos psicólogos ergonomistas acreditaram que poderiam passar, sem maiores dificuldades, da psicologia comportamental (behaviorista) à psicologia cognitiva, na medida em que os seus conhecimentos continuariam a ser obtidos no mesmo esquema positividade, graça a experimentos. Os autores ainda destacam que ocorreu então, o movimento conhecido como ciências cognitivas, no qual neurofisiologistas, psicólogos experimentalistas e matemáticos propuseram, simultaneamente, quase sem colaboração, representações sobre a cognição humana diretamente utilizáveis na indústria da informática.

Tal preocupação com os aspectos da cognição humana tem sido importante para estudar a interação de indivíduos com sistemas e propiciar o projeto de interfaces adequadas ao perfil dos usuários, contextos e de uso, necessidades e especificidades das tarefas. Para Dul e Weerdmeester (2012), um número cada vez maior de pessoas usa produtos e sistemas complexos e isso exige interações que consistem em receber informações e atuar, baseando-se nelas. Essas interações, segundo esses autores, fazem parte de um sistema denominado homem-máquina - no qual o homem recebe informações da máquina e atua sobre a mesma, acionando algum dispositivo de controle por meio de interfaces.

A IHC pode ser considerada uma área da Ergonomia, posto que quando bem projetada - levando em consideração aspectos físicos, cognitivos e ambientais - pode contribuir para uma melhor experiência do usuário e usabilidade. Cabe frisar, que a IHC, é vista como a área que estuda a interação humana com dispositivos computacionais - não se restringindo a computadores desktop. Envolve, portanto, painéis de controles digitais, notebooks, tablets, smartphones, smartwatches e demais dispositivos eletrônicos.

Desse modo, torna-se essencial o estudo da memória, tomada de decisão, atenção, percepção, affordances (disponibilidade ou oportunidades de ação), modelos mentais e processamento cognitivo humano (Santa Rosa; Pereira Júnior; Lameira, 2021), a fim de projetar interfaces mais adequadas ao usuário.

Para Dul e Weerdmeester (2012), a interface corresponde à fronteira entre o homem e a máquina e as limitações dos usuários constituem-se em fator crítico, porque eles devem absorver informações complexas a ve-

locidades cada vez maiores.

Enquanto a IHC, tradicionalmente, tem focado mais na interação que ocorre entre o homem e a máquina, a experiência do usuário se apresenta como mais integrativa e abstrata, pois envolve o estudo da expectativa antes da interação, aspectos da própria interação, e as emoções e impressões observadas após a interação.

Santa Rosa, Pereira Júnior e Lameira (2021) ressaltam que o designer de interfaces não projeta a experiência do usuário, mas sim, projeta para a experiência do usuário, criando condições favoráveis para que a experiência do usuário com o produto seja rica e memorável.

Santa Rosa, Pereira Júnior e Lameira (2021) afirmam que, de acordo com Charles Darwin, a evolução das espécies pode ser interpretada como uma história de adaptação ao ambiente e que algumas adaptações dos seres humanos já não são benéficas e se tornam até prejudiciais face a tantas alterações no ambiente no qual estamos inseridos. Segundo os mesmos autores, a predisposição à economia de recursos é um guia excelente para entender a evolução dos planos corporais e da mente das espécies e útil também, para entender a nossa relação com os ambientes, tanto natural quanto o artificial, ambos modificados pelo ser humano.

Com base nos aspectos anteriormente mencionados, pode-se tentar identificar potencialidades e riscos da utilização das novas tecnologias digitais, sobretudo na utilização de IA, tanto para interação com sistemas complexos quanto para atividades corriqueiras e do cotidiano - já que muitas delas - sem que se dê conta - apresentam alto grau de complexidade - se considerados os aspectos cognitivos envolvidos.

A exemplo disso, destaca-se a complexidade inerente à atividade de condução de um veículo automotivo e todos os processos perceptivos e mentais envolvidos. Nesse caso específico, o desenvolvimento da tecnologia permitiu a implantação de sistemas de mapas baseados em posicionamento global e recursos para correção de rotas, freios automáticos de emergência, assistente de faixa, sensores de ponto cego, controle de estabilidade e sistemas de frenagem anti-bloqueio.

Por outro lado, a tecnologia que visa a segurança dos motoristas, dos passageiros e dos transeuntes, pode ser utilizada, também, de modo a oferecer riscos aos mesmos atores mencionados. Ao deixar de se preocupar em estar tanto atento a determinados estímulos e sinais durante a condução do veículo, não é raro que o condutor tenha vontade de realizar outras tarefas enquanto dirige, ainda mais em um ambiente totalmente diferente do vivenciado pelos seres humanos a duzentos anos atrás. O ser humano se tornou multitarefa (ou tem a crença de que é multitarefa). O motorista, sem tanta pressão por interpretação dos estímulos e sinais na pista, muitas vezes passa a interagir com outros dispositivos tais como celulares, aplicativos de mensagens e vídeos em sistemas de multimídia. Os mecanismos atencionais ficam fragilizados e o indivíduo não parece preparado para lidar com atividades tão distintas e foco direcionado para atividades que não deveriam ser realizadas no momento podendo entrar em estado de flow.

De acordo com a teoria do pesquisador húngaro Mihaly Csikszentmihalyi, vinculado à corrente da psicologia positivista, entrar em estado de flow em uma conversa em um aplicativo de mensagens instantâneas não é uma boa ideia, não é permitido, não é seguro e aumenta significativamente o risco de acidentes.

Santa Rosa, Pereira Junior e Lameira (2021), afirmam que há mais informações ao redor do que se consegue assimilar e é necessário manter os esforços de processamento em um só alvo - já que tudo o que não está no foco da atenção tem seu processamento diminuído ou até mesmo ignorado. É possível utilizar algoritmos e a IA para filtrar, destacar informações que sejam importantes e necessárias para um determinado usuário em um dado contexto ao realizar uma tarefa específica ou, até mesmo, excluir imagens ou outros estímulos que sejam distratores e interfiram negativamente na atenção do indivíduo. Estratégias desse tipo contribuem para uma melhor IHC e para a experiência do usuário - evitando falhas, erros, lapsos e sobrecarga cognitiva.

Percebe-se, então, que existe a falácia da multitarefa. Em geral, nem os computadores são de fato multitarefas. Há uma alternância no que está sendo processado e apresentado na tela ou no dispositivo. No caso dos computadores, é comum que essa alternância seja suficientemente rápida, eficaz e segura, contudo, no caso dos seres humanos, a multitarefa frequentemente leva a uma menor velocidade na execução e maior probabilidade de ocorrência de lapsos de memória, equívocos, falhas de acionamento e erro humano.

O uso da tecnologia, principalmente da digital, vinha acompanhado da justificativa e do discurso de contribuir para melhor eficiência e eficácia na realização das atividades e melhoria do desempenho global do sistema. A tecnologia, como prometido, viria, também, para que se pudesse ter mais tempo e qualidade de vida. A questão é: as pessoas estão se beneficiando dessas contribuições das tecnologias ou estão entrando em um ciclo vicioso, consumindo informações de um modo frenético, tentando realizar várias tarefas ao mesmo tempo (já que a tecnologia nos dá certo apoio nesse sentido) e ficando cada vez mais sem tempo para o descanso físico e mental e para o sono? - aspectos muito investigados no âmbito da Ergonomia.

Portanto, a sinergia entre a Ergonomia Cognitiva, a IHC e a IA é fundamental para o futuro do design de sistemas complexos. Ao alavancar as capacidades da IA para lidar com a natureza dinâmica e incerta desses sistemas, pode-se criar ambientes mais seguros, eficientes e amigáveis ao usuário, garantindo que a tecnologia sirva verdadeiramente ao bem-estar e ao desempenho humano.

Foram encontradas diversas ferramentas que utilizam da IA aplicáveis ao projeto de interfaces para sistemas complexos. Essas ferramentas abrangem diferentes estágios do processo de desenvolvimento, desde a prototipação inicial até a personalização e otimização da experiência do usuário.

As ferramentas foram organizadas em cinco categorias principais, cada uma representando um conjunto específico de funcionalidades e aplicações, sendo: (1) ferramentas de prototipagem rápida; (2) plataformas de design; (3) modelagem e simulação de sistemas complexos; (4) geração de código e componentes de interface; e (5) recursos analíticos para avaliação e aprimoramento da experiência do usuário.

Em cada uma das categorias foram dadas as suas descrições em síntese, com respectivo destaque para exemplos representativos, funcionalidades centrais e contribuições potenciais para o projeto de interfaces digitais em contextos de alta complexidade.

Considerando que a lista pode ser longa, foram selecionadas duas principais ferramentas para cada uma das categorias, sendo portanto uma lista longe de ser exaustiva. Estas ferramentas estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Principais ferramentas com IA integrada.

Fonte: os autores.

Categoria	Ferramenta	Descrição	Uso em Sistemas Complexos	Exemplos
Prototipagem Rápida	Uizard (uizard.io)	Plataforma que utiliza IA para transformar esboços manuais e descrições textuais em protótipos interativos. É especialmente útil em sistemas complexos por permitir prototipação rápida de interfaces, testes iterativos e ajustes baseados em feedback dos usuários.	Tem capacidade de automatizar elementos de UI que agilizam a construção de ambientes digitais de alta complexidade.	Criar interfaces de sistemas de triagem médica automatizada.
	Figma (figma.com)	Ferramenta de design colaborativo com diversos plugins baseados em IA, como Diagram, Magician e Autoflow, que auxiliam na criação automática de componentes de interface, fluxogramas de interação e simulação de comportamento do usuário.	Pode ser utilizado em projetos de sistemas onde há múltiplas interfaces interdependentes, como ERPs, dashboards logísticos e plataformas de monitoramento	Construção colaborativa de interfaces de painéis de controle para operações logísticas em tempo real.
Design de Interfaces	Runway ML (runwayml.com)	Oferece uma infraestrutura de machine learning em que é possível treinar e aplicar modelos de IA em interfaces gráficas sem programação avançada.	Pode ser usado para prototipar interfaces que se adaptam ao comportamento do usuário ou simular interações em cenários críticos.	Projetos de interfaces adaptativas para simuladores de voo, permitindo o ajuste automático de feedbacks visuais e sonoros conforme o perfil do piloto.

	Adobe Sensei (business.adobe.com/pt/ai/adobe-genai.html)	Plataforma de IA integrada ao Creative Cloud Suite da Adobe que utiliza aprendizado de máquina para otimizar e personalizar ativos de marketing, realizar preenchimento com reconhecimento de conteúdo e animação automática com detecção de rosto e movimento.	As funcionalidades podem servir ao design de interfaces para sistemas complexos, onde a personalização e a adaptabilidade são essenciais.	Personalizar interfaces de plataformas de e-learning adaptativo, como a Adobe Experience Manager em sistemas de capacitação corporativa inteligente.
Modelagem e simulação	AnyLogic (anylogic.com)	Plataforma de simulação que integra modelos de IA para apoiar decisões de design, avaliando como diferentes configurações de interface afetam o desempenho do sistema.	É utilizado em setores como transporte, manufatura e saúde para projetar interfaces operacionais com foco em confiabilidade, eficiência e antecipação de falhas.	Planejamento de hospitais inteligentes, simulando o comportamento de pacientes, rotas críticas e fluxos de atendimento para redesenho de interfaces operacionais.
	AppMaster (appmaster.io)	Plataforma no-code que combina IA e recursos de desenvolvimento de aplicativos para automatizar grande parte do processo de criação de aplicativos, desde o back-end até a interface do usuário.	Suas ferramentas de design combinadas com IA permitem o desenvolvimento de aplicativos para uso em sistemas complexos, minimizando a complexidade da programação.	Criação de painéis de controle de processos industriais em empresas do setor petroquímico, possibilitando automatizar a visualização de dados de sensores e alarmes críticos.
Geração de código e componentes de interface	Lovable (lovable.so)	Plataforma de IA generativa voltada ao design e à prototipação visual baseadas em prompts descritivos. Permite gerar wireframes e propostas visuais, com exportação para ferramentas como Figma.	Particularmente útil na etapa inicial de concepção de sistemas complexos, onde múltiplas soluções precisam ser simuladas e testadas com agilidade.	
	Bolt.new (bolt.new)	Ferramenta emergente de desenvolvimento de software com IA, que gera interfaces e lógicas de aplicação a partir de descrições em linguagem natural.	Pode ser utilizada na criação de protótipos funcionais e código-fonte para aplicações complexas, com apoio da IA na estruturação de componentes e fluxos interativos.	Criação de interfaces administrativas para plataformas educacionais complexas, com fluxos dinâmicos de usuários, relatórios e painéis de desempenho.

Recursos analíticos para avaliação e	Maze (maze.co)	Ferramenta de design de UX que permite entrevistas com usuários e testes de usabilidade.	A abordagem ao usuário é fundamental no projeto de sistemas complexos.	Testar interfaces de softwares de controle aéreo, com usuários simulando interações sob diferentes cargas cognitivas.
--------------------------------------	----------------	--	--	---

Discussão

A adoção de ferramentas baseadas em IA no projeto de interfaces para sistemas complexos representa um avanço significativo na prática da IHC. Este estudo evidenciou opções de uso que permitem não apenas otimizar a concepção de sistemas, mas também ampliar as possibilidades de personalização, simulação e adaptação das interfaces aos usuários e seus contextos de uso. Contudo, essa transição tecnológica exige uma análise sobre os impactos conceituais e práticos.

As abordagens tradicionais da IHC, especialmente aquelas estruturadas a partir da usabilidade e do design centrado no usuário, têm como premissa o mapeamento sistemático de necessidades, tarefas e contextos de uso por meio de técnicas como entrevistas, personas, cenários e testes com usuários. Tais métodos, apesar de amplamente validados, apresentam limitações quando aplicados a sistemas altamente complexos, dinâmicos ou imprevisíveis, como aqueles encontrados em ambientes industriais, médicos ou logísticos (González; Saurin, 2013).

Essas limitações tornam-se mais evidentes diante da necessidade de projetar interfaces que operam sob condições mutáveis, múltiplos fluxos de informação e interações não-lineares. Modelos estáticos, embora úteis em fases iniciais de concepção, raramente conseguem prever a totalidade das contingências de uso. Nesse sentido, as ferramentas baseadas em IA surgem como alternativas complementares, e em alguns casos, superiores às abordagens tradicionais, ao permitirem ajustes contínuos e aprendizado de padrões emergentes.

A principal vantagem das ferramentas de IA reside na capacidade de lidar com variabilidade e incerteza de forma dinâmica. Plataformas como Uizard e Figma, por exemplo, permitem que esboços e descrições textuais sejam traduzidos em protótipos interativos, reduzindo o tempo de desenvolvimento e ampliando o espaço para experimentação interativa. O Lovable e o Bolt.new fazem isso até mesmo por meio de linguagem humana, sem necessidade de programação. Essas funcionalidades são particularmente importantes em sistemas que demandam múltiplas interações em tempo real e exigem respostas adaptativas.

Ferramentas como AnyLogic e Runway ML demonstram como modelos de simulação e aprendizado de máquina podem antecipar problemas de usabilidade, simular comportamentos de usuários em diferentes cenários e prever resultados com maior precisão do que os métodos preditivos tradicionais. Essa possibilidade de modelar cenários complexos em tempo

real permite uma abordagem preditiva e proativa do design, algo ainda incipiente nas práticas clássicas da IHC.

Embora a automação criativa promovida por ferramentas como o AppMaster represente um ganho de eficiência, também levanta questionamentos sobre o papel do designer ou de programadores na era da IA. No entanto, em vez de substituir a criatividade humana, essas ferramentas ampliam a capacidade de exploração e validação de ideias, exigindo uma mudança de foco, onde estes passariam de criadores visuais para curadores de soluções algorítmicas. Essa transição implica a aquisição de novas competências técnicas, como análise de dados, configuração de parâmetros de IA e compreensão dos mecanismos de aprendizado de máquina.

Importante no uso de qualquer uma das ferramentas é a cautela para evitar a delegação acrítica das decisões de um projeto à IA. A dependência excessiva de sugestões automáticas pode reforçar vieses algorítmicos, limitar a diversidade estética e funcional das interfaces e comprometer a acessibilidade de grupos minoritários, cuja representação nos dados de treinamento costuma ser limitada. É fundamental que o uso dessas ferramentas esteja ancorado em princípios éticos e na valorização da experiência humana como referência central.

Santos (2025) observa que o risco da automação não está apenas na substituição do trabalho humano, mas na perda da vigilância ativa. Quando sistemas assumem o controle de processos complexos, o operador pode ser induzido a uma postura de confiança passiva, reduzindo sua capacidade de intervir criticamente em situações atípicas ou emergenciais. Este alerta reforça a importância de desenhar interfaces que promovam a transparência dos algoritmos, incentivem a supervisão humana e mantenham o operador no centro da decisão, mesmo em cenários altamente automatizados.

Do ponto de vista da ergonomia cognitiva, a integração de IA nas interfaces exige uma atenção especial aos limites da cognição humana. Interfaces que se adaptam automaticamente, como as criadas com base em dados comportamentais em tempo real, podem provocar desorientação, aumentar a carga cognitiva e comprometer a previsibilidade das ações do usuário. As questões como transparência algorítmica, accountability e controle do usuário sobre as decisões do sistema tornam-se ainda mais críticas em ambientes onde falhas podem gerar consequências severas. Ferramentas de IA que operam como “caixas-pretas” reduzem a capacidade de auditoria e confiança, especialmente em contextos regulados ou de missão crítica. A busca por “IA explicável” torna-se, portanto, um imperativo para projetos que envolvem alto risco e responsabilidade ética.

A discussão aqui apresentada aponta para a necessidade de uma abordagem híbrida, em que os métodos clássicos da IHC sejam complementados, e não substituídos, pelas ferramentas de IA. A análise qualitativa de tarefas, entrevistas com usuários, testes de usabilidade e heurísticas continuam sendo fundamentais para a compreensão das necessidades humanas e para o direcionamento inicial do projeto. As ferramentas de IA, por sua vez, contribuem ao permitir exploração contínua, otimização dinâmica e modelagem de sistemas complexos em tempo real.

Considerações finais

Este estudo analisou o papel emergente da IA no projeto de interfaces digitais voltadas a sistemas complexos, por meio da identificação e categorização de ferramentas tecnológicas disponíveis. A partir dessa análise, observou-se que a IA tem potencial para transformar profundamente os processos de concepção, modelagem e personalização de interfaces, oferecendo recursos para lidar com contextos caracterizados por alta variabilidade, incerteza e exigência de adaptação contínua.

As ferramentas analisadas, embora não limitadas ao exposto neste trabalho, demonstram avanços significativos, especialmente nas etapas de prototipação rápida, simulação de cenários, geração automatizada de componentes e análise de experiência do usuário. No entanto, a adoção dessas tecnologias requer atenção a aspectos críticos, como a necessidade de garantir a transparência algorítmica, a manutenção da supervisão humana, a prevenção de vieses de exclusão e o respeito aos limites da cognição humana. O uso eficaz da IA em design de interação não reside apenas na eficiência técnica, mas na sua integração ética, inclusiva e centrada no humano.

Como contribuição teórica, este estudo propõe um mapeamento estruturado de soluções tecnológicas aplicáveis ao design de interação em sistemas complexos, oferecendo subsídios tanto para profissionais da área quanto para pesquisadores interessados na interseção entre IA, ergonomia e design. Do ponto de vista prático, o artigo fornece um panorama de ferramentas emergentes que podem ser exploradas em diferentes domínios aplicados, como saúde, transporte, energia e educação.

Entre as limitações do trabalho, destaca-se a natureza da busca baseada em fontes abertas, o que implica restrições quanto à exaustividade e replicabilidade dos achados. A análise também não incluiu testes empíricos das ferramentas, o que seria necessário para uma avaliação mais aprofundada de sua eficácia.

Dadas as limitações apresentadas, recomenda-se que estudos futuros avancem na validação empírica das ferramentas identificadas, explorando casos de aplicação em contextos reais e mensurando impactos sobre desempenho, usabilidade e carga cognitiva.

Referências

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 2005.

AMERSHI, S. et al. **Guidelines for human-AI interaction**. In: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2019, Glasgow. Proceedings [...]. New York: ACM, 2019.

CARAYON, P. et al. **Work system design for patient safety: the SEIPS model**. Quality and Safety in Health Care, 15(Suppl 1), i50–i58, 2006.

DEKKER, S. **Drift into failure: From hunting broken components to understanding complex systems**. Ashgate, 2011.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2012.

GONZÁLEZ, S.; SAURIN, T. A. **Princípios para Gestão de Procedimentos em Sistemas Sócio-Técnicos Complexos**. Revista Ação Ergonômica, vol.8, n1, p.48-62, 2013.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. MIT Press, 2016.

GOROKHOV, V. L.; KHOLODNYAK, D. V. **Innovation Complexity - a New Paradigm for Cognitive Ergonomics**. In: Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO)s, Saint Petersburg, 2018.

LEE, J. D.; SEE, K. A. **Trust in automation: Designing for appropriate reliance**. Human Factors, 46(1), 50–80, 2004.

HOFFMAN, R. R.; KLEIN, G. **Explaining explanation, part 1: Theoretical foundations**. IEEE Intelligent Systems, 32(3), 68–73, 2017.

HOLLNAGEL, E. **The ETTO principle: Efficiency–Thoroughness Trade-Off**. Ashgate, 2009.

KARWOWSKI, W. **A Review of Human Factors Challenges of Complex Adaptive Systems: Discovering and Understanding Chaos in Human Performance**. In: 18th Triennial Congress of the International Ergonomics Association. Human Factors, 2012. p. 983-995.

PEREIRA, R.; DARIN, T.; SILVEIRA, M. S. **Reflexões da Comunidade Brasileira de IHC**. In: Simpósio Brasileiro sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC). SBC, 2024. p. 262-360.

PICARD, R. W. **Affective Computing**. MIT Press, 1997.

LEPLAT, J. **Quelques aspects de la complexité en Ergonomie**. Em: Daniellou F. –L’ergonomie em quête de ses principes. Octares ed. Toulouse, 57- 76, 1992.

MAZZONI, C. F.; CAMPOS, M. V. G.; PETRY, F. O. **Ergonomia que transforma: sistêmica, participativa e integrativa**. In: XX Congresso Brasileiro de Ergonomia, virtual, 2020.

MITCHELL, T. M. **Machine Learning**. McGraw-Hill. Portland: Book News, 1997.

NORMAN, D. A. **The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition**. Basic Books, 2013.

READ, G. J. M.; SALMON, P. M.; THOMPSON, J.; McCLURE, R. **Simulating the behaviour of complex systems: Computational modelling in ergonomics**. Ergonomics, 2020.

RUSSELL, S.; Norvig, P. (2021). **Artificial Intelligence: A Modern Approach** (4th ed.). Pearson.

SHERIDAN, T. B.; PARASURAMAN, R. **Human-automation interaction**. Reviews of Human Factors and Ergonomics, 1(1), 89–129, 2005.

SHNEIDERMAN, B. **Human-Centered AI**. Cambridge: MIT Press, 2022.

SANTA ROSA, J. G.; PEREIRA JÚNIOR, A.; LAMEIRA, V. **Neurodesign: o cérebro e a máquina**. 2. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2021.

SANTOS, E. F. **Ergonomia e Novas Tecnologias**. Editora VirtuOS, 2025.

SOUZA, M. T; SILVA, M. D; CARVALHO, R. **Revisão integrativa: o que é e como fazer**. Einstein (São Paulo), v. 8, p. 102-106, 2010.

WISNER, A.; SZELWAR, L. I. **Questões epistemológicas em ergonomia e em análise do trabalho**. In: DANIELLOU, F. (Org.). A ergonomia em busca de seus princípios: debates epistemológicos. São Paulo: Blucher, 2004. p. 29-56.

WOODS, D. D. **The risks of autonomy: Doyle’s catch**. Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 10(2), 131–133, 2016.

Recebido: 20 de maio de 2025

Aprovado: 29 de junho de 2025