

Heuristics for Integrated Interaction (HII): A New Heuristic Evaluation Technique to Identify Usability Problems in HInt Devices

Nasthya Barauna

Universidade Federal do Amazonas
(UFAM)

Manaus, AM, Brazil

nasthya.barauna@icomp.ufam.edu.br

Márcia Lima

Universidade do Estado do Amazonas
(UEA)

Manaus, AM, Brazil

msllima@uea.edu.br

Tayana Conte

Universidade Federal do Amazonas
(UFAM)

Manaus, AM, Brazil

tayana@icomp.ufam.edu.br

ABSTRACT

Background: The complexity of Human-Computer Integration (HInt) devices poses challenges for traditional usability assessment methods, as they involve elements that go beyond the interface, demanding new forms of evaluation. These technologies work in symbiosis with the human body and operate autonomously with the user in real time, requiring specific methods that can identify potential failures. **Aims:** This article introduces the *Heuristics for Integrated Interaction* (HII) technique, designed to identify usability problems in HInt technologies by using criteria tailored to the integration paradigm. **Method:** The technique was developed based on a literature review, followed by an empirical study with experts. The experts applied HII to assess a real-world system, reporting their perceptions about its applicability and effectiveness. **Results:** The results indicated that HII allowed the identification of specific failures not captured by traditional approaches. Participants considered HII's relevance for integrative contexts and suggested structural and linguistic improvements. **Conclusions:** The results reinforce the prediction of the technique as an innovative instrument for usability evaluation in HInt devices, thereby contributing to the improvement of the software quality of these systems.

KEYWORDS

Human-Computer Integration, Heuristic Evaluation, Integrative Systems, Technology Assessment

1 Introdução

Sistemas integrativos representam uma evolução significativa na relação entre humanos e tecnologia, caracterizando-se por sua capacidade de atuar como parceiros inteligentes e proativos [12]. Esses sistemas não apenas respondem a comandos, mas antecipam demandas, adaptam-se dinamicamente e operam com autonomia, visando objetivos comuns ou complementares aos dos usuários [2, 12]. Nos últimos anos, os sistemas integrativos evoluíram de interações tradicionais entre humanos e sistemas computacionais para um modelo mais avançado de profunda colaboração e autonomia, conhecido como Integração Humano-Computador (HInt) [7]. Esse novo paradigma desafia pesquisadores a repensarem o design e a avaliação de tecnologias que estabelecem cooperação entre humanos e máquinas, criando sistemas integrados que compartilham controle ou atuam como extensões naturais do corpo em tempo real [10].

A abordagem tradicional da Interação Humano-Computador (IHC) foca em tornar as interações mais intuitivas e acessíveis, em

que o computador apenas responde às ações do usuário assumindo um papel de subordinado [14]. Já o estudo de integração proposta pela HInt enfatiza a existência de sistemas que são projetados para incorporar as informações através dos sentidos, permitindo-lhes antecipar as necessidades implícitas do usuário [7]. Um exemplo ilustrativo é o caso de um despertador inteligente que, ao processar informações sobre a rotina do usuário e dados de tráfego em tempo real, antecipa o horário do alarme quando detecta congestionamentos no trajeto habitual, garantindo a pontualidade do usuário. Por conta disso, sistemas integrativos conseguem estabelecer uma relação de cooperação complexa com o usuário, trazendo novos obstáculos à avaliação de usabilidade tradicional e tornando essencial a adaptação de métodos originalmente desenvolvidos apenas para interações em interfaces convencionais [4].

Este artigo tem como objetivo apresentar uma nova técnica de avaliação de usabilidade, denominada *Heuristics for Integrated Interaction* (HII), voltada para dispositivos com características integrativas. A HII foi desenvolvida com base nas heurísticas de Nielsen [11], com o objetivo de aprimorar o suporte na identificação de problemas de usabilidade em sistemas integrativos. O artigo também avalia a aplicabilidade e a viabilidade desta nova técnica através de um estudo experimental realizado com 7 especialistas em avaliação heurística, onde foram coletados o quantitativo de infrações identificadas e as percepções dos participantes sobre a experiência de uso da técnica durante a avaliação de uma aplicação integrativa que realiza sua conexão por meio de sensores ou interfaces no ambiente, sem contato físico direto com o usuário (*off-body*).

Foram detectados 35 problemas de usabilidade, relacionados a variados aspectos integrativos, e, mesmo sendo uma técnica inovadora em uma área emergente, o número se manteve estável após correção, o que reforça a confiabilidade na identificação de falhas. Com base na análise dos problemas de usabilidade identificados, foi possível propor uma nova heurística que amplia e complementa o conjunto já estabelecido pela técnica. Do ponto de vista da experiência com a técnica, a maioria dos participantes reconheceu que a estrutura proposta favorece a reflexão sobre aspectos pouco abordados por métodos convencionais, como a confiabilidade dos sensores e sua influência na tomada de decisão. Também é relevante destacar as dificuldades iniciais na aplicação da técnica, principalmente em virtude da grande densidade informacional e sobrecarga visual do material apresentado. Contudo, esse obstáculo foi superado mediante o entusiasmo dos inspetores, que propuseram soluções criativas como: (i) sistemas de checklist, (ii) agrupamento por categorias objetivas e (iii) catálogos visuais mais dinâmicos.

Este artigo apresenta duas contribuições principais. A primeira contribuição é a proposta de uma nova técnica de avaliação de usabilidade adaptada ao novo paradigma da Integração Humano-Computador (HInt) que garante a qualidade em sistemas integrativos nos quais heurísticas convencionais se mostram limitadas diante dos desafios impostos pela integração de elementos sensoriais, físicos e contextuais [5]. A segunda contribuição é a avaliação da técnica proposta por especialistas da área, uma etapa metodológica essencial para garantir sua efetividade em contextos reais de uso, como demonstrado por estudos similares [1, 4, 9], que envolvem avaliadores para validar heurísticas específicas.

2 Trabalhos Relacionados

Estudos recentes destacam a importância de abordagens teóricas e metodológicas para a análise e classificação de tecnologias emergentes no campo da Integração Humano-Computador (HInt).

Barbosa et al. [3] conduziram uma revisão sistemática da literatura para caracterizar o conceito e o paradigma emergente da Integração Humano-Computador (HInt). Seus resultados evidenciam que a HInt se distingue da IHC tradicional ao propor uma relação de parceria entre humanos e tecnologias, onde ambos possuem autonomia para colaborar em objetivos comuns. A revisão identificou quatro dimensões principais do paradigma: (i) Os agentes no controle que exploram como a responsabilidade pela ação é distribuída entre humanos e sistemas; (ii) Os níveis de integração que descrevem a escala da conexão; (iii) Os tipos de integração que focam na natureza da relação. Principalmente, falamos de fusão, onde a tecnologia se torna uma extensão direta do corpo humano, e simbiose, que mantém identidades distintas em uma colaboração complementar; (iv) Os tipos de tecnologias envolvidas se classificam pela sua integração com o corpo. Elas podem ser in-body (dispositivos implantados no corpo), on-body (vestíveis integrados à superfície corporal) e off-body (sistemas externos que se integram com o usuário). Além disso, foram destacados desafios relacionados à HInt, como impactos humanos, desafios de design e avaliação, além da necessidade de novas teorias e métodos para consolidar esse paradigma.

Cornelio et al. [5] realizaram uma revisão da literatura com foco no papel do senso de agência (SoA) em tecnologias emergentes de Integração Humano-Computador. O estudo propôs uma classificação dessas tecnologias em três categorias: (i) Aumento do corpo, que abrange dispositivos como próteses e membros extras; (ii) Aumento da ação, que inclui sistemas como exoesqueletos e estimulação elétrica muscular; e (iii) Aumento do resultado, que ajusta a percepção do ambiente para alinhar efeitos percebidos às intenções do usuário, como em ilusões de realidade virtual. Seus resultados mostram a interdependência entre o nível de assistência, a delegação de agência (humano ou tecnologia) e o tipo de integração (fusão ou simbiose), além de discutir os desafios e oportunidades dessas tecnologias para a experiência do usuário.

Barbosa and Prates [2] exploraram a aplicabilidade da Engenharia Semiótica (EngSem) no contexto da Integração Humano-Computador (HInt). O estudo seguiu quatro etapas: (i) uma revisão sistemática da literatura que identificou 33 tecnologias de HInt; (ii) a classificação dessas tecnologias com base em atributos como nível de autonomia, tipo de integração e acoplamento físico; (iii) a análise

dos conceitos da EngSem para verificar sua adequação à HInt; e (iv) a proposta de uma extensão da ontologia da EngSem para representar melhor a comunicação entre humanos e tecnologias parceiras. Os resultados sugerem que a EngSem pode ser utilizada para estruturar a HInt, desde que sejam feitas adaptações, como a inclusão de elementos como "Múltiplos Projetistas", "Metacomunicação Integrada" e "Comunicabilidade Integrada".

Esses três estudos analisados fornecem base sólida para a condução deste trabalho, pois abrangem a revisão do contexto teórico, a classificação de tecnologias e um exemplo prático de experimentação utilizando a Engenharia Semiótica. Contudo, nenhum deles propõe uma metodologia de avaliação adaptada ao paradigma da HInt, ajustando as práticas existentes para esse contexto tecnológico. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é propor e avaliar um conjunto de heurísticas específicas para sistemas integrativos, focando em quatro dimensões críticas da HInt: (i) Personalização, (ii) Visibilidade, (iii) Adaptabilidade e (iv) Captação de Sinais. Essas heurísticas visam apoiar a avaliação de usabilidade de sistemas integrativos para melhorar a qualidade.

3 Desenvolvimento da *Heuristics for Integrated Interaction*

Nesta seção são descritas as etapas de desenvolvimento do HII e seus resultados (Figura 1). A Seção 3.1 detalha o processo de criação da técnica, enquanto a Seção 3.2 apresenta a HII desenvolvida com maior profundidade.

3.1 Etapas de Desenvolvimento da Técnica

A técnica *Heuristics for Integrated Interaction* foi criada com o objetivo de permitir que um avaliador inspecione a qualidade da experiência do usuário ao interagir com dispositivos de Integração Humano-Computador (HInt). Inicialmente, a HII foi desenvolvida a partir de uma revisão da literatura sobre estudos recentes na área de pesquisa. Após o embasamento técnico, realizamos uma inspeção prática com um sistema integrativo aplicando as heurísticas de Nielsen. Dentre as infrações descritas, selecionamos aquelas que não eram contempladas pelas categorias que existem e eram problemas de integração com o sistema. Para evitar repetições, as ocorrências foram agrupadas, revisadas e, enfim, foi definida a primeira versão das novas heurísticas que compõem a técnica.



Figure 1: Etapas para a escrita da técnica

Revisão na Literatura: A primeira etapa para a elaboração da técnica, que consistiu em estudar a estruturação do campo da HInt, teve o objetivo de compreender aspectos como o nível de autonomia

e o tipo de acoplamento corporal existentes. Com base nessa análise inicial, foi possível identificar e filtrar os tipos de tecnologias de interesse deste estudo, priorizando aquelas com maior acessibilidade para os participantes. Desta forma, foi adotada a seguinte configuração: (i) **Autonomia Humana**, em que a tecnologia atua como um agente passivo, seguindo as configurações e comandos do usuário, e (ii) **On-Body**, em que a tecnologia está diretamente em contato com o usuário, mas de forma não invasiva [10].

Inspeção Prática: Posteriormente, foi realizado um estudo experimental de caso único ($N = 1$), no qual a pesquisadora atuou como participante com o objetivo de identificar problemas de integração em sistemas integrativos durante atividades físicas. Essa primeira inspeção teve caráter exploratório e serviu para levantar indícios iniciais de falhas. Para reduzir possíveis vieses, os problemas identificados foram posteriormente revisados e validados em conjunto com as coautoras do trabalho, garantindo maior rigor e isenção no processo de definição das heurísticas.

Nele foram utilizados dois dispositivos: um telefone pessoal e um relógio inteligente, analisados em condições de movimento e de repouso que resultaram em quatro cenários distintos. Para cada cenário, foi estabelecido um período de 30 minutos, e durante a execução foram registradas falhas de integração em um caderno de anotações. Ao final, foi realizada a categorização segundo heurísticas adaptadas de Nielsen.

Seleção e Descrição das Heurísticas: Como resultado, 35 problemas foram identificados e submetidos a várias reavaliações críticas através da revisão por pares com as coautoras que são especialistas e possuem experiência em inspeção de usabilidade e IHC. A primeira filtragem removeu quaisquer problemas que não eram relacionados ao contexto integrativo. Apenas 17 problemas permaneceram após este processo.

Em seguida, foram selecionados os problemas que abordavam o contexto de integração, descartando aqueles que ainda apresentavam elementos que poderiam ser classificados utilizando as heurísticas de usabilidade de Nielsen. Para tanto, foram descritos os problemas e as soluções para resolvê-los, sempre observando se o problema está em um contexto de integração entre usuário e dispositivo. Como, por exemplo, a descrição do seguinte problema "*A tela de configuração inicial não indica o status da configuração que é feita quase que automaticamente por bluetooth. Não mostra se conectou ou o andamento do progresso.*", que poderia ser resolvido melhorando a visualização nas etapas de configuração, usando textos informativos a cada etapa para mostrar o progresso geral de configuração.

Desta forma, os 11 problemas remanescentes foram analisados quanto à similaridade e agrupados, resultando na definição de 7 tipos distintos de problemas integrativos que cobriam três partes do dispositivo integrativo: software, hardware e sensor. Essas ocorrências também foram analisadas em uma extensa discussão para definição do escopo final, com o objetivo de filtrar soluções aplicáveis à maioria dos sistemas integrativos. Ao final desse processo, optou-se por concentrar a técnica nas infrações mais representativas que melhor capturam os princípios essenciais da integração, evitando depender de configurações específicas como as de relógios inteligentes.

3.2 Descrição da Técnica

A primeira versão da *Heuristics for Integrated Interaction* é composta por elementos como: descrição, motivação, exemplos de aplicação prática (correto e incorreto), palavras-chave relacionadas, problemas comuns e recomendações. Esses componentes foram organizados para proporcionar uma visualização clara e facilitar a identificação de infrações de usabilidade em tecnologias HInt, conforme ilustrado na Figura 2.

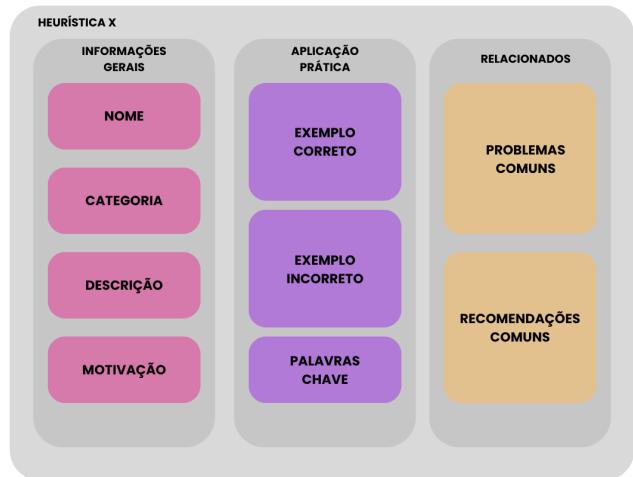


Figure 2: Modelo de Ficha Heurística (HII), dividida em três seções.

As heurísticas propostas atendem às demandas de uma integração consistente, definidas pelas categorias: personalização, visibilidade, adaptabilidade e precisão. Nesse escopo, as duas primeiras heurísticas focam em resolver problemas de integração entre o dispositivo e o usuário, garantindo que o dispositivo seja personalizável e que os dados coletados sejam claros e acessíveis. Enquanto isso, a terceira heurística aborda a integração física voltada ao conforto e à ergonomia do dispositivo para com o usuário. Por fim, a quarta heurística lida com a precisão na captação de sinais corporais, cobrindo falhas de integração entre a captura de dados e o usuário, assegurando que eles sejam confiáveis e consistentes. A seguir, as quatro heurísticas são detalhadas.

(1) Heurística de Flexibilidade e Eficiência de Uso da Personalização Comprometidas (H1.P)

Categoria: Personalização

Descrição: Esta heurística destaca a importância da capacidade do dispositivo de se adaptar às necessidades e preferências do usuário de forma eficiente e intuitiva. Quando a tecnologia não oferece ferramentas de personalização acessíveis e o usuário não consegue configurar corretamente o sistema integrativo, comprometendo a experiência do usuário. A violação dessa heurística em uma avaliação demonstra que a tecnologia integrada não deve apenas responder às demandas do usuário, mas também se ajustar dinamicamente a diferentes contextos e necessidades, promovendo uma integração mais personalizada e flexível. **Palavras-chave:** Difícil de Configurar

Exemplo Correto: Um dispositivo *wearable* que permite ao usuário ajustar as preferências de monitoramento de saúde para diferentes atividades, como corrida ou caminhada.

Exemplo Incorreto: Um relógio inteligente que monitora o sono, mas não permite ao usuário ajustar as horas de sono ideais ou configurar notificações de descanso conforme suas necessidades específicas.

(2) Falta de Visibilidade da Integração das Informações para Eficiência de Uso (H2.V)

Categoria: Visibilidade

Descrição: A segunda heurística enfatiza a necessidade de que sistemas HInt apresentem as informações de forma clara, acessível e contextualizada ao usuário. Quando as informações relevantes não são exibidas de maneira intuitiva ou estão ocultas, o usuário pode sentir-se desconectado do sistema integrado, prejudicando a sensação de integração e a eficiência. A violação dessa heurística aponta a necessidade de se criar uma tecnologia em que o usuário se sinta verdadeiramente integrado ao dispositivo, com acesso imediato e compreensível aos dados necessários para uma experiência fluida e eficiente. **Palavras-chave:** *Falta de Visibilidade e Falta de Clareza*

Exemplo Correto: Uma interface que apresenta informações de saúde em um layout claro e intuitivo, permitindo que o usuário acesse rapidamente os dados de monitoramento em tempo real.

Exemplo Incorreto: Um dispositivo com interface confusa e sobrecarregada, onde as informações são difíceis de encontrar, prejudicando a experiência de uso.

(3) Adaptabilidade Física e Conforto para Eficiência de Uso (H3.A)

Categoria: Adaptabilidade

Descrição: A terceira heurística aborda a importância da integração física entre a tecnologia e o usuário, garantindo que a conexão ocorra de maneira natural e confortável. Para que um dispositivo integrativo funcione de forma eficiente, ele deve se adaptar a diferentes tipos de corpos e contextos de uso, sem causar desconforto, incômodo ou restrições ao usuário. Quando o design físico do dispositivo não considera a ergonomia ou a diversidade de usuários, ele pode comprometer a qualidade da integração e, consequentemente, a eficiência da coleta de dados. A violação dessa heurística reforça a importância de assegurar que a tecnologia seja acessível e confortável, promovendo uma experiência de uso inclusiva, onde o usuário se sinta plenamente integrado ao dispositivo. **Palavras-chave:** *Não Ajustável, Desconforto Físico e Falta de Adaptabilidade*

Exemplo Correto: Um relógio ajustável que permite se adaptar a diferentes tipos de corpos sem causar desconforto, garantindo a coleta precisa de dados.

Exemplo Incorreto: Um acessório digital rígido que não se ajusta ao usuário, causando desconforto ou dificultando o uso prolongado.

(4) Confiabilidade na Captação de Sinais Corporais para uma Integração Eficiente (H4.C)

Categoria: Confiabilidade

Descrição: A quarta heurística enfatiza a necessidade de que os dispositivos integrativos operem com alta precisão, confiabilidade e mecanismos de verificação, tanto na captação automática por sensores quanto na coleta de dados inseridos pelo usuário. O sistema deve ser capaz de interpretar corretamente os sinais corporais e os registros informados durante o processo de integração, compreendendo a rotina e as necessidades do usuário de maneira coerente e verificável. Falhas na detecção, imprecisões nos sensores, dados coletados de forma incorreta comprometem a capacidade da solução de responder adequadamente às demandas do contexto. A violação dessa heurística ressalta que a tecnologia seja confiável e segura para apoiar as atividades do usuário com plenitude.

Palavras-chave: *Não Confável, Impreciso e Irregular*.

Exemplo Correto: Um *smartwatch* que ajusta automaticamente a medição da frequência cardíaca durante exercícios e repouso, oferecendo dados precisos e alertando sobre irregularidades reais.

Exemplo Incorreto: Um *smartwatch* que mede a oxigenação do sangue, mas apresenta falhas em ambientes com baixa iluminação ou temperaturas extremas, resultando em leituras inconsistentes e pouco confiáveis.

4 Estudo de Viabilidade

Durante as etapas do estudo experimental, que contou com a participação de 7 especialistas em IHC, foram disponibilizados os seguintes instrumentos: (i) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), (ii) Material de apresentação HInt, (iii) Heurísticas da *Heuristics for Integrated Interaction*, (iv) Manual de Execução, (v) Objeto de Estudo, (v) Planilha Individual de Registro das Infrações, (vi) Questionário de Feedbacks.

O TCLE foi aplicado para formalizar o consentimento dos especialistas quanto à sua inclusão no estudo, assegurar seu anonimato e participação voluntária no estudo. O material de apresentação do HInt foi elaborado para orientar os participantes sobre a tecnologia HInt, seu funcionamento prático e nível de autonomia. O material de apresentação HInt também foi utilizado para contextualizar os objetivos da pesquisa e explicar a fundamentação da técnica. Desta forma, foi proporcionada aos inspetores maior liberdade para explorar integralmente o documento das Heurísticas da Técnica, permitindo-lhes formular avaliações sobre todos os aspectos da técnica.

Para garantir a correta execução por parte dos participantes e manter o rigor metodológico, foi elaborado um manual de execução detalhado contendo todas as etapas do processo experimental. O manual de execução do estudo experimental contém orientações sobre: (i) instalação do aplicativo que será o objeto de estudo; (ii) leitura do material explicativo que descreve a técnica HII proposta; (iii) execução da avaliação de integratividade do aplicativo objeto de estudo; (iv) preenchimento formal da planilha de infrações identificadas; e (v) preenchimento do formulário de *feedback*.

O objeto de estudo selecionado foi o aplicativo **Freeletics**, utilizado na inspeção de usabilidade com o objetivo de avaliar a integração do sistema. Por ser gratuito, amplamente acessível e compatível com dispositivos móveis, ele se mostrou uma solução viável para diferentes usuários. Além disso, opera de forma não invasiva sobre o corpo do usuário, alinhando-se à configuração on-body proposta, e respeita a autonomia humana, já que seu funcionamento depende de comandos manuais sem interferir diretamente no controle das ações realizadas. Ao final da avaliação de integratividade, uma planilha individual foi preenchida para documentar formalmente as infrações identificadas com base nas heurísticas da técnica HII ou no material de apresentação HInt.

Para complementar a análise qualitativa da técnica desenvolvida, foi aplicado um questionário de feedback com o objetivo de captar a percepção dos participantes quanto à clareza, aplicabilidade e efetividade das heurísticas no contexto integrativo do HInt. O questionário contém perguntas abertas e reflexivas, como: (i) "Como foi a experiência de uso da técnica HInt? A técnica foi clara e aplicável no contexto do Freeletics?", (ii) "Houve alguma heurística difícil de entender ou aplicar? A técnica permitiu identificar problemas significativos para o usuário final?", (iii) "Os defeitos encontrados poderiam ser identificados por técnicas heurísticas tradicionais?" e (iv) "Como você compararia esta técnica com outras técnicas de avaliação heurística já utilizadas?".

4.1 Condução

No primeiro momento, foram conduzidas reuniões remotas com cada participante. As reuniões foram feitas via Google Meet e tinham o objetivo de apresentar o conceito de HInt, a motivação da pesquisa, o funcionamento da inspeção de usabilidade e esclarecer as dúvidas dos participantes acerca do experimento. No total, foram realizadas 7 reuniões, com duração média de 30 minutos. Ao final da reunião, os 7 participantes receberam por e-mail todo o material necessário para realizarem suas inspeções de usabilidade.

No segundo momento, de acordo com o planejamento do processo de avaliação do sistema integrativo usado no estudo, o *Freeletics*, foi definido que os participantes deveriam utilizar o aplicativo, no mínimo, três vezes. Essa restrição foi estabelecida para assegurar que o sistema fosse capaz de compreender o perfil do usuário e integrar-se adequadamente a ele. Durante o período de utilização e avaliação do aplicativo, os participantes registravam as infrações de usabilidade identificadas na planilha individual de registro das infrações, enquanto o primeiro autor desta pesquisa se disponibilizou a sanar quaisquer dúvidas que pudessem surgir.

Por fim, no terceiro momento, quando participantes confirmavam a realização completa do teste, foi aplicado o questionário de *feedback* tanto em formato de entrevista quanto por formulário, com o objetivo de obter percepções sobre o material e a experiência com a técnica *Heuristics for Integrated Interaction*.

5 Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados do estudo experimental: a Seção 5.1 descreve os resultados das inspeções de usabilidade, enquanto a Seção 5.2 discute a percepção dos participantes sobre a utilização da técnica HII.

5.1 Classificação e Revisão das Infrações por Heurísticas

A análise dos resultados seguiu os princípios metodológicos propostos por Freitas and Moscarola [8], que destacam a importância da tabulação simples como etapa inicial para a compreensão do campo empírico. A Figura 3 apresenta a quantidade de infrações registradas por participantes identificadas durante a inspeção prática de usabilidade.

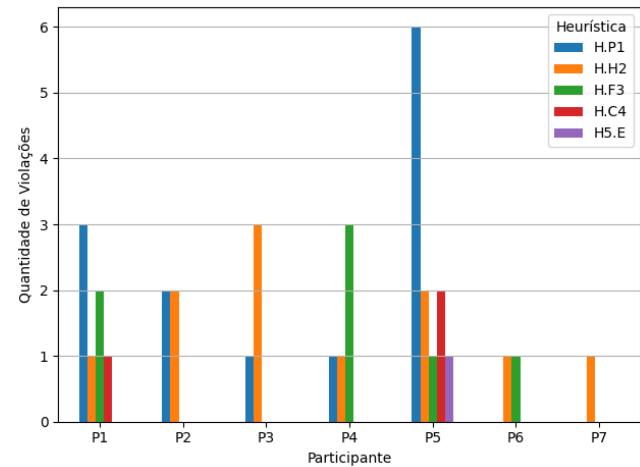


Figure 3: Número de infrações por Heurística

A análise inicial dos dados da Figura 3 mostra que a heurística H1.P concentrou a maior parte das infrações identificadas, totalizando 13 ocorrências. Esse padrão indica que os avaliadores reconheceram com mais facilidade os problemas relacionados a essa heurística, seja devido à sua maior frequência no sistema integrado. Por outro lado, a heurística H4.C registrou apenas 3 ocorrências, indicando que esses problemas foram menos perceptíveis pelos inspetores. No entanto, é importante destacar que essas violações existiam, mas eram mais difíceis de identificar, por exigirem uma análise mais aprofundada dos conceitos de HInt. Considerando o número total de violações identificadas, o participante P5 foi o que mais reportou infrações, no total de 12, sugerindo uma expertise acima da média, maior engajamento ou até mesmo um cenário de inspeção de usabilidade com mais problemas.

ID	Heurística Infingida	Descrição do Defeito	Sugestão de Melhoria	Tr. Local	É semelhante a outra violação?	Nível de Adversação	Sugestão de Heurística	Observações
E606	Confidabilidade na Captação de Sinais Corporais para uma Execução Eficiente	"Adicionei o treino (flexível), não consegui fazer todos os exercícios"	O app deveria mostrar uma tela para selecionarmos os exercícios da sequência sugerida.	Botão "adicionar treino"	S	Ok		Falta na captação de sinais/dados do usuário
E607	Confidabilidade na Captação de Sinais Corporais para uma Execução Eficiente	O app não pediu para eu "monitorar meus batimentos cardíacos", por exemplo	Por ser um app que envolve atividade física, é necessário que o app capture retornos do estado físico dos classificadores para a realização dos exercícios.	Botão "adicionar treino"	E101	S	Ok	Apesar da heurística ser mais a nível com o sensor funcionando, isso não é algo válido a ser pontuado, já que é um aplicativo que passa informações fisiológicas e a frequência cardíaca deveria ser relevante

Figure 4: Planilha de Organização da Correção de Infrações

Após o levantamento quantitativo das infrações reportadas pelo inspetor, deu-se início à análise qualitativa dos dados pelo primeiro autor desta pesquisa. Este processo consistiu inicialmente em reunir todas as infrações em uma tabela e, por meio de leitura manual,

rastrear repetições e agrupá-las por similaridade através de seus códigos (ID), conforme mostrado na Figura 4. Em seguida, cada infração foi analisada individualmente para verificar sua adequação à heurística correspondente, seguindo uma escala de 1 a 5, em que 5 representa a máxima adequação entre a infração e a descrição da heurística. Além da nota, cada infração recebeu um comentário justificativo para auxiliar no processo de validação com dois especialistas da área de IHC. Durante esse processo de validação, quando a heurística original indicada pelo inspetor não se adequava à infração identificada, foi proposta outra heurística HInt mais adequada para substituir. Em seguida, todas as infrações foram revisadas para garantir que de fato corressem ao contexto de integração entre o dispositivo e o humano. Esse processo foi repetido várias vezes pelos autores, tanto individualmente quanto em grupo, até que houvesse consenso nas avaliações e os dados pudessem ser validados.

		Matriz de Confusão				
		H1.P	H2.V	H3.A	H4.C	H5.E
Real	H1.P	10	2	0	0	0
	H2.V	1	8	0	0	0
Real	H3.A	3	0	5	0	0
Real	H4.C	0	1	0	3	0
Real	H5.E	1	0	0	0	1
		H1.P	H2.V	H3.A	H4.C	H5.E

Figure 5: Matriz de Confusão: Validação de Infrações por Inspetores vs. Especialista em IHC

A Figura 5 é uma matriz de confusão que detalha a validação das infrações encontradas pelos inspetores e validadas pelos especialistas. Em relação à heurística H1.P, os especialistas validaram que, das 12 respostas classificadas pelos inspetores, 10 estavam corretamente adequadas a essa heurística, enquanto 2 foram confundidas com H2.V. Já nas 9 ocorrências registradas como H2.V, 8 foram validadas, mas 1 foi erroneamente atribuída a H1.P. Isso indica uma sobreposição entre as duas heurísticas devido à sua relação intrínseca: uma boa personalização (H1.P) depende diretamente de uma apresentação clara (H2.V). Apesar de apenas 9 infrações terem sido classificadas no total como H2.V, inicialmente foram identificadas 11. No entanto, duas delas foram excluídas na validação por se referirem a problemas de integração de interface, o que foge ao escopo do nosso estudo. Exemplos de trechos dessas infrações excluídas: *"O design do app opta por não dividir claramente diferentes seções de uma tela e o esquema de cores escolhido acaba dificultando o entendimento do que é uma opção, o que é um título de sessão, o que é um botão, etc."* e no trecho *"No topo da tela fica fixo um calendário semanal, porém ele é inconsistente na sua representação das datas: os dias que não forem o atual são*

representados pelos seus nomes de dia da semana, enquanto que o dia atual é exibido com a data numérica, criando um padrão visual confuso e pouco previsível para o usuário."

Prosseguindo para a análise da heurística H3.A, 5 das 8 infrações classificadas pelos inspetores foram atribuídas corretamente, 3 foram confundidas com a H1.P e 2 foram removidas. A primeira infração *"O aplicativo não tem uma aprendibilidade boa. Demorei para compreender que teria que usar treinos desbloqueados, onde eles mostram primeiro a montagem de treino para versões compradas."*, fala sobre problemas de interação, especificamente sobre a heurística H6: Reconhecimento em vez de memória [11]. Uma segunda infração foi excluída por se tratar de uma duplicata já classificada corretamente como H1.P, conforme evidenciado pelo trecho *"Eu costumava utilizar aplicativos parecidos durante a pandemia, os quais sempre me permitiram a personalização de exercícios no sentido de "se você não consegue fazer desse jeito, faça jeito". E este aplicativo não me permite esse tipo de customização..."*. Na classificação da heurística H4.C, 3 das 4 infrações reportadas pelos inspetores foram validadas como corretas, enquanto uma foi erroneamente atribuída à H2.V. Embora menos frequente que outras, esta heurística apresentou classificações mais precisas, sugerindo que sua descrição foi compreendida com maior clareza pelos inspetores. Por fim, a heurística H5.E, cujo desenvolvimento será explicado na seção sobre a evolução da técnica, surgiu de infrações não enquadráveis nas HII originais, porém ainda contida no contexto de integração. Dos dois casos relatados, um foi corretamente classificado como H5.E e outro erroneamente como H1.P.

Após o processo de validação, a distribuição das infrações heurísticas por participante ocorreu conforme a Figura 6:

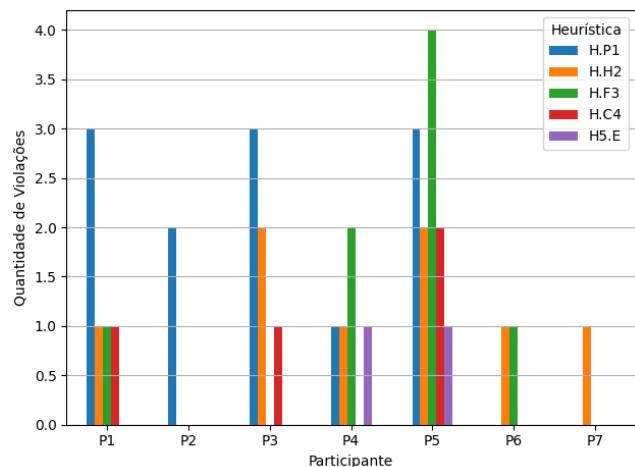


Figure 6: Correção de infrações por Heurística

Em comparação com a Figura 3, podemos observar que, embora o número total de infrações tenha se mantido o mesmo, a validação dos especialistas resultou em uma redistribuição mais precisa das classificações entre heurísticas. Isso ocorre porque, do total de 35 infrações classificadas pelos inspetores, apenas 27 foram diretamente confirmadas pelos especialistas. As demais ocorrências apresentaram discordâncias, seja por confusão na descrição dentre

heurísticas (8 casos) e classificações incorretas descartadas (4 casos), conforme explicado na Figura 5.

5.2 Percepção dos participantes sobre a técnica HII

ID	Clareza/ Aplicabilidade	Dificuldade com Heurística	Problemas Significativos	Detectáveis por Técnicas Tradicionais?	Sugestões
E01	Técnica dinâmica e facilmente aplicável	Heurística 2 confusa no contexto	Sim, adaptabilidade e segurança	Parcial	Fusão de heurísticas, maior clareza na personalização
E03	Nomes longos, confusos	Confusão entre heurísticas 1, 3, 4	Sim, integração limitada por falta de recursos	Não totalmente	Simplificar nomes, fundir heurísticas, renomear arquivo
E04	Clara, mas difícil de aplicar no Freeletics	Nenhuma relatada	Sim, falta de orientação no app	Sim	Aplicar em apps com mais co-dependência
E05	Compreensiva com exemplos, mas apresentação fraca	Heurísticas parecidas e confusas	Sim, personalização e flexibilidade comprometidas	Parcial	Guia visual, usar palavras-chave, esclarecer critérios
E06	Clara, mas muita informação	Nenhuma clara, apenas sobrecarga de conteúdo	Sim, flexibilidade, confiabilidade, segurança	Não para sensores	Catálogo visual com exemplos
E07	Muito difícil de entender, falta de clareza	Heurística 2 difícil, 3 parcialmente clara	Parcialmente, mas heurísticas fazem sentido	Sim, H2 detectável	Melhorar clareza do documento

Figure 7: Matriz de Respostas Codificadas

Os dados das entrevistas foram sistematizados em uma matriz de codificação conforme demonstrados na Figura 7, projetada para avaliar cinco dimensões da experiência com a técnica: (i) Experiência com HInt (Clareza/ Aplicabilidade); (ii) Heurística Difícil de Entender/Aplicar; (iii) Identificação de Problemas Significativos; (iv) Defeitos Detectáveis com Técnicas Tradicionais; (v) Sugestões de Melhoria para HInt. Na dimensão de clareza e aplicabilidade, os participantes avaliaram tanto a comprehensibilidade da descrição da HII quanto sua aplicação no experimento. Verificou-se que, embora a técnica seja clara, o excesso de dados em sua apresentação dificulta a aplicação durante a inspeção prática. Para contornar esse desafio, os participantes recorreram aos exemplos fornecidos, que ajudaram a compreender melhor o contexto e tirar possíveis dúvidas. Como relatado por P2: "Com muitas informações no início, me senti confuso sobre por onde começar". De forma semelhante, P6 complementa: "Só pelo nome da heurística, eu não conseguia entender a técnica. Aí só consegui entender melhor ela quando eu li o exemplo e os problemas". Já P4 reforçou que "a técnica é possível de entender através dos exemplos mostrados, mas a apresentação dela poderia ter sido mostrada de forma melhor", demonstrando que, apesar da dificuldade de compreensão inicial, a estrutura da técnica ainda oferecia suporte à compreensão.

Na segunda dimensão em respeito à dificuldade de aplicação, o primeiro autor desta pesquisa buscou identificar quais heurísticas foram percebidas como mais complexas de entender ou utilizar

no contexto analisado. Embora a maioria dos participantes tenha conseguido aplicar as heurísticas, foram apontados obstáculos relacionados à clareza conceitual de algumas heurísticas e à dificuldade de adaptá-las ao aplicativo. Como destacou P7: "Como algumas heurísticas não eram aplicáveis ao aplicativo, do meu ponto de vista foi possível avaliar em apenas duas das heurísticas", embora todas as heurísticas sejam aplicáveis ao objeto de estudo escolhido. De forma semelhante, P2 especificou: "Fiquei confuso entre o que era 'Dispositivo Humano (Físico)' e 'Sensor-Humano', porque os dois citam smartwatches como exemplo, enquanto o teste prático feito por mim foi com um aplicativo". Já P4 reforçou que "algumas heurísticas pareciam ser as mesmas coisas, o que dificultou eu achar um problema e dizer em qual se encaixa melhor". Essas falas demonstram que, apesar do esforço de aplicação, a formulação das heurísticas como: H3.A e H4.C, geraram interpretações ambíguas sobre seu escopo e aplicabilidade, especialmente quando a tecnologia avaliada não envolvia dispositivos físicos conectados ao corpo.

Na terceira dimensão referente à identificação de problemas, buscou-se compreender se a técnica permitiu aos participantes identificar falhas distintas e relevantes no contexto integrativo. De modo geral, a técnica possibilitou observar falhas que evidenciam muitos aspectos de integração que impactam diretamente a experiência do usuário. Como destacou P5, "esse experimento me permitiu ver como a confiabilidade na captação de sinais pode ser crítica. Se o sensor não fizer a leitura correta, eu posso tomar uma decisão errada, principalmente em um contexto de saúde". De forma semelhante, P4 reconheceu que "a personalização pesou muito para mim e eu não teria percebido isso se não tivesse utilizado as heurísticas". Já P1 afirmou que a técnica evidenciou problemas de flexibilidade e clareza no uso da plataforma, ao comentar: "Eu demorei para me adaptar montei o treino e só depois descobri que era para assinantes. Isso deveria estar mais claro". P3 reforçou a relevância da técnica para apontar falhas de visibilidade e orientação, ao dizer: "me ajudou a perceber que o aplicativo não segue um padrão integrativo claro, principalmente na forma como apresenta as informações. Algumas coisas não estavam visíveis ou claras o suficiente, e isso dificultava o entendimento durante o uso para personalização". P7 também identificou questões ligadas à falta de feedback e acompanhamento, afirmando: "Com a técnica, percebi que não era possível marcar exercícios como finalizados ou ver um dashboard com calorias perdidas, informações essenciais para atender minhas necessidades". Essas falhas demonstram que a técnica HII permitiu a identificação de problemas diversos e de entendimento do contexto e forneceu aos participantes uma nova perspectiva sobre aspectos de integração do sistema que antes passavam despercebidos.

Na quarta dimensão, voltada à comparação com heurísticas tradicionais, buscou-se compreender se os participantes consideraram que os problemas identificados poderiam ser detectados por abordagens convencionais de avaliação. Quatro dos sete participantes (P1, P3, P5, P6) reconheceram que certos aspectos da heurística H2.V, especialmente os relacionados à visibilidade da informação, poderiam ser também captados por técnicas tradicionais. Como apontou P6, "Para esse problema específico de visibilidade, acho que as heurísticas de Nielsen conseguiriam pegar, mas não para integração". P3 complementou: "Acho que essa de visibilidade (H2.V), sim, daria pra perceber com heurísticas comuns, porque o app falha mesmo em mostrar claramente as informações". No entanto, a visibilidade

abordada pela técnica vai além da interface, pois está diretamente relacionada à integração. Para que a personalização funcione de forma adequada, o usuário deve monitorar e interagir com os dados integrados, garantindo que a personalização reflita suas necessidades reais. Caso contrário, a integração entre dispositivo e usuário é comprometida.

Por outro lado, todos os participantes reconheceram o diferencial da técnica HII ao lidar com aspectos próprios da HIInt. Como afirmou P3: “*Ela vai além da parte visual. As heurísticas tradicionais não me fariam pensar sobre confiabilidade ou como o sistema se adapta ao meu corpo*”. De forma semelhante, P5 comentou: “*Se eu usasse só uma heurística tradicional, talvez eu não pensasse no impacto que a confiabilidade do sensor tem na minha tomada de decisão*”. Já P1 observou que “*as heurísticas comuns não cobrem bem essa parte da personalização ou da relação com outros dispositivos. A HII força a gente a olhar pra isso*”. P4 reforçou que a técnica despertou atenção para aspectos geralmente ignorados: “*Ela me fez pensar na adaptação do exercício ao meu corpo e nos limites que o aplicativo impõe sem avisar*”. Essas falas evidenciam o caráter inovador da técnica HII, projetada justamente para abordar dimensões que escapam às abordagens tradicionais e encontrar problemas que comprometam a experiência do usuário.

Na última dimensão analisada, buscou-se reunir as sugestões dos participantes para o aprimoramento da técnica, no que diz respeito à clareza, aplicabilidade e relevância das heurísticas. A maioria das contribuições destacou a necessidade de tornar as descrições mais objetivas e acessíveis, com foco na aplicabilidade prática. Como sugeriu P2: “*Acho que poderia vir com uma explicação mais direta, com menos termos técnicos e mais foco no que a gente realmente tem que observar*”. De forma semelhante, P6 apontou que a estrutura poderia ser mais amigável: “*Talvez se as heurísticas fossem agrupadas ou reformuladas como checklist, ajudaria a aplicar mais rápido e com menos confusão*”. P4 também reforçou a importância da organização: “*A apresentação dela poderia ter sido mostrada de forma melhor, com as categorias mais separadas, mais claras*”. Além disso, alguns participantes sugeriram adaptações voltadas ao tipo de sistema avaliado, como indicado por P7: “*Seria legal ter versões diferentes da técnica para tipos de sistemas diferentes, porque em aplicativos algumas coisas não se aplicam*”. Essas contribuições reforçam que, apesar do potencial da técnica, ajustes na forma de apresentação das heurísticas que compõem a técnica HII e a linguagem podem ampliar sua efetividade e facilitar sua adoção em contextos diversos de avaliação integrativa.

6 Evolução da Heuristics for Integrated Interaction

Diante dos resultados obtidos desse estudo experimental, é possível refletir sobre os desdobramentos da técnica proposta, assim como apontar direções para investigações futuras. Como destacado por [13], o campo de Human-Computer Integration (HIInt) vem se expandindo rapidamente, ramificando-se em diversas direções conceituais e revela um cenário onde novos conceitos emergem antes mesmo de haver consenso sobre definições anteriores. Esse desafio reforça a necessidade de métodos avaliativos que acompanhem a evolução do campo e considerem as particularidades das novas

formas de integração, à medida que as fronteiras entre humano e máquina se tornam cada vez mais tênues [6].

Embora as heurísticas originais da HII contemplem seus domínios propostos, durante a análise das infrações relatadas pelos inspetores, uma lacuna crítica foi revelada: a necessidade de garantir conexão contínua entre sistemas integrativos. O P6 descreveu que: “*Perdi a conectividade com a internet e não consegui ver os vídeos*”, enquanto o P2 complementou descrevendo que: “*... Durante o meu cadastro, minha internet oscilou por um momento e fui levado a uma tela de erro genérica de browser, e precisei fechar e abrir o app de novo, além de ter que recomeçar meu cadastro*”. Em sistemas integrativos, múltiplos serviços atuam simultaneamente, exigindo que a transmissão de informações entre eles seja capaz de detectar, comunicar e mitigar falhas técnicas de forma transparente ao usuário.

A **heurística H5.E – Estabilidade de Conectividade Crítica** – estabelece que esses sistemas que dependem de transmissão contínua de dados entre dispositivos integrativos (como *wearables* de saúde) devem garantir mecanismos de reconexão automática, alertas claros de falha e modos alternativos de operação offline sempre que possível. Uma vez que a perda de conexão entre dispositivos pode colocar a segurança e a saúde do usuário em risco. Assim como a ausência de notificações claras ou a interrupção abrupta da experiência reduz a confiança e pode gerar situações perigosas. Categoría: Estabilidade Exemplo correto: Um sensor de glicose que perde conexão com o celular deve alertar imediatamente o usuário de forma sonora e visual e, ainda, manter uma cópia local dos dados enquanto reconecta.

Quanto à experiência com a técnica, os participantes também trouxeram *insights* relevantes para o aprimoramento da técnica. Entre as sugestões mais recorrentes, destacam-se a elaboração de um catálogo ilustrado e a adoção de uma linguagem mais direta e acessível para facilitar a aplicação da técnica em diferentes cenários e solucionar os problemas de ambiguidade que surgiram. Essas recomendações apontam para a importância de tornar a HII não apenas conceitualmente robusta, mas também funcional. Como mostra a Figura 8, as alterações incluem: (i) a inclusão de palavras-chave na categoria ‘Informações Gerais’; (ii) exclusão da categoria ‘Relacionados’, que foi substituída por; (iii) exemplos práticos claros com imagens ilustrativas por heurística. A redução do conteúdo visa tornar a descrição da heurística mais direta, mantendo exemplos comparativos (correto/incorrecto) que auxiliaram como guia prático para inspetores.

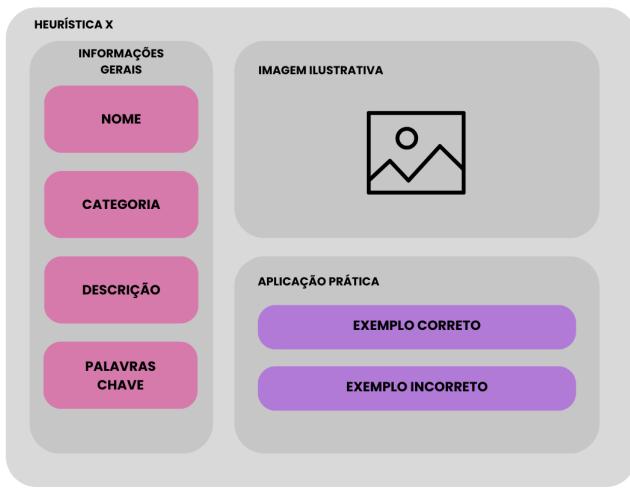


Figure 8: Evolução da Formatação por Heuristica da HII

Em comparação com os trabalhos relacionados apresentados na Seção 2, a HII se destaca por seu caráter inovador e seu propósito específico de criar um método para avaliar sistemas integrativos. Enquanto os trabalhos relacionados se concentraram majoritariamente na caracterização conceitual da HInt, este estudo propõe uma abordagem metodológica inédita que sistematiza a identificação de falhas de integração em quatro dimensões. Dessa forma, a técnica preenche uma lacuna existente na literatura para a avaliação de usabilidade em dispositivos integrativos.

7 Considerações Finais

7.1 Discussão e Síntese

Este estudo desenvolveu e validou a técnica *Heuristics for Integrated Interaction (HII)*. A HII foi projetada com o objetivo de apoiar a qualidade de software em sistemas integrativos (HInt), fornecendo um método de avaliação de usabilidade que transcende as abordagens convencionais. Isso é crucial, pois sistemas HInt operam em profunda cooperação com o usuário, exigindo critérios de avaliação que considerem essa integração.

Os resultados da pesquisa demonstraram a relevância da HII na identificação de falhas específicas que não seriam facilmente detectadas por técnicas tradicionais. O estudo experimental com especialistas comprovou que a aplicação da HII gerou novas percepções sobre a integração em HInt, e os participantes não apenas validaram a relevância da técnica, mas também aprofundaram sua compreensão sobre o paradigma HInt. A análise das infrações revelou tanto as possibilidades quanto as complexidades da avaliação em HInt. Um ponto significativo foi o desenvolvimento de uma nova heurística focada na estabilidade de conectividade crítica, que se mostrou essencial para a qualidade desses sistemas, complementando as diretrizes originais da HII. Esses resultados, combinados com as percepções dos inspetores, permitem otimizar a aplicação da HII em futuros estudos de usabilidade, consolidando-a como uma ferramenta importante para a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas integrativos de alta qualidade.

7.2 Limitações do Estudo

Este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação e generalização dos resultados. Primeiramente, a restrição do tamanho da amostra, composta por apenas sete especialistas, impõe um desafio à generalização dos resultados encontrados. Essa limitação da amostra, aliada ao fato de o estudo ter avaliado um único sistema integrativo de domínio específico, demanda que a aplicabilidade das Heurísticas da HII seja testada em uma variedade maior de contextos tecnológicos e em diferentes níveis de complexidade da integração Humano-Computador (HInt).

Em segundo lugar, embora o estudo tenha adotado procedimentos éticos básicos, como o uso do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para garantir a segurança dos participantes, faltou uma discussão aprofundada sobre as implicações sociais mais amplas. Pois tecnologias que operam em contato com o corpo humano levantam preocupações cruciais sobre a privacidade de dados sensíveis, a autonomia do usuário e a responsabilidade no ciclo de integração, aspectos que merecem ser abordados em pesquisas futuras.

Especificamente sobre as limitações da técnica proposta, o estudo identificou questões relacionadas tanto à sua cobertura quanto à sua clareza. O conjunto original de heurísticas demonstrou uma cobertura incompleta do domínio HInt, pois problemas de usabilidade importantes surgiram durante a inspeção e não puderam ser classificados em nenhuma das categorias existentes. A necessidade de incluir uma quinta heurística (H5.E) para acomodar essas infrações evidencia que o modelo inicial pode não abranger integralmente todos os aspectos do paradigma HInt, sugerindo a existência de dimensões adicionais que ainda precisam ser mapeadas.

Além disso, a clareza do instrumento em sua aplicação inicial foi comprometida. Embora a HII tenha sido considerada clara em seus conceitos gerais, a densidade informacional e a sobrecarga visual do material de apresentação dificultaram o processo de aplicação por parte dos inspetores. A sobreposição percebida entre algumas heurísticas (H1.P e H2.V) e a ambiguidade na interpretação da H4.C em contextos sem dispositivos físicos conectados ao corpo indicam a necessidade de maior refinamento e clareza na descrição das heurísticas e no material de apoio para garantir sua confiabilidade e validade. Este problema foi confirmado pela análise da Matriz de Confusão 5, que levou os autores a realizar uma etapa de correção e reclassificação das infrações, o que se configura como uma ameaça à validade da aplicação inicial e reforça a necessidade de aprimoramento do processo de treinamento dos avaliadores.

7.3 Trabalhos Futuros

Para estudos futuros, recomenda-se avaliar se as melhorias de clareza e usabilidade implementadas na HII de fato otimizaram sua aplicação prática. Além disso, seria interessante explorar a aplicação da HII em uma gama mais ampla de tecnologias HInt, incluindo aquelas com diferentes níveis de autonomia e tipos de acoplamento corporal. Isso não apenas validararia ainda mais a técnica, mas também permitiria garantir a qualidade em mais contextos integrativos, solidificando a HII como um padrão para a avaliação e o desenvolvimento de sistemas HInt. Outra linha de pesquisa promissora é investigar o potencial apoio da Inteligência Artificial

(IA) no processo de avaliação, apoiando a identificação de problemas de usabilidade em sistemas HInt.

DISPONIBILIDADE DE ARTEFATO

Os artefatos utilizados estão disponíveis no material complementar no seguinte link: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.30322135.v1>

ACKNOWLEDGMENTS

Agradecemos a todos os participantes do estudo e aos membros do grupo de pesquisa USES pelo apoio. Esta pesquisa foi financiada pela CAPES - PROEX - Código de Financiamento 001, pelo CNPQ, processos 314797/2023-8, 443934/2023-1 e 445029/2024-2, pelo Projeto nº 017/2024 – DIVULGA CT&I/FAPEAM, e pela Universidade do Estado do Amazonas, por meio do Programa de Produtividade Acadêmica 01.02.011304.026472/2023-87. Este trabalho também contou com apoio parcial da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), por meio do projeto POSGRAD 2025-2026. O presente trabalho é decorrente do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) 001/2020, firmado entre a Fundação da Universidade do Amazonas e FAEPI, que conta com financiamento da Samsung, usando recursos da Lei de Informática para a Amazônia Ocidental (Lei Federal nº 8.387/1991), estando sua divulgação de acordo com o previsto no artigo 39º do Decreto nº 10.521/2020.

REFERENCES

- [1] Majed A Alshamari and Maha M Althobaiti. 2024. Usability Evaluation of Wearable Smartwatches Using Customized Heuristics and System Usability Scale Score. *Future Internet* 16 (2024), 204.
- [2] Glívia Angélica Rodrigues Barbosa and Raquel Oliveira Prates. 2022. Extending the ontology, metacommunication and communicability of semiotic engineering to the emerging paradigm of human-computer integration (HInt). In *Proceedings of the 21st Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. 1–11.
- [3] Glívia A. R. Barbosa, Raquel O. Prates, Ulisses da S. Fernandes, and Natália S. Santos. 2021. Extending Interaction to Human-Computer Integration: What do we already know and what do we need to explore?. In *Proceedings of the XX Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*.
- [4] Ngip Khean Chuan, Ashok Sivaji, and Wan Fatimah Wan Ahmad. 2014. Proposed Usability Heuristics for Testing Gestural Interaction. In *2014 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology*. 233–238.
- [5] Patricia Cornelio, Patrick Haggard, Kasper Hornbæk, Orestis Georgiou, Joanna Bergström, Sriram Subramanian, and Marianna Obrist. 2022. The sense of agency in emerging technologies for human–computer integration: A review. *Frontiers in Neuroscience* 16 (2022).
- [6] Valdemar Danry, Pat Pataranutaporn, Florian Mueller, Pattie Maes, and Sang-won Leigh. 2022. On Eliciting a Sense of Self when Integrating with Computers. Association for Computing Machinery.
- [7] Umer Farooq and Jonathan Grudin. 2016. Human-Computer Integration. *Interactions* 23 (2016), 26–32.
- [8] Henrique Freitas and Jean Moscarola. 2002. Da observação à decisão: métodos de pesquisa e de análise quantitativa e qualitativa de dados. (2002).
- [9] Yiyao Li, Maria Richart, and Setia Hermawati. 2025. Specific Heuristics for Smartwatch Usability Evaluation: Development, Validation, and Comparison.
- [10] Florian Floyd Mueller, Pedro Lopes, Paul Strohmeier, Wendy Ju, Caitlyn Seim, Martin Weigel, Suranga Nanayakkara, Marianna Obrist, Zhuying Li, Joseph Delfa, Jun Nishida, Elizabeth M. Gerber, Dag Svanaes, Jonathan Grudin, Stefan Greuter, Kai Kunze, Thomas Erickson, Steven Greenspan, Masahiko Inami, Joe Marshall, Harald Reiterer, Katrin Wolf, Jochen Meyer, Thecla Schiphorst, Dakuo Wang, and Pattie Maes. 2020. Next Steps for Human-Computer Integration. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 1–15.
- [11] Jakob Nielsen and Rolf Molich. 1990. Heuristic evaluation of user interfaces. Association for Computing Machinery.
- [12] Nathan Arthur Semertzidis, Zoe Xiao Fang, Pedro Lopes, Kai Kunze, Paul Pangaro, Florian Floyd Mueller, and Pattie Maes. 2022. What We Talk About When We Talk About Human-Computer Integration. In *Extended Abstracts of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 4 pages.
- [13] Nathan Arthur Semertzidis, Michaela Vranic-Peters, Xiao Fang, Xinyi Wang, Rakesh Patibanda, Josh Andres, Paul Strohmeier, Kai Kunze, Pedro Lopes, Fabio Zambetta, and Florian Floyd Mueller. 2021. SIGHInt: Special Interest Group for Human-Computer Integration. Association for Computing Machinery.
- [14] Florian ‘Floyd’ Mueller, Nathan Semertzidis, Josh Andres, Martin Weigel, Suranga Nanayakkara, Rakesh Patibanda, Zhuying Li, Paul Strohmeier, Jarrod Knibbe, Stefan Greuter, Marianna Obrist, Pattie Maes, Dakuo Wang, Katrin Wolf, Liz Gerber, Joe Marshall, Kai Kunze, Jonathan Grudin, Harald Reiterer, and Richard Byrne. 2022. Human–Computer Integration: Towards Integrating the Human Body with the Computational Machine. *Found. Trends Hum.-Comput. Interact.* 16 (2022), 1–64.