



Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos (FCIA-OT)

Marcos Borba Salomão
Dezembro/2025

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos (FCIA-OT)

Esse documento corresponde à Dissertação apresentada à Banca Examinadora no curso de Mestrado em Ciência da Computação da UNIFACCAMP – Centro Universitário Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 19 de Dezembro de 2025.

Marcos Borba Salomão

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bonacin

**Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca Central da Unifaccamp**

S17F

Salomão, Marcos Borba

Framework Core integrado e avançado para análise e avaliação de objetos tecnológicos (FCIA-OT) / Marcos Borba Salomão. Campo Limpo Paulista, SP: Unifaccamp, 2025.
154 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bonacin

Dissertação (Programa de Mestrado Acadêmico em Ciência da Computação) – Centro Universitário Campo Limpo Paulista – Unifaccamp.

1. Framework FCIA-OT. 2. Interação agente-tecnologia. 3. Dimensões vetoriais integradas. 4. Usabilidade e interação. 5. Avaliação de objetos tecnológicos. 6. Métricas de avaliação. I. Bonacin, Rodrigo. II. Centro Universitário Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD – 005.75

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar com este projeto e me conceder forças em cada etapa, mesmo diante dos inúmeros desafios. Ao longo de sua construção, compreendi que não se tratava apenas de um esforço científico, técnico ou sistêmico, mas de uma missão.

À minha família, que esteve comigo com fé, paciência e generosidade. Agradeço por suportarem silenciosamente o tempo que me faltou, pelo apoio nos momentos difíceis e pela confiança inabalável na realização deste projeto.

Aos profissionais que, direta ou indiretamente, contribuíram para o amadurecimento deste trabalho. Suas críticas, incentivos e colaborações foram fundamentais para a validação e fortalecimento desta proposta.

A todos que, em silêncio ou em oração, pediram por minha vitória e depositaram sua esperança nos frutos deste caminho, saibam que cada palavra escrita aqui também é resposta daquilo que vocês desejaram com sinceridade.

Resumo — Esta pesquisa desenvolve uma reconstrução técnico-epistêmica das abordagens tradicionais da Interação Humano-Computador (IHC), superando limitações conceituais, instrumentais e interpretativas por meio da formulação da Interação Agente-Tecnologia (ATI), na qual as relações funcionais, perceptivas e contextuais são compreendidas como campos dinâmicos e vetoriais de interação. A partir dessa reconfiguração paradigmática, propõe-se o Framework Core FCIA-OT, uma arquitetura modular para a análise, avaliação e representação de objetos tecnológicos em contextos emergentes e de alta complexidade, que integra ontologia, dimensões analíticas e sistemas métricos avançados para modelar, diagnosticar e representar a experiência técnico-agencial de forma auditável, escalável e epistemicamente orientada. Composto por uma matriz de dimensões integradas a Matriz Sistemática de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI) e os sistemas de inferência e visualização Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI), Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC), Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI), Score Crítico Modular Integrado (SCMI), Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs) e Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP), o FCIA-OT estrutura um campo analítico robusto que articula teoria, técnica e modelagem computacional em torno da avaliação crítica da usabilidade real. A modularidade do sistema, sua gramática projetual e seu núcleo ontológico tornam o framework adaptável a distintas granularidades, suportando aplicações em regulação, certificação, auditoria e engenharia projetual. Esse escopo conceitual é ampliado por desdobramentos institucionais e educacionais, como a proposta da Engenharia da Usabilidade e Interação (EUSIN), o que consolida um novo domínio epistêmico e técnico voltado à análise crítica da tecnicidade. Ao conjugar teoria consolidada e inovação projetual, a pesquisa avança sobre as bases da epistemologia da interação, modelando uma plataforma integrada de análise e de ação orientada à crítica, à normatividade e à responsividade funcional.

Palavras-chave — Interação Humano-Computador; Interação Agente Tecnologia; FCIA-OT; Ontologia; Dimensões; Integradas; Modularidade; Usabilidade; Interação; Análise; Avaliação; Engenharia; Auditoria; Regulação; Objetos Tecnológicos.

Abstract — This research develops a technical-epistemic reconstruction of traditional Human-Computer Interaction (IHC) approaches, overcoming conceptual, instrumental, and interpretative limitations through the formulation of Agent-Technology Interaction (ATI), in which functional, perceptual, and contextual relationships are understood as dynamic and vectorial fields of interaction. Building on this paradigmatic reconfiguration, the Framework Core FCIA-OT is proposed: a modular architecture for analyzing, evaluating, and representing technological objects in emerging and high-complexity contexts. It integrates ontology, analytical dimensions, and advanced metric systems to model, diagnose, and represent the techno-agential experience in an auditable, scalable, and epistemically oriented manner. Comprising a matrix of dimensions integrated into the Systemic Matrix of Integrated Vectorial Dimensions (MSDVI) and the inference and visualization systems Integrated Modular Multidimensional Scoring System (SPMI), Integrated Modular System for Color-Based Classification and Definition (SCDMIC), Global Usability and Interaction Score (SGUI), Integrated Modular Critical Score (SCMI), Structured and Advanced Model of Personas (MEAPs), and Dynamic Inference System of Perceptual Fields (SIDyCP), FCIA-OT structures a robust analytical field that articulates theory, technique, and computational modeling around the critical evaluation of real-world usability. The system’s modularity, design grammar, and ontological core make the framework adaptable to different levels of granularity, supporting applications in regulation, certification, auditing, and design engineering. This conceptual scope is expanded through institutional and educational developments, such as the proposal of Usability and Interaction Engineering (EUSIN), consolidating a new epistemic and technical domain focused on the critical analysis of technicality. By combining consolidated theory and design innovation, this research advances the foundations of the epistemology of interaction, modeling an integrated platform for analysis and action oriented toward critique, normativity, and functional responsiveness.

Keywords — Human Computer-Interaction; Agent-Technology Interaction; FCIA-OT; Ontology; Dimensions; Integrated; Modularity; Usability; Interaction; Analysis; Evaluation; Engineering; Auditing; Regulation; Technological Objects.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Contexto Histórico da Pesquisa	12
1.2 Definição do Problema e Justificativa da Pesquisa	14
1.3 Pergunta de Pesquisa, Objetivo Geral e Objetivos Específicos	16
1.4 Metodologia de Pesquisa e Contribuições Esperadas	18
1.5 Fundamentos e Requisitos Científicos para a Elaboração do FCIA-OT	19
1.6 Organização da Pesquisa	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Inferências, Modelagem de Conhecimento e Conjuntos de Dados na Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos	22
2.2 Etnografia	23
2.3 Semiótica	24
2.4 Semiose	25
2.5 Simbiose	26
2.6 Interação Humano-Computador (IHC)	27
2.7 Interface Humano-Computador (IHC)	28
2.8 Experiência do Usuário (UX)	29
2.9 <i>Affordances</i>	31
2.10 Percepção	32
2.11 Afetividade	34
2.12 Satisfação	36
2.13 Efetividade	37
2.14 Gravidade de Erros	38
2.15 Graus de Risco	39
2.16 Atributos	40
2.17 Design Universal	41
2.18 Tecnologia Verde	42
2.19 Interação Sustentável Humano-Computador (SHCI)	43
2.20 Design Centrado no Ser Humano (HCD)	44
2.21 Usabilidade	46
2.22 Engenharia Cognitiva	48
2.23 Distância Semântica (DS)	51
2.24 Distância Articulatória (DA)	52
2.25 Engenharia da Usabilidade	54
2.26 Design de Tarefas	55
2.27 Constructos Integrados da IHC	57
3. REVISÃO DE LITERATURA	59
4. TRABALHOS RELACIONADOS	69
5. FRAMEWORK CORE INTEGRADO E AVANÇADO PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE OBJETOS TECNOLÓGICOS (FCIA-OT)	77
5.1 Diretrizes: Conteúdos Estruturais Técnico-Científicos	83
5.2 Definição do Termo: Interação Agente-Tecnologia (ATI)	84
5.3 Stakeholders	85
5.4 Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI)	86
5.5 Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC)	87
5.6 Score Global de Usabilidade E Interação (SGUI)	88
5.7 Score Crítico Modular Integrado (SCMI)	89
5.8 Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs)	90
5.9 Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP)	91
5.10 Sistema de Modularização e Recursos (SMR)	92
6. DIRETRIZES TÉCNICAS: MODOS DE APLICAÇÃO DO FCIA-OT EM CENÁRIOS AVALIATIVOS MULTIPLATAFORMA	95
6.1 Caso 1 – Aplicação Técnica Direta com Base no Modelo de Lançamentos Estruturados	95
6.2 Caso 2 – Aplicações Técnicas Específicas	96
6.3 Caso 3 – Aplicações Assistidas de Uso	96
6.4 Caso 4 – Aplicações Sistêmicas de Monitoramento	96

6.5 Caso 5 – Aplicações Voltadas a Agentes Não Humanos	96
7. ESTUDOS DE CASO: APLICABILIDADE DO FCIA-OT	98
8. DIRETRIZES: GERENCIAMENTO DAS ANÁLISES E AVALIAÇÕES	102
9. DISCUSSÃO	104
10. CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DA PESQUISA	106
10.1 Núcleo Estrutural do FCIA-OT	106
10.2 Sistemas Técnicos Integrados	107
10.3 Instrumentos Avançados de Avaliação e Interação	107
10.4 Inovações Educacionais e Teóricas Aplicadas	107
10.5 Inovação Científica Emergente	108
10.6 Síntese e Consolidação das Inovações	108
11. CONCLUSÃO	109
11.1 Trabalhos Futuros	111
12. PRODUÇÃO CIENTÍFICA DERIVADA E VINCULADA À PESQUISA	112
13. GLOSSÁRIO	114
14. REFERÊNCIAS	121
15. APÊNDICE I	146
16. APÊNDICE II	153

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Contribuições Técnicas e Críticas Derivadas das Pesquisas Seleccionadas	64
TABELA 2: Síntese Comparativa dos Diferenciais Estruturais e Inovativos do FCIA-OT em Relação às Principais Metodologias de Avaliação de Usabilidade e Interação	73
TABELA 3: Terminologias de Referência Utilizadas em Pesquisas de IHC	84
TABELA 4: Sistema de Modularização e Recursos (SMR)	92
TABELA 5: Análise Sistêmica e Crítica por Elemento do Vant (Recorte ATB)	100
TABELA 6: Inovações Estruturantes e Epistemológicas do Sistema FCIA-OT	109
TABELA 7.1: Percepção (PRC)	146
TABELA 7.2: <i>Affordance</i> (AFF)	147
TABELA 7.3: Efetividade (EFT)	147
TABELA 7.4: Conhecimentos/Experiência (CEX)	147
TABELA 7.5: Requisitos de Objetos (RQO)	147
TABELA 7.6: Requisitos de Artefatos de Objetos (RQA)	148
TABELA 7.7: Gravidade de Erros (GVE)	149
TABELA 7.8: Graus de Risco (GSR)	149
TABELA 7.9: Atributos (ATB)	150
TABELA 7.10: Acessibilidade (ACB)	150
TABELA 7.11: Tecnologia (QRSUER)	151

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Estrutura Sistêmica, Multidimensional e de Convergência Conceitual dos Constructos Integrados da IHC	58
FIGURA 2: Comparativo do FCIA-OT e Abordagens Clássicas em 27 Critérios Avaliativos	76
FIGURA 3: Integração Conceitual e Metodológica das Fases de Desenvolvimento do FCIA-OT	77
FIGURA 4: Fluxo de Construção do FCIA-OT: Procedimentos Técnicos e Integração Modular das Dimensões e Subsistemas	78
FIGURA 5: Mapa Mental Resumido do FCIA-OT, Sintetizando os Eixos Conceituais e a Transversalidade Tecnológica do Framework	79
FIGURA 6: Fluxograma Técnico do FCIA-OT, Representando o Encadeamento Processual das Etapas de Análise, Avaliação e Classificação	80
FIGURA 7: Fluxo Sequencial das Etapas de Apontamentos/Lançamentos do FCIA-OT	98
FIGURA 8: Representação Vetorial do Lançamento Técnico (Vant)	99
FIGURA 9: Identidade Visual do FCIA-OT	113

LISTA DE SIGLAS

ACSI – Índice Americano de Satisfação do Cliente (American Customer Satisfaction Index)
ACV – Avaliação de Ciclo de Vida
AH – Hierarquia de Abstração (Abstraction Hierarchy)
AUTOS – Artefato–Usuários–Tarefas–Organização–Situação (artefact–users–tasks–organization situation)
CA – Análise de Claims (Claims Analysis)
CASSM – Análise Baseada em Conceitos de Inadequações Superficiais e Estruturais (Concept-based Analysis of Surface and Structural Misfits)
CE – Engenharia Cognitiva (Cognitive Engineering)
CGS – Escala de Avaliação Curva (Curved Grading Scale)
CIM – Manufatura Integrada por Computador (Computer Integrated Manufacturing)
CO₂ – Dióxido de Carbono
CSE – Engenharia de Sistemas Cognitivos (Cognitive Systems Engineering)
CSCW – Trabalho Cooperativo Apoiado por Computador (Computer-Supported Cooperative Work)
CSUQ – Questionário de Usabilidade Sistema Computacional (Computer System Usability Questionnaire)
CW – Percurso Cognitivo (Cognitive Walkthrough)
DA – Distância Articulatória
DS – Distância Semântica
DUXAITNG – Ferramenta de Planejamento e Execução de Avaliações e Experimentos de Experiência do Usuário
FBS – Função–Comportamento–Estrutura (function–behaviour–structure)
GAM – Metas, Atributos e Métricas (Goals, Attributes, and Metrics)
GOMS – Metas, Operadores, Métodos e Regras de Seleção (Goals, Operators, Methods, Selection Rules)
HE – Avaliação Heurística (Heuristic Evaluation)
IHC – Interação Humano-Computador
LT – Máquina de Teoria Lógica (Logic Theory Machine)
MAH – Hipótese da Acessibilidade Mental (Mental *Affordance* Hypothesis)
NA – Afetividade Negativa (Negative Affectivity)
NSLR – Revisão de Literatura Não Sistemática (Non-Systematic Literature Review)
PA – Afetividade Positiva (Positive Affectivity)
PANAS – Escala de Afetividade Positiva e Negativa (Positive Affect Negative Affect Schedule)
PCA – Análise de Componentes Principais (Principal Component Analysis)
PSSUQ – Questionário Pós-Estudo de Usabilidade de Sistema (Post-Study System Usability Questionnaire)
QUIM – Medição Integrada de Qualidade em Uso (Quality in Use Integrated Measurement)
RT – Tempo de Reação (Reaction Time)
RITE – Método RITE (Rapid Iterative Testing and Evaluation)
SEM – Modelagem de Equações Estruturais (Structural Equation Modeling)
SHCI – Interação Humano-Computador Sustentável (Sustainable Human-Computer Interaction)
SLR – Revisão Sistemática da Literatura (Systematic Literature Review)
S-R – Estímulo–Resposta (Stimulus–Response)
SUIT – Teste de Interface Usuário–Software (Software–User Interface Test)
SUS – Escala de Usabilidade do Sistema (System Usability Scale)
TAM – Modelo de Aceitação de Tecnologia (Technology Acceptance Model)
UAF – Framework de Ação do Usuário (User Action Framework)
UAN – Notação de Ação do Usuário (User Action Notation)
UEQ – Questionário de Experiência do Usuário (User Experience Questionnaire)
UEMs – Métodos de Avaliação de Usabilidade (Usability Evaluation Methods)
UIS – Satisfação com a Informação do Usuário (User Information Satisfaction)
UPEEM – Modelo de Melhoria da Percepção e Emoção de Usabilidade (Usability Perception and Emotion Enhancement Model)
UTAUT – Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology)
UX – Experiência do Usuário (User Experience)
WIMP – Janelas, Ícones, Menus e Ponteiros (Windows, Icons, Menus, and Pointers)

1 INTRODUÇÃO

A análise e a avaliação sistemática de objetos tecnológicos, compreendidos aqui como qualquer entidade, tangível ou intangível, que incorpore, veicule ou execute propriedades técnicas, funcionais, interativas ou simbólicas, exigem abordagens científicas, técnicas e profissionais rigorosas. Diante da crescente complexidade dos sistemas interativos e da heterogeneidade dos artefatos tecnológicos, impõe-se o desenvolvimento de estruturas avaliativas que vão além dos métodos atuais.

No atual estágio de maturidade científico-tecnológica, não basta que uma tecnologia funcione e seja adotada: é necessário compreender com exatidão seus impactos, suas qualidades intrínsecas, seus desvios projetuais, suas potencialidades de uso e os modos pelos quais articula sentidos, práticas, funções e relações. A demanda por diagnósticos precisos, capazes de operar em múltiplas escalas, do microcomponente ao ecossistema, requer a concepção de um framework modulável, reconfigurável e responsivo às múltiplas dimensões que compõem a experiência tecnológica.

Dessa necessidade emerge a proposta de estruturar metodologicamente um novo paradigma avaliativo, baseado em uma arquitetura metodológica capaz de sustentar a análise técnica, funcional, experiencial e simbólica de qualquer objeto tecnológico, seja ele um sistema digital, um dispositivo físico, uma interface, um protocolo, uma linguagem, um algoritmo ou uma solução híbrida. A presente pesquisa propõe justamente essa arquitetura: um Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos (FCIA-OT), projetado para operar sob exigências científicas e técnicas, articulando requisitos de objetos e artefatos, e permitindo a mensuração modular, escalável e interoperável de tecnologias em uso, em projeto ou em conceito.

Diante desse cenário de crescente complexidade dos objetos tecnológicos e da necessidade de estruturas avaliativas mais precisas, a análise da interação entre usuários e sistemas assume papel central no campo técnico-científico. A usabilidade, compreendida neste trabalho como o conjunto de critérios voltados à adequação funcional, operacional e experiencial de tecnologias em contextos reais de uso, consolida-se historicamente como um dos principais domínios dedicados à mensuração sistemática dessas relações. A evolução desse campo evidencia sucessivos esforços de refinamento conceitual e metodológico, impulsionados tanto pela diversidade dos artefatos tecnológicos quanto pelas limitações dos modelos avaliativos tradicionais. É a partir dessa trajetória crítica, situada no âmbito da usabilidade e da interação, que se estrutura o contexto histórico da pesquisa apresentado a seguir.

1.1 Contexto Histórico da Pesquisa

Ao longo das últimas décadas, diversas abordagens foram propostas para responder aos desafios da mensuração de atributos técnicos, funcionais e interacionais de objetos tecnológicos, especialmente no que se refere à definição de critérios objetivos e à verificação sistemática de resultados em contextos reais de uso. Neal & Simons (1984) argumentam que a avaliação de usabilidade, entendida como o processo de mensuração sistemática da eficiência, da funcionalidade e do desempenho em contextos de uso, exige dados quantitativos e qualitativos, cuja função não se limita à aferição pontual, mas também viabiliza a comparação rigorosa entre projetos, orientando decisões com base em parâmetros previamente definidos. Pouco depois, Good et al. (1986) reforçam que a engenharia de sistemas não opera em condições ideais, mas sob restrições concretas de tempo e recursos. Nessa condição, alertam que a ausência de especificações mensuráveis inviabiliza o diagnóstico das necessidades reais

e compromete a verificação dos resultados obtidos, tornando a mensuração elemento central da própria engenharia de usabilidade.

Nas décadas seguintes, aprofundou-se a compreensão da variabilidade contextual dos critérios de avaliação. Han et al. (2001) observam que os pesos e as relevâncias atribuídos às dimensões de usabilidade variam conforme o tipo de produto e o perfil dos usuários, exigindo seleções criteriosas em cada situação avaliativa. Nessa linha, Hartson, Andre & Williges (2003) enfatizam que um problema só pode ser reconhecido como falha real de usabilidade se demonstrar impacto concreto em contextos reais, seja na performance, na produtividade ou na satisfação dos usuários.

A partir dos anos 2000, a discussão também incorporou os fatores hedônicos e afetivos da experiência tecnológica. Hassenzahl (2004) amplia o foco da análise ao demonstrar que atributos pragmáticos não determinam, isoladamente, o julgamento de um produto. Em sua formulação, fatores como identidade comunicada e experiências emocionais, incluindo apreciação estética, satisfação ou rejeição, configuram dimensões avaliativas autônomas, que operam paralelamente às métricas funcionais. Complementando essa perspectiva, Hassenzahl & Tractinsky (2006) defendem que o design de sistemas interativos exige a integração explícita das dimensões afetivas como condição para criar experiências engajadoras e gratificantes em múltiplos níveis.

Posteriormente, Vermeeren et al. (2010) introduzem uma crítica de fundo ao campo, ao indicar que o avanço metodológico da avaliação de Experiência do Usuário (UX) frequentemente ocorre sem uma base teórica consolidada. Sua advertência é clara: métodos robustos só emergem a partir de fundamentos conceituais sólidos, o que demanda uma articulação crítica entre teoria e prática. Paz & Pow-Sang (2014) aprofundam esse diagnóstico, argumentando que, embora a usabilidade seja reconhecida como fator decisivo para a qualidade em Engenharia de Software, persistem lacunas metodológicas, especialmente diante da crescente diversidade dos domínios tecnológicos e da escassez de evidências sobre a eficácia dos métodos empregados.

Complementando essa trajetória crítica, Issa & Isaias (2015) reforçam a centralidade da usabilidade e da IHC no desenvolvimento de sistemas, destacando que sua integração, da estética funcional ao desempenho objetivo, sustenta a precisão operacional das tecnologias e amplia a aderência entre projetos e expectativas dos usuários.

À luz das lacunas teóricas e metodológicas evidenciadas pela literatura, impõe-se a formulação de uma abordagem estruturante, capaz de transcender os modelos tradicionais e de responder às exigências atuais da interação com tecnologias complexas. Nesta direção, esta pesquisa propõe uma refundação técnico-científica dos campos da usabilidade e da interação, materializada na construção de doze dimensões estruturantes, organizadas em um framework core modular e avançado. Cada dimensão não opera apenas como vetor analítico, visa ser uma matriz de reconfiguração dos fundamentos que sustentam a avaliação técnico-informacional de objetos tecnológicos. Não se trata de um aprimoramento incremental de modelos existentes, mas da concepção de uma nova arquitetura epistêmica, computacional e aplicada.

Ao integrar essas dimensões em uma matriz sistemática e inter-relacionada, o Framework Core FCIA-OT, definido como o núcleo metodológico e arquitetural que organiza, articula e regula as dimensões avaliativas do sistema, que se coloca como uma abordagem de alta precisão, voltada ao rigor técnico e à adaptabilidade metodológica. Sua estrutura modular viabiliza a reconfiguração dinâmica de requisitos, aplicável tanto à estrutura dos objetos quanto à composição dos artefatos, entendidos como construções técnicas ou informacionais resultantes de processos de projeto, incluindo interfaces, componentes, modelos, protocolos e representações operacionais, com potencial de uso em múltiplos domínios. Projetado para incorporar tecnologias emergentes, como inteligência artificial, sistemas autônomos e ambientes computacionais adaptativos, o

FCIA-OT foca em ampliar a capacidade analítica, qualificar a tomada de decisões e redefinir os limites da experiência interacional.

Portanto, nesse sentido, o Framework Core FCIA-OT configura-se como um novo paradigma para a análise e avaliação de objetos tecnológicos. Uma vez que, mais do que expandir o escopo da avaliação em IHC, o framework orienta pesquisadores, projetistas e desenvolvedores por meio de uma estrutura estratégica de inovação metodológica, que reconfigura práticas analíticas consolidadas e amplia o campo de possibilidades metodológicas no domínio técnico-científico da usabilidade e da interação.

1.2 Definição do Problema e Justificativa da Pesquisa

A presente pesquisa se insere no esforço contemporâneo de ampliação e refinamento das abordagens técnico-informacionais voltadas à análise e avaliação de objetos tecnológicos, ao propor um framework computacional modular direcionado a ambientes interacionais de elevada complexidade. Fundamentado em uma matriz analítica composta por doze dimensões, o modelo estabelece uma arquitetura metodológica orientada ao rigor técnico, à adaptabilidade metodológica e à escalabilidade computacional, com vistas à realização de diagnósticos sistemáticos sobre usabilidade, interação e funcionalidade. A abordagem contempla tanto atributos operacionais quanto efeitos subjetivos da experiência, permitindo a análise integrada de sistemas centrados em agentes, humanos ou não, em consonância com contextos reais de uso e operação.

As limitações dos modelos convencionais foram evidenciadas desde meados da década de 1980. Neal & Simons (1984) já alertavam que a usabilidade requer que o público-alvo aprenda a operar sistemas com facilidade e eficiência, o que raramente se concretiza nas abordagens então vigentes. No mesmo sentido, Landauer (1988) denunciava a carência de pesquisa formal no desenvolvimento de sistemas, destacando a “falácia da intuição egocêntrica” como obstáculo à compreensão genuína das necessidades dos usuários.

Nas décadas seguintes, a crítica se intensifica. Nielsen (1993a) questiona a validade de métodos descontextualizados, e Nielsen (1994a) ressalta os limites de métodos automáticos e formais diante da crescente complexidade dos sistemas computacionais. A essa crítica se soma a constatação de Keenan et al. (1999), que identificam a inexistência de frameworks capazes de classificar e comparar problemas de usabilidade de forma holística.

Avançando nessa direção, Han et al. (2001) destacam que produtos eletrônicos de consumo são sistemas híbridos, compostos por hardware e software, o que exige avaliações que contemplem não apenas a funcionalidade, mas também os aspectos subjetivos da imagem e da impressão geradas no usuário. Complementarmente, Andre, Hartson, Belz & McCreary (2001) apontam que, embora existam diversas metodologias, ainda há uma lacuna na sistematização das práticas de análise e de elaboração de relatórios, assim como na integração das ferramentas de apoio à engenharia de usabilidade.

Dando sequência, Hartson, Andre & Williges (2003) chamam a atenção para a ausência de critérios e métricas padronizadas que garantam a comparabilidade entre métodos de avaliação. Em consonância, Seffah et al. (2006) argumentam que a dificuldade em projetar interfaces utilizáveis é uma das principais razões do fracasso de sistemas interativos, em parte porque os métodos existentes carecem de integração em um framework conceitual coeso, o que dificulta sua aplicação por profissionais sem formação específica em IHC.

A necessidade de ferramentas analíticas mais eficazes também é enfatizada por Gorlenko & Englefield (2006), que demonstram como conjuntos extensos de dados qualitativos, resultantes de avaliações de usabilidade, são de difícil interpretação por meio de métodos tradicionais, sendo que a maioria das ferramentas existentes é direcionada a pesquisadores, e não ao uso prático profissional. Nessa perspectiva, Hornbæk (2006) ressalta que a usabilidade não pode ser medida diretamente, o que exige indicadores operacionais cuja validade e inter-relação ainda permanecem indefinidas.

A despeito da aparente maturidade do campo, Bastien (2010) alerta que os testes de usabilidade padrão, embora disseminados, apresentam sérias limitações quando aplicados em domínios específicos. Nessa mesma direção, Vermeeren et al. (2010) evidenciam que a ausência de métodos práticos e replicáveis constitui uma das principais limitações das avaliações de experiência e interação, agravada pelo uso de métricas pré-definidas em questionários que, embora aplicadas operacionalmente, carecem de validação psicométrica rigorosa, o que compromete a confiabilidade dos resultados.

No âmbito da complexidade técnica, Chilana, Wobbrock & Ko (2010) observam que os métodos de avaliação comuns em interfaces gráficas não atendem adequadamente domínios complexos, o que exige a reformulação tanto das práticas quanto da formação profissional. De forma complementar, Fernandez, Insfran & Abrahão (2011) identificam que cerca de 90% das avaliações de usabilidade são concentradas na fase de implementação, negligenciando etapas críticas como o design e o levantamento de requisitos. Apenas 32% dos métodos analisados oferecem recomendações práticas para o aprimoramento do design, o que limita sua efetividade na implementação de melhorias.

Quanto à avaliação da experiência do usuário, Bargas-Avila & Hornbæk (2011) apontam que metodologias recentes frequentemente carecem de validação sistemática, e que técnicas como esboços e *probes*, embora úteis no processo criativo, apresentam limitações interpretativas e metodológicas. Essa preocupação leva Kaptelinin & Nardi (2012) a defenderem uma reconceituação (re-grounding) teórica das *affordances*, não-gibsoniana, para que possam ser aplicadas com maior precisão nas interações mediadas tecnologicamente.

A complexidade da experiência do usuário também é enfatizada por Hassenzahl (2018), que argumenta que a UX é subjetiva, situada e variável, influenciada por fatores psicológicos, contextuais e temporais. Apesar disso, ainda são escassas as abordagens capazes de integrar rigorosamente os aspectos “pragmáticos” e “hedônicos” da interação.

Nos anos mais recentes, Remy et al. (2018) observam que os métodos predominantes em IHC não contemplam adequadamente áreas como SHCI, o que exige novos protocolos que integrem artefatos a contextos complexos. Scarlett & Zeilinger (2019) complementam ao evidenciar que a materialidade digital, por vezes invisível, modifica as formas de percepção e de operação das *affordances* nos sistemas.

Mais recentemente, Lewis & Sauro (2021) identificam inconsistências metodológicas relevantes entre laboratórios na identificação de problemas de usabilidade, o que dificulta a generalização dos impactos observados. Corroborando essa fragilidade, Aguirre et al. (2024) apontam a ausência de um processo sistemático e aplicável a contextos específicos, o que compromete a efetividade das avaliações.

Diante desse panorama crítico, o Framework Core FCIA-OT propõe uma matriz integrada de avaliação iterativa, fundamentada em dados empíricos e operando de forma adaptativa sobre micro e macroestruturas dos sistemas. Sua arquitetura modular permite intervenções dinâmicas e reconfigurações funcionais em tempo real, acompanhando as transformações tecnológicas emergentes. Constitui um mecanismo estratégico de

engenharia epistêmica, apto a orientar decisões de design, de engenharia e de políticas tecnológicas com precisão e inteligência metodológica.

A partir dessa configuração, o FCIA-OT tem como objetivo oferecer uma estrutura formalizada de avaliação capaz de enfrentar as limitações diagnósticas observadas nos modelos tradicionais, integrando múltiplas perspectivas, técnicas, subjetivas, estruturais e contextuais, sob uma abordagem técnico-informacional avançada. Espera-se, que a aplicação do FCIA-OT potencialize o desenvolvimento de sistemas mais inteligíveis, responsivos e alinhados à complexidade real dos contextos de uso, promovendo inovações tanto na prática profissional quanto na produção científica em IHC.

1.3 Pergunta de Pesquisa, Objetivo Geral e Objetivos Específicos

A área de IHC articula-se por meio de um conjunto dinâmico de dimensões que ultrapassam o escopo técnico tradicional, assumindo um papel estratégico na definição de como objetos tecnológicos são concebidos, experienciados e avaliados. Essas dimensões, muitas vezes invisíveis em sua materialidade funcional, estabelecem os parâmetros operacionais dos sistemas e, simultaneamente, moldam a profundidade da experiência do agente em contextos reais de uso. Com o aumento da complexidade sistêmica contemporânea, caracterizada pela interconexão entre estruturas físicas, lógicas e situacionais, impõe-se a necessidade de abordagens metodológicas capazes de integrar níveis analíticos distintos e sustentar modelos contínuos, orientados por dados e inteligência técnica.

Landauer (1988) sistematiza quatro objetivos principais para a pesquisa em IHC: avaliar ou comparar sistemas; inventar ou projetar novos artefatos; testar princípios científicos; e estabelecer diretrizes. Ainda assim, na prática, o domínio enfrenta desafios estruturais e metodológicos persistentes. Howarth, Smith-Jackson, & Hartson (2009) evidenciam limitações concretas na Engenharia de Usabilidade, particularmente nas etapas de coleta e análise de dados, o que impacta diretamente a precisão e o valor dos diagnósticos gerados. Complementarmente, Vermeeren et al. (2010) enfatizam a importância da validade ecológica, ao sugerirem que abordagens de campo produzem resultados mais autênticos, ao capturar interações em ambientes naturais, desde que os métodos empregados preservem a rotina e a espontaneidade da experiência.

A literatura também aponta que a fragmentação metodológica compromete a eficácia da avaliação, como mostram Grill, Polacek, & Tscheligi (2012), ao combinar abordagens estáticas e dinâmicas que oferecem maior completude na análise de APIs e ambientes computacionais. Abbate & Bass (2018) destacam a criticidade das informações mediadoras da interação, como displays, artefatos textuais e instruções, cuja inconsistência pode comprometer a eficácia operacional, o que exige sistemas de avaliação capazes de antecipar tais fragilidades.

À luz desse quadro crítico, emerge a necessidade de um framework técnico-científico que articule teoria, prática e estrutura analítica de forma integrada, contemplando dimensões interacionais, cognitivas, emocionais, funcionais, técnicas e contextuais. A proposta deve permitir análises iterativas, validação empírica, geração sistemática de dados e adaptação a transformações tecnológicas e contextuais, superando as limitações dos métodos avaliativos tradicionais, muitas vezes incapazes de capturar a complexidade das interações em sistemas mediados por múltiplas camadas de materialidade.

Com base nessas lacunas e demandas contemporâneas, a presente investigação propõe a seguinte pergunta central:

Como instituir um framework core capaz de analisar e avaliar dimensões integradas, compreender seus efeitos sobre a usabilidade e a interação com objetos tecnológicos, e oferecer uma estrutura adequada para análises e métricas técnicas contínuas, fundamentadas em dados empíricos estruturados?

Essa questão norteia o desenvolvimento do FCIA-OT, projetado como uma estrutura técnico-científica de elevada complexidade e aplicabilidade, voltada à análise estruturada de diversos objetos tecnológicos.

A partir da questão central formulada, o objetivo geral desta pesquisa consiste em propor uma abordagem técnico-científica robusta para o desenvolvimento, aprimoramento e avaliação de objetos tecnológicos, por meio da proposição e aplicação do FCIA-OT, com foco na análise das influências exercidas por múltiplas dimensões integradas sobre a usabilidade, a interação e a qualidade da experiência do agente, em contextos variados de uso e aplicação tecnológica. A partir deste objetivo geral, foram estabelecidos objetivos específicos a serem atingidos pelo desenvolvimento desta pesquisa:

Desenvolver uma Metodologia Inovadora: Estabelecer fundamentos técnico-científicos para o desenvolvimento, aprimoramento e avaliação de objetos tecnológicos, com potencial para redefinir processos estruturais e lógicas sistêmicas a partir das proposições integradas do FCIA-OT.

Construir e Analisar as Dimensões Técnico-Científicas: Estruturar e descrever sistematicamente as dimensões que compõem o núcleo do FCIA-OT, considerando seus aspectos qualitativos, quantitativos, estruturais e funcionais, com vistas à coleta de dados críticos e à extração de padrões técnicos recorrentes em objetos tecnológicos.

Avaliar a Influência das Dimensões na Usabilidade e na Interação: Investigar o impacto das dimensões integradas sobre a usabilidade, a eficiência operacional e a qualidade da experiência dos agentes, por meio de aplicações metodológicas baseadas no FCIA-OT.

Promover o Engajamento Ativo de Agentes e Stakeholders: Fomentar a participação técnica dos agentes e demais partes interessadas nos processos de concepção, análise e avaliação, garantindo que suas perspectivas estejam integradas às decisões de projeto e aprimoramento.

Examinar Fatores Culturais e Atitudinais: Analisar elementos culturais, cognitivos e atitudinais dos agentes em relação aos objetos tecnológicos investigados, ampliando a compreensão das interações e das expectativas associadas a diferentes contextos de uso.

Aprimorar a Experiência do Agente: Otimizar continuamente os objetos tecnológicos com base na análise da experiência do agente, priorizando critérios técnico-científicos de eficácia, satisfação, confiabilidade e adequação contextual.

Classificar e Indexar Percepções e Reações: Sistematizar percepções, interpretações e respostas comportamentais dos agentes, viabilizando análises técnicas baseadas em dados organizados e indexados de forma estruturada.

Utilizar Estudos de Caso Técnico-Demonstrativos: Aplicar o FCIA-OT em estudos de caso representativos para validar sua aplicabilidade, flexibilidade e capacidade de análise em diferentes categorias de objetos tecnológicos.

Produzir Métricas Estruturadas e Cientificamente Fundamentadas: Desenvolver e aplicar métricas quantitativas e qualitativas objetivas, derivadas das dimensões e componentes técnico-científicos do FCIA-OT, para aferição da eficiência, da eficácia e da maturidade tecnológica dos objetos avaliados.

Reduzir Procedimentos Desnecessários e Frustrações Operacionais: Implementar as diretrizes metodológicas do FCIA-OT para minimizar falhas, inconsistências e sobrecargas cognitivas, promovendo a eficiência do agente e a qualidade da interação.

Organizar e Preservar Bases de Dados Técnico-Científicas: Estruturar e manter repositórios técnicos que armazenem dados relevantes para avaliação, propiciando reuso, replicabilidade e desenvolvimento contínuo do conhecimento no domínio da interação agente-tecnologia.

1.4 Metodologia de Pesquisa e Contribuições Esperadas

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa, técnico-científica e construtiva, estruturada em etapas interdependentes e fundamentada em princípios epistemológicos e metodológicos. A metodologia foi organizada em cinco fases principais, sequenciais e complementares:

Fase I – Fundamentação e Estruturação Teórico-Científica: Consistiu na identificação, seleção e análise dos principais fundamentos e diretrizes que estruturam as disciplinas vinculadas ao domínio técnico-científico da interação entre agentes e tecnologias, com ênfase em abordagens provenientes da usabilidade, da interação e da área tradicionalmente conhecida como Interação Humano-Computador (IHC). Essa etapa estabeleceu os fundamentos conceituais que delimitam o escopo da investigação e direcionam a formulação do modelo.

Fase II – Revisão Crítica da Literatura Técnica: Foi conduzida uma revisão não sistemática, com foco na análise criteriosa de publicações científicas que abordam métodos, procedimentos de teste, abordagens avaliativas, métricas e instrumentos técnicos aplicados à qualidade da usabilidade e da interação com tecnologias. A ênfase recaiu sobre as limitações, segmentações e lacunas evidenciadas nos estudos quanto à estrutura, à aplicabilidade e à generalização dos métodos empregados.

Fase III – Análise de Trabalhos Relacionados: Abrangeu a seleção e o exame crítico de abordagens consolidadas, métodos e frameworks voltados à avaliação de tecnologias, com o objetivo de identificar fragilidades internas reconhecidas pelos próprios autores e pesquisas. Esses aspectos foram analisados e confrontados com os fundamentos teóricos sistematizados nas etapas anteriores, culminando na formulação de um diagnóstico técnico-científico, imparcial e sem interpretações alheias à natureza técnica dos modelos examinados.

Fase IV – Proposição do Modelo Estruturado: Com base na convergência entre os fundamentos teóricos, os diagnósticos extraídos da literatura e os limites identificados nas abordagens existentes, propõe-se o desenvolvimento de um framework estruturado em dimensões técnico-científicas integradas, e seus sistemas e estruturas técnico-científicas integradas de análise, avaliação e representação. A arquitetura do modelo preserva a modularidade, a adaptabilidade e a compatibilidade com diferentes categorias de objetos tecnológicos, assegurando versatilidade e consistência estrutural.

Fase V – Validação Técnica por Estudos de Caso: A estrutura proposta foi aplicada em estudos de caso técnico-demonstrativos, com o objetivo de avaliar sua consistência estrutural, viabilidade analítica e eficácia prática. Esses estudos viabilizaram a análise de diversos objetos tecnológicos, em múltiplas dimensões e com base em critérios técnicos, diretrizes metodológicas e especificações previamente estabelecidas, permitindo a validação empírica e científica do modelo desenvolvido.

Com a presente pesquisa, espera-se estabelecer um avanço paradigmático na análise técnico-informacional de objetos tecnológicos (incluindo, mas não se limitando a objetos físicos e digitais, sistemas compostos e artefatos de uso individual ou coletivo) por meio da proposta de um framework computacional modular, projetado para operar

em ambientes de alta complexidade interacional. Fundamentado em uma matriz de dimensões analíticas, o modelo transcende as abordagens tradicionais ao articular rigor técnico, adaptabilidade metodológica e escalabilidade computacional. Cada dimensão possibilita diagnósticos sistemáticos sobre usabilidade, interação e funcionalidade dos sistemas, considerando tanto as qualidades operacionais e funcionais dos objetos quanto os efeitos subjetivos da experiência, como engajamento, significado e percepção de valor por parte do agente. Com isso, busca-se oferecer subsídios concretos à engenharia da usabilidade e da interação, bem como à avaliação de tecnologias complexas em contextos científicos, profissionais e industriais.

1.5 Fundamentos e Requisitos Científicos para a Elaboração do FCIA-OT

O FCIA-OT, por ser um sistema avançado e de estrutura modular, integra, aprimora e expande critérios consolidados na literatura científica, assegurando que os processos de avaliação e desenvolvimento de objetos tecnológicos se mantenham alinhados a práticas metodológicas reconhecidas e validadas empiricamente. Com base nas recomendações de Dumas & Salzman (2006), o framework alcança características fundamentais de usabilidade, como:

Enfoque na Usabilidade: O framework mantém a atenção centrada na usabilidade do produto, permitindo que os procedimentos de avaliação se concentrem nas interações dos agentes finais com o objeto tecnológico.

Seleção de Agentes Representativos: Os testes e avaliações são conduzidos com participantes que representam diretamente os agentes finais ou potenciais, o que promove a relevância prática dos resultados.

Escolha de Tarefas Significativas: São definidas tarefas típicas e críticas relacionadas ao uso do produto, com o intuito de capturar experiências reais e significativas dos agentes finais durante a interação.

Registro e Análise Completos dos Dados: Todos os dados pertinentes, incluindo taxas de sucesso, erros e níveis de satisfação, são registrados e analisados para compor um panorama objetivo e completo do desempenho do produto.

Transmissão dos Resultados para Profissionais: Os resultados das avaliações são estruturados de forma clara e acionável, de modo que os profissionais responsáveis pelo design e desenvolvimento possam tomar decisões informadas.

Com base nas 6 recomendações de Yusop, Grundy & Vasa (2017), o FCIA-OT atende a requisitos fundamentais de usabilidade, estruturando um modelo avançado para análise e avaliação de objetos tecnológicos. O framework incorpora abordagens metodológicas e critérios técnico-científicos que asseguram a precisão e a eficácia dos processos avaliativos ao contemplar as seguintes diretrizes:

R1 – Desenvolvimento de uma taxonomia mais abrangente e consistente para defeitos de usabilidade: O FCIA-OT estabelece uma taxonomia estruturada e rigorosa para a identificação e a categorização de problemas de usabilidade e de interação em objetos tecnológicos. Com 12 dimensões organizadas em módulos integrados, o framework viabiliza uma análise sistemática e hierarquizada, permitindo a segmentação detalhada dos diferentes tipos de defeitos reportados.

R2 – Identificação dos principais atributos de defeitos de usabilidade necessários para a correção: O FCIA-OT opera com um modelo robusto de coleta e análise de dados, incorporando atributos qualitativos e quantitativos críticos para a avaliação de usabilidade. A estrutura modular e os recursos avançados do framework permitem a delimitação precisa dos fatores determinantes para a identificação e mitigação de defeitos, assegurando uma abordagem técnica e padronizada.

R3 – Fornecimento de diretrizes contextuais para relato de defeitos: O processo de coleta e relato de defeitos no FCIA-OT é sistematicamente estruturado,

garantindo consistência e exatidão na documentação das ocorrências. O framework possibilita a aplicação de diretrizes no registro de problemas, oferecendo suporte a análises assistidas, relatos detalhados e sugestões para aprimorar a interpretação e a correção de defeitos.

R4 – Melhoria na definição de severidade e priorização de defeitos: A severidade e a priorização de defeitos no FCIA-OT são definidas por um sistema de mensuração de alta precisão, constituído pelo Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI), Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC), Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI), Score Crítico Modular Integrado (SCMI) e Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP). Esses mecanismos promovem uma avaliação objetiva e parametrizada, permitindo a distinção rigorosa entre defeitos críticos e problemas de menor impacto, assegurando uma hierarquização eficiente das correções.

R5 – Criação de formulários personalizados para diferentes tipos de defeitos: A estrutura modular do FCIA-OT permite a configuração flexível de conjuntos de requisitos específicos para diferentes classes de objetos tecnológicos. Isso permite a adaptação precisa dos instrumentos de coleta e análise, garantindo que sua interface seja otimizada conforme o contexto da avaliação e a complexidade dos artefatos analisados.

R6 – Maior automação no relato de defeitos de usabilidade: A presente pesquisa não aborda a automação da coleta de dados. No entanto, o FCIA-OT está projetado para suportar a implementação de lançamentos automatizados por meio de configuração pré-definida nos sistemas de objetos tecnológicos, bem como pela integração com sistemas inteligentes e com inteligência artificial, consolidando a evolução do framework para um sistema avançado de automação.

Com base nas discussões e análises de Weichbroth (2020), o FCIA-OT atende aos requisitos fundamentais de usabilidade:

Rigor Metodológico: O framework é um modelo avançado, estruturado e modular para a análise e avaliação de objetos tecnológicos, assegurando a identificação e a integração de valores objetivos e subjetivos por meio de critérios metodológicos rigorosamente definidos.

1.6 Organização da Pesquisa

Esta pesquisa organiza seu conteúdo cronologicamente, adotando uma metodologia que visa evidenciar a evolução do conhecimento nos constructos específicos abordados. Esse sequenciamento permite contextualizar as transformações teóricas e práticas ao longo do tempo, proporcionando uma análise historicamente integrada e fundamentada. Os critérios definidos incluem **originalidade**, associada a abordagens que definem conceitos e características fundamentais dos constructos; qualidade, relacionada à consistência metodológica, à clareza argumentativa e aos resultados apresentados, com contribuições articuladas; e relevância, que examina a pertinência do conteúdo e de suas contribuições em relação ao tema central da pesquisa. Esta pesquisa está organizada da seguinte maneira:

Capítulo 2 – apresenta o referencial teórico, destaca os conceitos, características, definições e tipos identificados na literatura da área de IHC;

Capítulo 3 – descreve a revisão de literatura referente ao tema desta pesquisa;

Capítulo 4 – apresenta os trabalhos relacionados;

Capítulo 5 – apresenta o FCIA-OT proposto, sua fundamentação teórica e o conjunto integrado de componentes e recursos tecnológicos aplicados;

Capítulo 6 – apresenta os modos de aplicação do framework em cenários avaliativos multiplataforma;

Capítulo 7 – apresenta estudos de caso, aplicabilidade da metodologia proposta pelo Framework Core;

Capítulo 8 – apresenta a descrição do gerenciamento das análises e avaliações;

Capítulo 9 – apresenta a discussão dos resultados obtidos e suas implicações;

Capítulo 10 – apresenta as contribuições científicas, tecnológicas e estruturais da pesquisa;

Capítulo 11 – apresenta a conclusão e trabalhos futuros;

Capítulo 12 – apresenta a produção científica derivada da pesquisa e vinculada a ela.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente referencial teórico delinea os fundamentos científicos, conceituais e técnicos que sustentam a formulação do FCIA-OT. Trata-se de um corpo de constructos oriundos de um arcabouço técnico-científico interdisciplinar, composto por domínios com elevado grau de consolidação epistemológica, cuja articulação provê a base metodológica e estrutural ao modelo de análise e avaliação aqui desenvolvido. Essa integração permite operar com precisão os processos de modelagem, inferência e interpretação exigidos na análise de objetos tecnológicos.

A estrutura desta seção organiza-se em torno de um eixo analítico que aprofunda os domínios teóricos centrais responsáveis por estruturar a avaliação, a interpretação e a qualificação de objetos tecnológicos. Cada subitem apresenta uma revisão técnico-científica, ancorada em fontes primárias e articulada por critérios de pertinência conceitual, validade metodológica e aplicabilidade no escopo da avaliação tecnológica. O conjunto resultante constitui o alicerce teórico para a formulação das 12 dimensões analíticas do FCIA-OT, operando como o primeiro eixo estrutural de uma arquitetura modular, expansível e formalizável.

2.1 Inferências, Modelagem de Conhecimento e Conjuntos de Dados na Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos

A análise e avaliação de objetos tecnológicos requerem uma estrutura formalizada de representação do conhecimento, capaz de organizar dados em contextos marcados por alta complexidade. A modelagem de conhecimento cumpre esse papel ao estruturar e tornar acessíveis as informações necessárias para a geração de inferências consistentes e decisões precisas dentro de um domínio específico. A construção de modelos orientados à abstração da realidade viabiliza tanto a representação lógica do objeto quanto a extração de novos dados inferenciais, ampliando o escopo e a profundidade analítica do processo avaliativo.

Na base dessa estrutura, os conjuntos de dados desempenham função estratégica: operam como suporte empírico à formulação e validação de hipóteses, ao permitir a coleta, a organização e a interpretação sistemática de grandes volumes de informação. A solidez dessa organização conceitual depende, em grande parte, da articulação entre o conhecimento declarativo, voltado à classificação e à relação entre informações, e o procedural, centrado em regras e operações aplicáveis, conforme delineado por Wright & Ayton (1987).

Nesse mesmo eixo, Alexander (1992) evidencia que a estruturação dos conceitos centrais de um domínio favorece a integração entre áreas distintas e contribui para um entendimento mais acurado dos dados. Essa articulação conceitual estabelece vínculos metodológicos entre o conteúdo do conhecimento e as estratégias operacionais mobilizadas para sua aplicação.

Conforme Gruber (2009), a ontologia atua como um conjunto de elementos representacionais voltado à modelagem de domínios específicos, incorporando categorias, propriedades e relações lógicas definidas com rigor formal. Essa estrutura oferece as restrições necessárias para garantir consistência no uso e na interpretação dos dados, sendo fundamental para a operacionalização técnica da modelagem.

Complementarmente, Shenbagam & Salini (2014) observam que as ontologias aprimoram a comunicação entre agentes humanos e computacionais, viabilizando mecanismos como a filtragem informacional, a inferência automatizada e a validação semântica. Constituídas como componentes estruturantes de metamodelos, as ontologias

formalizam os elementos admissíveis em um dado sistema e sustentam, por meio de axiomas, os processos inferenciais subsequentes.

A articulação entre a modelagem do conhecimento e a inferência constitui, assim, o núcleo da análise técnica de objetos tecnológicos. Ao permitir que dados representem estruturas e comportamentos com precisão formal, esses processos viabilizam tanto a extração de conhecimento adicional quanto a consolidação de sistemas avaliativos dotados de consistência, adaptabilidade e capacidade de generalização em múltiplos contextos.

2.2 Etnografia

A etnografia é uma abordagem técnico-científica de investigação empírica voltada à compreensão sistemática das práticas sociais em seus contextos naturais de ocorrência, por meio da observação direta, da interpretação situada das ações e da análise das interações entre indivíduos, tecnologias e ambientes. Diferentemente de métodos baseados em descrições prescritivas ou modelos abstratos, a etnografia privilegia o exame do trabalho tal como é efetivamente realizado, considerando sua dimensão organizacional, histórica e relacional. No âmbito dos sistemas interativos, essa abordagem fornece subsídios analíticos para o design e a avaliação de tecnologias alinhadas às dinâmicas reais de uso.

Com origens na antropologia, a etnografia consolidou-se como uma abordagem técnico-científica relevante para a compreensão das práticas sociais em contextos de uso tecnológico. No campo do design de sistemas interativos, destaca-se por sua capacidade de revelar estruturas organizacionais e padrões de ação situados, operando não apenas como técnica de coleta, mas também como prática analítica e interpretativa.

Sua incorporação ao domínio do *Computer-Supported Cooperative Work* (CSCW) tem sido estratégica, sobretudo devido à necessidade de compreender a dinâmica social do trabalho em larga escala. Conforme Hughes et al. (1994), a etnografia pode atuar em diferentes fases do ciclo de design, seja em paralelo ao desenvolvimento, por meio de abordagens rápidas e exploratórias, na avaliação de decisões projetuais ou na reinterpretção de estudos anteriores, sempre com o intuito de alinhar as soluções tecnológicas às atividades concretas dos ambientes organizacionais.

Essa perspectiva é reforçada por Anderson (1994), que afirma que o valor da etnografia não reside na coleta empírica isolada, mas em sua função interpretativa, ao integrar padrões sociais ao processo projetual. Ao focar nos mecanismos pelos quais as práticas emergem e se estruturam, a tecnometodologia proposta por Button & Dourish (1996) reposiciona o design como atividade orientada pelas dinâmicas que sustentam o trabalho real, e não apenas por suas representações formais.

Para Simonsen & Kensing (1997), a etnografia aplicada ao design contribui decisivamente para a compreensão das práticas de trabalho como atividades socialmente organizadas, frequentemente distintas das descrições prescritas. Nesse cenário, o design participativo ganha relevância por envolver diretamente os usuários na concepção de sistemas, sobretudo em áreas como CSCW, IHC e engenharia de requisitos.

A compreensão do contexto, conforme Greenberg (2001), deve ser tratada como um constructo dinâmico, sujeito a transformações contínuas em função das interações locais, dos objetivos em curso e da experiência acumulada pelos usuários. Isso implica reconhecer que situações aparentemente similares podem envolver padrões de ação distintos.

A etnografia, ao permitir a observação fina das práticas e da organização social no trabalho colaborativo, contribui decisivamente para a modelagem de sistemas orientados ao real, como destacam Iqbal, James & Gatward (2005). Dekker (2010) chama a atenção para os desafios da adoção do Social Software no CSCW, indicando

que a apropriação de ferramentas de comunicação pode ser aprimorada a partir da compreensão contextualizada das interações entre projetistas e usuários.

Randall, Rouncefield & Tolmie (2021) enfatizam que a etnografia informada pela etnometodologia prioriza a observação das atividades concretas em sua execução efetiva, permitindo ao design capturar as práticas tal como ocorrem, e não conforme versões idealizadas. Essa orientação empírica oferece subsídios sólidos ao desenvolvimento de soluções tecnológicas coerentes com os contextos de uso.

Aplicada à avaliação de objetos tecnológicos, a etnografia permite captar os mecanismos sociais que sustentam o trabalho cooperativo, especialmente em cenários dinâmicos e historicamente situados. Abordagens etnometodológicas ampliam esse potencial ao orientar o design com base nas ações reais dos indivíduos, promovendo aderência entre as soluções tecnológicas e a prática cotidiana.

2.3 Semiótica

A semiótica constitui um campo teórico-metodológico voltado à investigação dos signos e de seus processos de significação, estruturação e uso. Fundamentada nas dimensões sintática, semântica e pragmática, ela ultrapassa a mera codificação de mensagens, operando na mediação entre cognição, linguagem e cultura. A eficácia de um sistema sóico depende da clareza estrutural dos signos, da precisão representacional e da adequação funcional às práticas sociais.

Conforme Morris (1938), a análise semiótica envolve três eixos interdependentes: estrutura, significado e uso, que integram os processos comunicacionais e cognitivos em sua totalidade. Para Osgood (1952), reconhecer algo como signo requer uma articulação perceptiva que conecte o estímulo ao significado, o que implica condições interpretativas específicas.

A semiose, ao organizar a experiência por meio da linguagem, opera sobre símbolos que estruturam não apenas a comunicação, mas também o pensamento. Simon (1996) observa que esses símbolos, ao serem percebidos, processados e reproduzidos em contextos sociais, refletem construções coletivas mediadas por regras compartilhadas. Essa articulação simbólica apresenta diferentes formas de representação, conforme Nadin (1988), que distingue três categorias fundamentais: icônica, indicial e simbólica. A interpretação de signos depende, nesse caso, da natureza relacional entre o signo, seu referente e o intérprete. Pelc (2000) complementa essa estrutura ao reforçar que todo signo envolve dimensões sintáticas, semânticas e pragmáticas, podendo ter uma ou outra enfatizada conforme o objetivo analítico.

No campo da interação humano-computador, Abdelzad, Lethbridge & Hosseini (2016) definem a Engenharia Semiótica como um referencial teórico consolidado, voltado à metacomunicação entre designers, sistemas e usuários, no qual o design media intencionalidades comunicacionais na interface. Mingers & Willcocks (2017) reforçam que os signos produzem significados intencionais e não intencionais, o que exige uma análise semiótica cuidadosa em ambientes mediados por tecnologia.

Para Keane (2018), a semiose não se restringe à linguagem verbal, mas abrange múltiplos suportes e modalidades sensoriais, como som, tato, dor, movimento e afeto, frequentemente mediados por ideologias semióticas implícitas, moldadas por circunstâncias históricas e culturais. Esses fatores moldam o uso e a interpretação dos signos em contextos específicos.

A semiótica, desempenha papel estruturante na organização de sistemas simbólicos e na racionalidade científica. Em ambientes tecnológicos, oferece subsídios para a análise da representação, da inferência interpretativa e da construção de sentido. Ao reconhecer os signos como artefatos técnico-sociais, cujas formas e funções emergem de convenções histórico-culturais, ela permite compreender os sistemas

interativos como ecologias de sentido, em que forma, conteúdo e uso se articulam em práticas interpretativas complexas.

2.4 Semiose

No escopo desta pesquisa, a semiose é compreendida como o mecanismo gerador de sentido que sustenta a cadeia interpretativa nos sistemas interativos, viabilizando que o agente atribua, transforme e atualize significações ao longo da interação. Trata-se de um processo operativo e recorrente, no qual signos são produzidos, interpretados e reorganizados segundo os contextos de uso, as ações previstas e os estados emergentes dos objetos tecnológicos.

Essa dinâmica ultrapassa a codificação visual ou textual, instaurando um fluxo de mediação entre estrutura simbólica e cognição situada. Ao articular unidades significantes com funções como navegação, controle e retroalimentação, a semiose viabiliza a leitura funcional do sistema e sustenta a atuação do agente com base em inferências precisas e respostas antecipadas.

No campo semiótico, Burks (1949) introduz o conceito de “significado indexical”, estruturado em torno de localização espaço-temporal, descrição do objeto e direção da relação com o índice. Embora ícones e índices exerçam papéis relevantes, os símbolos assumem posição central por organizarem o significado em sistemas complexos. Lodding (1983), por sua vez, argumenta que a classificação taxonômica de ícones segundo estilo e contexto permite reconhecer padrões de design e orientar escolhas visuais mais eficazes, uma vez que a interpretação de um mesmo ícone pode variar conforme sua aplicação.

Pesquisas empíricas sobre usabilidade, como as de Blankenberger & Hahn (1991), revelam vantagens consistentes dos ícones sobre comandos textuais, sobretudo quando são autoexplicativos. Mas também apontam que diferenças sutis na qualidade gráfica e na clareza semântica podem inverter esse quadro, tornando comandos textuais mais eficazes em certos casos. Essas evidências reforçam a importância crítica do design semiótico na construção de interfaces eficientes.

Conforme Simon (1996), sistemas simbólicos operam por meio de estruturas compostas por padrões físicos, os símbolos, manipulados por processos que permitem sua criação, modificação e destruição. Essas operações são fundamentais para o funcionamento expressivo e inferencial desses sistemas. A eficácia simbólica, contudo, depende não apenas da forma, mas também da experiência e da familiaridade do agente com o referente. Ampliando essa compreensão, Mcdougall, Curry & de Bruijn (1999) investigam atributos perceptivos dos símbolos e demonstram que concretude e complexidade são dimensões independentes, um símbolo pode ser concreto e, ainda assim, simples, reforçando a necessidade de critérios rigorosos para sua avaliação funcional.

Em um contexto sistêmico, Pelc (2000) delinea três atividades fundamentais da semiose: criação, comunicação e processamento de signos. Embora não constituam uma taxonomia exaustiva, essas categorias evidenciam a diversidade operacional da semiose no ciclo de design e interpretação. Agler (2010) complementa essa perspectiva ao afirmar que o uso referencial de um nome resulta do acúmulo de experiências e informações contextuais, consolidando hábitos linguísticos que tornam o signo plenamente designativo dentro de um universo de discurso.

Estudos também contribuem para essa compreensão, Huang, Bias & Schnyer (2014) demonstram que, embora ícones ativem regiões cerebrais relacionadas à semântica, seu processamento aproxima-se mais da cognição visual associada a imagens do que da leitura de sistemas logográficos, o que reforça a especificidade de sua interpretação em ambientes tecnológicos.

Na perspectiva ontológica, Sowa (2015) afirma que os sinais são manifestações da realidade que permitem aos seres vivos interpretá-la e agir sobre ela. Em sistemas computacionais, essas manifestações tornam-se “sinais de sinais”, intermediando a relação entre representações do mundo real e estruturas internas do sistema. A robustez de uma ontologia depende de sua capacidade de interpretar sinais em múltiplos contextos, mantendo flexibilidade e aplicabilidade prática.

No domínio dos Sistemas de Informação, Mingers & Willcocks (2017) ampliam essa compreensão ao destacar que a semiose abrange interações humanas e não humanas em contextos sociais, materiais e tecnológicos, refletindo as contingências situadas da ação mediada. Diferentemente das abordagens estruturais dos sistemas de signos, a semiose opera no campo da ação orientada, no qual cada signo adquire valor adaptativo, moldando-se ao percurso interpretativo do agente. Assim, a solidez do design semiótico impacta diretamente a estabilidade da ação, a legibilidade dos estados operacionais e a eficácia da comunicação técnica incorporada ao objeto.

2.5 Simbiose

A colaboração entre humanos e sistemas computacionais estrutura-se como uma integração simbiótica, conceito clássico introduzido por Licklider (1960), no qual máquinas assumem encargos repetitivos e de alto processamento, liberando os humanos para tarefas cognitivas superiores, como a formulação de hipóteses, a definição de objetivos e a tomada de decisões complexas. Essa articulação pressupõe o desenvolvimento de tecnologias avançadas em memória, linguagens de programação e interfaces eficientes, o que viabiliza a cooperação técnico-cognitiva.

Essa interação fundamenta-se na mediação semiótica, na qual signos evocam reações internas capazes de simular, ainda que parcialmente, os comportamentos associados ao objeto original, modulando a interpretação conforme valores, contextos e estruturas cognitivas. Nesse processo, artefatos computacionais, sejam analógicos ou digitais, desempenham um papel ativo como extensores cognitivos, intervindo diretamente na transformação da natureza das tarefas por meio de suas propriedades estruturais e funcionais.

A hipótese da mediação semântica, como formulada por Osgood (1952), evidencia que estímulos comunicativos ambíguos são interpretados de maneira variável, dependendo dos valores atribuídos e do contexto situacional. Essa variação decorre de reações mediadoras suscitadas por signos, que simulam os efeitos do objeto original, gerando estímulos internos específicos e influenciando a transição probabilística entre escolhas linguísticas.

Com antecedência, Licklider (1960) vislumbrou uma simbiose operacional, defendendo que computadores executem tarefas mecânicas, enquanto humanos se concentrem no pensamento deliberativo, desde que suportados por recursos tecnológicos adequados.

A compreensão contemporânea da cognição reforça esse modelo cooperativo. Barsalou (1999) sustenta que os processos cognitivos não se separam da percepção, mas compartilham os mesmos sistemas neurais e funcionais, recusando a visão tradicional de representações cognitivas amodais.

Essa perspectiva é ampliada por Zhang & Patel (2006), que evidenciam que representações externas não apenas complementam, mas também interferem estruturalmente nas operações mentais. Em tarefas como o cálculo manual, símbolos externos participam ativamente do raciocínio, e suas propriedades físicas influenciam diretamente a complexidade, a eficiência e a sustentabilidade do processamento cognitivo.

A articulação entre cognição, engenharia e tecnologia se fortalece com os avanços nas ciências cognitivas e computacionais. Griffith & Greitzer (2007) assinalam que a interação humano-computador, quando pautada por uma visão ampliada dos fatores humanos e da ergonomia, encontra na neo-simbiose um arcabouço conceitual robusto para orientar investigações em informática cognitiva. Nesse mesmo campo, Gray (2008) aponta que a engenharia cognitiva aplica modelos da cognição a problemas reais, modelando comportamentos e sistemas de controle.

A discussão sobre artefatos computacionais adquire densidade funcional a partir de Heersmink (2014), que os define pela natureza da informação que permitem processar. Enquanto dispositivos analógicos possuem uma estrutura-função unívoca, restrita a tipos específicos de computação, os digitais operam com multivocidade funcional: uma mesma configuração física permite múltiplas funções cognitivas, ampliando seu potencial como extensores simbióticos.

A emergência de sistemas ciberfísicos humanos reconfigura essa colaboração. Conforme Romero et al. (2016), esses sistemas são concebidos para ampliar habilidades humanas, operando em ambientes cibernéticos e físicos por meio de interfaces inteligentes e adaptativas, que respondem às demandas cognitivas e físicas dos operadores. A ênfase desloca-se da substituição para o aprimoramento das capacidades humanas, conceito reiterado por Cecilio (2022), ao afirmar que a crescente complexidade dos produtos e dos ambientes de produção exige uma atuação conjunta e complementar entre humanos e máquinas, promovendo eficiência, precisão e coexistência funcional.

A cognição, por ser perceptual e interativa, opera em conjunto com artefatos e ambientes simbióticos. A neo-simbiose consolida-se como estrutura conceitual da engenharia cognitiva, viabilizando cooperação adaptativa entre humanos e sistemas digitais em contextos de alta complexidade.

2.6 Interação Humano-Computador (IHC)

A IHC configura-se como um campo técnico-científico interdisciplinar dedicado ao estudo, ao projeto e à avaliação das interações entre agentes humanos e sistemas computacionais, considerando simultaneamente aspectos cognitivos, perceptivos, sociais e tecnológicos. Conforme estabelecido por Card, Moran, & Newell (1983) e posteriormente ampliado por Rogers (2004), a IHC articula fundamentos da psicologia, da ciência da computação e do design com o objetivo de tornar os sistemas interativos compreensíveis, eficazes e alinhados às capacidades e limitações humanas.

A IHC desenvolveu-se como um campo orientado à redução da complexidade cognitiva imposta aos agentes, priorizando arquiteturas interativas que ampliem acessibilidade, fluidez e desempenho. A usabilidade consolidou-se como eixo estruturante, promovendo uma inflexão do foco exclusivamente funcional para uma abordagem integrada, que incorpora satisfação subjetiva, adaptabilidade e inteligibilidade. O design de interfaces passou a atuar como mediador semiótico, exigindo sensibilidade à estrutura da informação, à dinâmica contextual e aos processos mentais subjacentes à ação.

No início dessa trajetória, Engelbart (1962) concebeu os computadores como extensões da cognição humana, sobretudo na resolução de problemas complexos. Essa formulação se desdobrou em uma proposta formal de interface homem-máquina, ampliada por Engelbart & English (1968), ao desenvolverem uma linguagem de controle precisa e modular, que organizava a interação por meio de comandos interpretados em tempo real, estruturando a resposta do sistema conforme descrições formais fornecidas pelo usuário.

Em continuidade, Hansen (1971) defendeu que sistemas devem se adaptar às necessidades humanas, princípio aprofundado por Rouse (1977), ao propor uma alocação dinâmica de tarefas em contextos multitarefa, sustentada por indicadores de estado e confiança que permitam consciência situacional mútua entre agentes humanos e computacionais.

Nesse mesmo período, Lewis & Mack (1982) enfatizaram que a complexidade estrutural compromete a clareza das instruções, recomendando simplificação, *feedback* explícito e suporte à correção de erros. Em perspectiva convergente, Goodwin (1982) ressaltou que o acesso eficiente à informação e a clareza na navegação impactam diretamente a experiência do usuário e o aproveitamento das funções disponíveis.

Do ponto de vista da modelagem cognitiva, Card, Moran, & Newell (1983) articularam fundamentos da psicologia com o design de sistemas interativos, propondo modelos descritivos de comportamento baseados em processamento da informação, aplicáveis por engenheiros e projetistas para a integração entre cognição e tecnologia.

Com o avanço das tecnologias interativas, Barnard et al. (2000) observaram que a IHC se expandiu rapidamente, abrangendo interfaces gráficas, ambientes colaborativos e agentes inteligentes. Contudo, alertaram que essa diversificação acentuou a fragmentação teórica, dificultando a generalização dos modelos existentes. Argumentaram, assim, que a articulação entre a psicologia e a ciência da computação é indispensável para consolidar fundamentos unificadores no campo.

Na dimensão perceptivo-cognitiva, Hassenzahl (2003) descreveu como a construção subjetiva do caráter do produto, articulada entre atributos funcionais e hedônicos, orienta as estratégias de uso, afeta as reações emocionais e modula a avaliação da experiência conforme o contexto.

Essa inflexão no foco da IHC é aprofundada por Rogers (2004), ao propor o design de interação como núcleo conceitual do campo, voltado à criação de experiências imersas no cotidiano, integrando dispositivos ubíquos, artefatos materiais e processos sociais distribuídos. Em complemento, Janlert & Stolterman (2015) argumentam que a crescente complexidade dos artefatos tecnológicos exige uma redefinição da noção de interface, que passa a incorporar fronteiras físicas e digitais articuladas em múltiplos níveis sensoriais e funcionais.

A partir de uma abordagem pragmática, Wang (2019) apontou que o custo cognitivo de aprendizagem em sistemas complexos compromete a adoção tecnológica, sendo necessário privilegiar estratégias de design que reduzam a carga de memória operacional. Na mesma direção, Issa & Isaias (2022) reafirmam o papel estruturante da usabilidade como mediação entre necessidades humanas e especificações técnicas, destacando critérios como eficiência, segurança, memorização e satisfação, em projetos orientados por princípios sustentáveis e centrados no usuário.

Dessa forma, a IHC deixou de se restringir às interfaces convencionais, integrando agentes distribuídos, dispositivos vestíveis e ecologias interativas sensíveis ao contexto. Como campo técnico-científico, estrutura-se na convergência entre design centrado no agente, engenharia de sistemas interativos e fundamentos da cognição aplicada, visando não apenas à eficiência operacional, mas também à construção de experiências de uso significativas, contínuas e inteligíveis.

2.7 Interface Humano-Computador

A interface humano-computador representa o ponto de contato entre agentes e sistemas, atuando como uma superfície de mediação simbólica, perceptiva e funcional (Nadin, 1988; Norman, 1999). Esse espaço de mediação abrange desde dispositivos físicos até estruturas visuais, mensagens e documentação, devendo ser concebido com base em fundamentos interdisciplinares que articulem ergonomia cognitiva, psicologia

da percepção e princípios computacionais (Hansen, 1971; Ramsey & Atwood, 1980). Essa concepção exige atenção às restrições físicas, lógicas e culturais que condicionam o comportamento do agente em ambientes interativos.

Entre os primeiros a abordar essa dimensão experiencial, Hansen (1971) comparou a interação com sistemas ao efeito produzido por uma música, como algo processado ao longo do tempo, cuja estrutura deve ser inferida a partir de detalhes sucessivos. Em termos metodológicos, Ramsey & Atwood (1980) enfatizam que pesquisas em IHC requerem a integração entre a ciência da computação, a psicologia cognitiva e fatores humanos específicos, a fim de promover uma compreensão operacional da interação e garantir a usabilidade.

Sob uma perspectiva semiótica, Nadin (1988) ampliou o conceito de interface ao reconhecer que ela compreende todos os pontos de contato entre sistema e usuário, desde o design visual até a documentação. Propôs que a linguagem da interface opere como um sistema de signos que estrutura tanto a representação técnica quanto as condições de uso. A ideia de “transparência” não se limita à cognição, mas incorpora também aspectos afetivos, sendo fundamental no desenvolvimento de sistemas acessíveis.

A relação entre interface e cognição é aprofundada por Barnard & May (1999), ao sugerirem que o design interativo depende de tarefas conceituais que envolvem capacidades cognitivas específicas, o que exige modelos teóricos que vinculem representação mental e aplicação prática. Norman (1999) contribuiu para esse debate ao classificar as restrições que moldam a interação em três tipos: físicas, relacionadas ao ambiente e aos dispositivos; lógicas, fundamentadas na inferência do usuário; e culturais, baseadas em convenções aprendidas. Essas restrições funcionam como guias internalizados que orientam o comportamento do agente no ambiente digital.

Com foco na historicidade do conceito de interface, Janlert & Stolterman (2015) analisam como diferentes estilos de pensamento refletem contextos tecnológicos específicos. Destacam que o conceito de “interface” herdado da indústria prioriza modularidade e standardização, e que o equilíbrio entre apresentação informacional, simplicidade e controle da complexidade é essencial para garantir qualidade na interação.

Nesse escopo, a interface deve ser compreendida como linguagem, articulando signos que expressam estados do sistema e possibilidades de ação. Seus atributos, transparência, coerência e simplicidade, devem ser operacionais sem sacrificar a expressividade. O avanço das interfaces acompanha a complexificação dos sistemas e impõe a necessidade de abordagens projetuais integradas, sensíveis à carga cognitiva do agente e aos múltiplos contextos de uso.

2.8 Experiência do Usuário (UX)

A noção de Experiência do Usuário (*User Experience* – UX) delinea-se como um constructo multifacetado, que transcende a funcionalidade do sistema ao incorporar dimensões afetivas, cognitivas e situacionais que modulam a percepção do indivíduo em interação. Trata-se de uma abordagem que desloca o foco da eficácia operacional para qualidades subjetivas, como satisfação, prazer, atribuição de sentido e valor vivencial. Nesse escopo, Hansen (1971) adverte para a necessidade de conhecer o usuário em sua completude, considerando formação, experiência, interesses, habilidades motoras e limitações, como princípio para um projeto verdadeiramente centrado na pessoa.

A introdução do termo “Experiência do Usuário” ocorreu, de forma pioneira, em Norman, Miller & Henderson (1995), ao destacar a influência dos fatores organizacionais no processo de concepção e desenvolvimento de interfaces, incorporando a UX como componente estrutural do ciclo de vida dos produtos. Essa

perspectiva seria aprofundada em Norman (2004), ao conceber os objetos como entidades que, para além de sua materialidade, abrigam significados afetivos e simbólicos vinculados à memória, à identidade pessoal e aos vínculos emocionais, revelando a carga subjetiva que estrutura a interação com artefatos cotidianos.

A partir de uma perspectiva relacional, Forlizzi & Battarbee (2004) compreendem a experiência como um fenômeno resultante da interconexão entre usuário, sistema e ambiente, não se restringindo ao uso funcional, mas envolvendo significação e valor emocional. De modo complementar, Hassenzahl & Tractinsky (2006) argumentam que a experiência se configura como uma combinação singular entre o produto, os estados internos do usuário, como humor, expectativas e metas, e as condições do ambiente, assumindo um caráter situado e temporalmente dinâmico, o que implica vivências não replicáveis.

Sob um olhar ampliado, Gentile, Spiller & Noci (2007) propõem seis dimensões constitutivas da experiência: a sensorial, voltada à estimulação perceptiva; a emocional, associada aos estados afetivos; a cognitiva, relacionada à elaboração mental e resolução de problemas; a pragmática, centrada na funcionalidade e uso; a de estilo de vida, que conecta valores e identidade; e a relacional, que envolve os vínculos sociais e o “eu ideal”. Essa estrutura explícita a complexidade do fenômeno experiencial em ambientes interativos.

Ao redefinir os parâmetros da usabilidade, Law et al. (2009a) ressaltam que a UX abarca percepções e respostas subjetivas geradas na interação, ou mesmo na expectativa de interação, com produtos ou serviços, ampliando o escopo da análise para além do desempenho técnico, ao incorporar emoções, impressões e significados que se integram ao cotidiano do usuário.

Para Vermeeren et al. (2010), a avaliação da UX exige uma abordagem temporal que compreenda fases pré-interativas, interativas e pós-interativas, de modo a captar a evolução dos estados emocionais e contextuais envolvidos na experiência. Tal enfoque torna-se indispensável à construção de uma análise mais abrangente e consistente.

No entanto, conforme apontado por Bargas-Avila & Hornbæk (2011), o campo ainda enfrenta controvérsias conceituais que dificultam a consolidação de definições e metodologias. A ausência de estudos longitudinais, por exemplo, constitui uma lacuna crítica, limitando a compreensão do percurso experiencial do usuário ao longo do tempo.

Tullis & Albert (2013) argumentam que a UX contempla um conjunto amplo de interações relevantes entre usuário e sistema, incluindo percepções, respostas emocionais e processos cognitivos diretamente associados à interação e ao uso. Embora reconheçam o caráter subjetivo e multifatorial da experiência, defendem que determinados aspectos da UX podem ser operacionalizados e quantificados, fornecendo dados objetivos úteis para o aprimoramento de navegabilidade, compreensão e funcionalidade.

Em direção semelhante, Zarour & Alharbi (2017) enfatizam que a satisfação do usuário ultrapassa o atendimento a requisitos funcionais, exigindo uma abordagem mais ampla que considere a totalidade da experiência. Reconhecem, porém, que a ausência de consensos conceituais e de modelos teóricos consolidados compromete o avanço do campo, sobretudo no que se refere à avaliação sistemática e ao alinhamento entre pesquisa e prática profissional.

Nesse panorama, Hartson & Pyla (2019) definem a UX como o conjunto de efeitos percebidos antes, durante e após a interação com o sistema, salientando que o design de UX deve promover experiências produtivas, emocionalmente significativas e funcionalmente relevantes. Entretanto, mesmo diante de sua aplicação disseminada, o campo permanece marcado pela escassez de abordagens integradas, desafios de

padronização e carência de investigações longitudinais que deem conta da complexidade e variabilidade inerentes às experiências humanas.

2.9 *Affordances*

O conceito de *affordance* emergiu da psicologia ecológica como uma forma de descrever as possibilidades de ação oferecidas pelo ambiente, com base na complementaridade entre suas propriedades físicas e as capacidades perceptivo-motoras do agente. Na transposição para o campo do design, essa noção passou a distinguir *affordances* reais das percebidas, sendo central para a inteligibilidade funcional de artefatos interativos.

Gibson (1979) conceitua as *affordances* como invariantes disponíveis no ambiente, perceptíveis de forma direta, sem exigência de processamento cognitivo complexo. Essas possibilidades emergem da relação entre as características do objeto e as capacidades do observador, permitindo ao indivíduo apreender a função de maneira imediata. Mais tarde, ao aplicar esse conceito ao design de interação, Norman (1988) redefine as *affordances* como propriedades reais e percebidas dos objetos que orientam ações possíveis. Um design eficaz, nesse caso, promove *affordances* perceptíveis aliadas a restrições bem formuladas, de modo a reduzir incertezas e induzir ações corretas, mesmo em contextos desconhecidos.

Aprofundando os fundamentos, Gaver (1991) reforça que *affordances* existem independentemente de serem percebidas ou reconhecidas pelo indivíduo, já que sua existência está vinculada à complementaridade físico-funcional entre o ambiente e o ator. No entanto, aspectos culturais e sociais modulam a saliência de determinadas *affordances*, embora não as constituam em essência. Essa perspectiva contribui para o design centrado no usuário ao integrar percepção e ação de forma pragmática.

Com abordagem correlata, Turvey (1992) descreve as *affordances* como disposições reais do ambiente, que só se concretizam quando encontram correspondência nas chamadas *effectivities*, as capacidades específicas do organismo. O controle prospectivo das ações, depende da percepção dessas *affordances*, que orientam a antecipação e coordenação eficaz das condutas em ambientes dinâmicos.

No campo da interação humano-computador (IHC), McGrenere & Ho (2000) alertam que a imprecisão conceitual do termo *affordance* pode comprometer tanto o design quanto a experiência do usuário. Defendem uma definição clara e operacional que contemple as *affordances* físicas e também aquelas presentes em softwares, que podem ser expressas graficamente ou sugeridas de modo implícito, exigindo comunicação visual eficaz.

Nesses conceitos analíticos, Glenberg & Robertson (2000) ampliam o escopo da noção ao evidenciar que o significado das palavras deriva de *affordances* indexadas a objetos perceptíveis e à estrutura sintática. O sentido emerge, assim, da articulação entre linguagem, histórico de aprendizagem e objetivos do sujeito, o que permite flexibilidade interpretativa e usos criativos conforme a intenção e o contexto.

Ampliando a análise, Stoffregen (2000) propõe uma distinção entre aspectos cinemáticos e dinâmicos da ação ao introduzir o conceito de *affordance* de observação, que envolve a captação de informação sem necessariamente implicar ação imediata. Ao fazê-lo, questiona os limites entre observação e desempenho motor, realçando o papel da percepção em preparar o organismo para futuras respostas.

Ao tratar as *affordances* sob a ótica do design de sistemas interativos, Hartson (2003) classifica-as como características que suportam ações cognitivas, físicas, sensoriais e funcionais, estabelecendo um modelo compatível com o domínio da IHC. Essa perspectiva fortalece o valor analítico do conceito quando aplicado à concepção de interfaces eficientes.

Conforme Turner (2005), as *affordances* devem ser compreendidas como objetos de fronteira, mediando o design intencional e o uso real. Nessa concepção, a identificação de um artefato se dá pelas *affordances* que ele apresenta, cujos significados são produzidos no interior dos contextos de uso, o que aproxima os conceitos de *affordance* e de contexto como instâncias equivalentes.

Em linha semelhante, Vyas, Chisalita & van der Veer (2006) propõem uma análise em dois níveis: o do artefato e o das práticas. No primeiro, as *affordances* referem-se às propriedades do sistema que sugerem funcionalidade. No segundo, fatores contextuais, como cultura e assimetrias de poder, influenciam diretamente a forma como os usuários percebem e utilizam o sistema. A Teoria da Estruturação, nesse caso, é mobilizada para evidenciar a relação entre *affordances*, status social e práticas de uso.

Em contexto de design, Maier & Fadel (2008) enfatizam a necessidade de projetar intencionalmente *affordances* eficazes, distinguindo a utilidade potencial dos artefatos a partir da materialização de ações possíveis. Criticam abordagens funcionais tradicionais que negligenciam os efeitos negativos do uso, destacando que a qualidade da *affordance* depende de sua adequação à ação pretendida.

Em relação ao papel das convenções, Still (2009) aponta que, após o período inicial de aprendizagem, convenções tornam-se tão relevantes quanto *affordances* perceptuais para guiar a ação. Recomenda, entretanto, que o design privilegie *affordances* perceptíveis, recorrendo a convenções apenas quando necessário.

A partir de uma perspectiva sociotécnica, Kaptelinin & Nardi (2012) defendem que a efetividade de uma *affordance* está atrelada à correspondência entre design, capacidades do usuário e os contextos sociais e culturais envolvidos. Isso implica reconhecer que o sucesso da interação não reside apenas na propriedade do artefato, mas na sua significação situada.

No âmbito das discussões mais recentes sobre o conceito, McClelland (2019) propõe uma extensão conceitual ao sugerir que *affordances* não se limitam a ações corporais, mas também envolvem atividades mentais como imaginar ou calcular. Essa hipótese, denominada *Mental Affordance Hypothesis* (MAH), sustenta que a percepção de *affordances* mentais ocorre por meio de potenciação, um processo automático de preparação para ação induzido por estímulos relevantes.

Com a incorporação em domínios como cognição situada, IHC e engenharia de usabilidade, *affordances* passaram a incluir dimensões simbólicas e culturais. Nessa abordagem ampliada, tornam-se entidades semióticas sujeitas à manipulação intencional no design, funcionando como referenciais técnicos para avaliar compatibilidade funcional, clareza interacional e eficácia comunicacional em ambientes digitais.

2.10 Percepção

No campo da interação e usabilidade, deve-se distinguir percepção de *affordance*. Enquanto a primeira se refere à captação e decodificação sensório-informacional por parte do agente, a segunda diz respeito a propriedades relacionais que sugerem possibilidades de ação. Embora interdependentes, operam em domínios analíticos distintos. A percepção, em particular, está sujeita a mediações afetivas, estéticas e culturais, que influenciam diretamente a aceitabilidade e a experiência de uso, atuando como elo entre estímulo e resposta, estruturado por padrões físicos e processos cognitivos inferenciais.

A partir de uma abordagem informacional, Attneave (1954) observou que a redundância nos estímulos percebidos por organismos superiores permite economia de processamento, tanto na ciência quanto na cognição. Em suas análises, demonstrou que descrever a posição de elementos agrupados por uma origem local reduz a carga

informacional exigida, evidenciando um princípio que aproxima percepção e raciocínio indutivo.

Em estudos sobre memória sensorial, Sperling (1960) verificou que o relato parcial, baseado em instruções imediatas após a apresentação do estímulo, revela mais informação acessível do que o relato total. A acurácia superior na recuperação da linha superior de letras indica que os estímulos não são imediatamente convertidos em representações auditivas sequenciais, revelando a existência de uma memória visual transitória mais ampla do que a memória imediata permite expressar.

Na investigação da acuidade visual, Appelle (1972) identificou um padrão sistemático: estímulos dispostos em orientações verticais e horizontais tendem a ser processados com maior precisão que os oblíquos. Essa regularidade, mantida em diversas tarefas perceptivas, não pode ser explicada apenas por características ópticas da imagem ocular, como demonstraram experimentos posteriores que refutaram tais hipóteses.

A partir de uma perspectiva ecológica, Gibson (1979) reformula o entendimento da percepção ao concebê-la como a detecção direta de invariantes ambientais. Essa abordagem rejeita a intermediação de representações internas e enfatiza o papel ativo do organismo em manter-se em contato com o mundo, guiando-se por regularidades estáveis no fluxo perceptivo.

Na contramão das teorias computacionais, Cutting (1982) contrasta duas tradições teóricas: enquanto a psicologia da informação trata a percepção como mediada por computações internas, a abordagem ecológica a entende como direta e interativa. Shaw, Turvey & Mace (1982), ao reforçarem essa posição, afirmam que perceber não é emitir juízos proposicionais, mas viver experiências perceptivas diretas e funcionais, essenciais à sobrevivência adaptativa.

Com base em evidências neurocientíficas, Goodale & Milner (1992) demonstraram a existência de dois sistemas visuais independentes: o sistema ventral, responsável pela identificação perceptual, e o dorsal, especializado em guiar ações com base em transformações sensorio-motoras. Ressaltam que o sistema dorsal opera mesmo na ausência de percepção consciente, codificando localização e orientação de objetos em coordenadas egocêntricas.

Ainda que sucinto, o argumento desenvolvido em Cutting (1993) exerceu impacto duradouro ao reiterar a centralidade da percepção nas teorias cognitivas, ao sugerir que ela molda e é moldada pelas estruturas do mundo físico. Em ampliação a essa linha, Fermüller & Aloimonos (1995) propõem integrar visão e ação num modelo funcional, afastando-se da reconstrução passiva e aproximando-se de uma percepção voltada à ação e ao propósito.

Dentro de uma concepção distribuída da cognição, Clark (1997) argumenta que a mente ultrapassa seus próprios limites biológicos ao se acoplar ao corpo e ao mundo, funcionando como uma infraestrutura adaptativa e permeável. O “motor da razão”, nesse contexto, não se restringe ao cérebro, mas emerge da interação com o ambiente.

Retomando a centralidade do conceito de informação, Cutting (1998) afirma que a percepção dos objetos se dá por meio de padrões informacionais que não apenas permitem conhecer o mundo, mas também agir sobre ele. Define-se, assim, a percepção como um processo de *in-forming*, em que a mente se constitui pela internalização ativa de regularidades.

No domínio da interação com sistemas, Hartson (2003) destaca a *affordance* sensorial como condição indispensável para orientar corretamente o comportamento do usuário, reduzindo a dependência de instruções explícitas. Complementarmente, Brown & Blessing (2005) indicam que a percepção das *affordances* está condicionada às capacidades operacionais do agente e às formas específicas de uso dos artefatos, as quais, por sua vez, estão condicionadas por restrições comportamentais e contextuais.

Em análise mais refinada, Vyas, Chisalita & van der Veer (2006) classificam as *affordances* em dois domínios: *affordance* em informação, voltada à interpretação semântica e sintática da tecnologia, e *affordance* em articulação, associada à manipulação procedural. Ambas evoluem com o uso, sendo moduladas pela familiaridade e pelos contextos de aplicação.

Ao tratar da relação entre modelos mentais e design, Hurtienne (2011) alerta que a congruência entre o modelo representado pelo sistema e o modelo mental do usuário é decisiva para a intuitividade. Frequentemente, interfaces refletem mais a estrutura técnica (modelo de implementação) do que as expectativas cognitivas do agente, o que compromete a fluência perceptiva e aumenta a carga cognitiva.

Com base no paradigma do processamento de informação, Chong & Proctor (2019) descrevem os seres humanos como sistemas que internalizam dados do ambiente e os processam com base em representações mentais oriundas de experiências passadas. Essa abordagem fundamenta a previsibilidade das ações em contextos familiares.

Em perspectiva visual dinâmica, Yang (2020) demonstra como princípios como inclinação, deformação e estroboscopia articulam percepção visual e expressão artística no design de produtos. Essas variações moldam não apenas a aparência, mas a experiência subjetiva da interação, impactando diretamente na usabilidade.

De modo geral, sistemas que impõem ao agente a lógica interna do artefato comprometem a fluidez perceptiva, enquanto representações compatíveis com o modelo mental do agente favorecem a apropriação funcional. A percepção, ao antecipar padrões e ativar representações motoras, constitui um processo distribuído entre corpo, ambiente e tecnologia. Essa interdependência entre percepção e ação revela-se decisiva para a construção de experiências interativas significativas e eficazes.

2.11 Afetividade

A afetividade constitui um domínio essencial da experiência humana, operando como eixo estruturante na relação dos sujeitos com o mundo e ativando processos que transcendem a racionalidade estrita. No campo das ciências cognitivas, da psicologia e da filosofia da mente, é reconhecida como uma dimensão funcional autônoma, ainda que profundamente entrelaçada à cognição e à conação. Abrangendo um amplo espectro de estados emocionais e disposicionais, como humores, sentimentos, paixões e reações afetivas transitórias, sua manifestação é modulada por fatores contextuais, disposicionais e neurobiológicos. A análise da afetividade requer, portanto, uma abordagem multidimensional, que contemple a integração entre os sistemas perceptivo, avaliativo, expressivo e regulatório.

Nessa fundamentação, na compreensão de como diferentes sistemas de processamento humano organizam respostas avaliativas diante de estímulos, Flower (1929) delineia três dimensões funcionais da experiência consciente, cognição, conação e afeto. Embora a tradição intelectualista privilegie a cognição, evidencia que, em determinadas condições, o afeto pode assumir papel organizador primário da experiência, aspecto particularmente relevante para a análise da interação entre sujeitos e artefatos tecnológicos.

Ao realizar uma metanálise de 92 definições e 9 declarações céticas sobre emoção, Kleinginna Jr. & Kleinginna (1981) evidenciam a multiplicidade e a dispersão conceitual do campo. Como resposta a essa fragmentação, propõem uma definição integradora da emoção como um sistema dinâmico de interação entre componentes subjetivos e objetivos, definição que oferece base conceitual consistente para sua operacionalização em contextos de avaliação de experiências mediadas por tecnologia.

Do ponto de vista funcional, Norman (2004) argumenta que os sistemas afetivo e cognitivo operam de forma distinta e complementar no processamento de estímulos,

distinção amplamente explorada no campo da interação humano-computador. O sistema afetivo atua por meio de avaliações rápidas e automáticas, frequentemente implícitas, enquanto o sistema cognitivo envolve processos analíticos mais deliberados. Nessa perspectiva, o afeto não se restringe à emoção consciente, mas constitui um mecanismo basal de orientação adaptativa, influenciando diretamente a percepção, o julgamento e o uso de artefatos computacionais.

A afetividade também desempenha papel central na empatia, conforme observa Smith (2006), ao distinguir duas capacidades interdependentes: a empatia cognitiva, que permite adotar a perspectiva mental do outro, e a empatia emocional, que possibilita compartilhar suas emoções de forma vicariante. Conceitos como “tomada de perspectiva”, “teoria da mente” e “mentalização” são frequentemente utilizados como equivalentes funcionais nesse escopo.

Do ponto de vista do design centrado no usuário, Khalid (2006) propõe que a antecipação das necessidades afetivas dos usuários é crucial para a criação de produtos mais assertivos e emocionalmente alinhados. Surge o campo da Hedonomics, voltado à integração sistemática das emoções no design de produtos, embora ainda desafiado pela formulação de métricas válidas e confiáveis para avaliar impactos afetivos.

Na interface com a interação humano-computador (IHC), Brave & Nass (2009) ressaltam que a consideração das emoções é decisiva para o sucesso da experiência, uma vez que sistemas que ignoram os estados afetivos podem ser percebidos como frios ou disfuncionais. O impacto emocional afeta diretamente não apenas a eficiência da interação, mas também a percepção de confiabilidade e engajamento.

Estudos empíricos como o de Zhai et al. (2009) demonstram que níveis elevados de *Positive Affectivity* (PA) favorecem percepções mais positivas sobre o ambiente de trabalho, correlacionando-se com maior satisfação pessoal e profissional. Em contrapartida, altos níveis de *Negative Affectivity* (NA) associam-se a avaliações negativas das mesmas situações, revelando que os afetos modulam significativamente a interpretação subjetiva da realidade.

Em termos funcionais, Roseman (2011) argumenta que as emoções operam como estratégias de resposta específicas em contextos situacionais, apresentando padrões relativamente consistentes entre culturas. Embora exista ampla variabilidade nas respostas emocionais, essa variabilidade não invalida a presença de estruturas emocionais universais, mas evidencia a complexidade do sistema afetivo humano.

No domínio da computação afetiva, Jeon (2017) observa uma evolução nas propostas: de sistemas que apenas reconhecem ou expressam afetos, para sistemas capazes de experimentar emoções e utilizá-las na tomada de decisões. O processo de avaliação emocional, segundo a autora, ocorre por duas vias: uma rápida, com transmissão direta do tálamo à amígdala; e outra, mais lenta e analítica, que passa pelo córtex sensorial antes de alcançar a amígdala, o que permite avaliações emocionais mais sofisticadas.

De modo analítico e científico, os afetos não apenas acompanham os processos decisórios, mas também frequentemente os antecedem e os direcionam, antecipando julgamentos de valor e delineando disposições comportamentais antes mesmo da mediação consciente. Em termos epistêmicos, o afeto pode ser compreendido como uma via de apreensão do real, estruturando a experiência de sentido e a atribuição de significado, sobretudo em contextos de alta carga emocional e complexidade ambiental.

2.12 Satisfação

A noção de satisfação configura-se como um constructo psicológico de alta complexidade, consolidado por meio de abordagens multidisciplinares que integram componentes cognitivos, afetivos e conativos. No âmbito tecnológico e organizacional, essa categoria passou a ser compreendida como uma métrica integradora da qualidade percebida, da efetividade da interação e da valorização subjetiva da experiência vivida. Estudos recentes reforçam sua centralidade na avaliação de sistemas de informação, produtos interativos e serviços, reconhecendo-a como variável dependente de múltiplos determinantes, desde atributos ergonômicos e funcionais até condições situacionais e características idiossincráticas do agente.

Entre os esforços de sistematização, destaca-se a proposta de Pearson & Bailey (1980), que organizam os fatores determinantes da satisfação em cinco dimensões: o contexto organizacional, relativo ao ambiente de oferta dos serviços de TI; a relação com a equipe de TI, que envolve aspectos como suporte técnico e comunicação; a interface, no que tange às características da interação homem-máquina; a qualidade do produto ou serviço, com ênfase em precisão e confiabilidade; e os constructos internos do usuário, que refletem suas avaliações subjetivas e experiências acumuladas.

A partir de uma abordagem empírica, Tractinsky, Katz & Ikar (2000) evidenciam a correlação entre a satisfação do usuário e sua percepção estética da interface, demonstrando que a estética percebida influencia diretamente a avaliação da usabilidade. Essa perspectiva desloca o eixo da análise de parâmetros exclusivamente funcionais para considerações de ordem sensível e emocional, ampliando a compreensão sobre o que constitui uma experiência satisfatória.

Com base em estudos experimentais, Hassenzahl (2001) sustenta que os designers devem contemplar requisitos hedônicos, além dos funcionais e de usabilidade, independentemente do domínio de aplicação. Critica abordagens que restringem a satisfação ao reconhecimento da eficiência técnica do produto, ao passo que ignora dimensões subjetivas mais amplas. Argumenta que esse reducionismo compromete a capacidade avaliativa dos modelos, uma vez que desconsidera a experiência real do usuário.

Sob uma perspectiva mais integradora, Lindgaard & Dudek (2003) reforçam que a satisfação do usuário emerge da experiência interativa como um todo, sendo modulada por aspectos como emoção, expectativa, estética, apreciação e usabilidade. Afirmam que o apelo visual exerce papel decisivo na construção dessa percepção, e que seu desprezo pode comprometer a efetividade geral da interação, mesmo em sistemas funcionalmente consistentes.

Análises teóricas conduzidas por Griffiths, Johnson & Hartley (2007) revelam que a própria natureza da satisfação a torna objeto de controvérsia conceitual, por ser subjetiva e suscetível à influência de variáveis diversas, desde atributos do sistema até características do usuário ou da tarefa em execução. Essa multiplicidade de condicionantes inviabiliza definições monolíticas, exigindo abordagens sensíveis à heterogeneidade dos contextos.

No domínio dos sistemas de informação, Briggs, Reinig & de Vreede (2008) ressaltam que a satisfação constitui um dos principais indicadores de sucesso organizacional, sendo fortemente associada à adesão, continuidade de uso e efetividade das implementações. Apontam que o envolvimento do usuário nos estágios iniciais do design amplia a percepção de qualidade e contribui para a legitimação do sistema, sobretudo em processos decisórios críticos.

Com base na teoria dos image schemas, Hurtienne (2011) demonstra que padrões subconscientes de conhecimento sensorimotor podem orientar o design de

interfaces mais intuitivas. A incorporação desses esquemas promove ganhos em eficácia e fluidez cognitiva, aumentando a satisfação do usuário ao reduzir a necessidade de esforço consciente no aprendizado e uso.

A partir de uma análise longitudinal, Briggs & Sindhav (2015) reafirmam a relevância da satisfação como métrica de sucesso no ciclo de vida dos sistemas de informação. Sustentam que sua mensuração contínua é estratégica para a manutenção da qualidade e alinhamento entre os sistemas e as expectativas dos usuários.

Com o avanço das abordagens centradas na experiência do usuário, o conceito de satisfação foi substancialmente ampliado, incorporando critérios hedônicos, estéticos, relacionais e situacionais. Deixa, portanto, de ser compreendido como mero reflexo da funcionalidade técnica, constituindo-se como um julgamento emergente, resultante da integração entre interpretações pessoais, emoções evocadas e expectativas prévias. A satisfação por sua natureza eminentemente subjetiva, exige modelos avaliativos multifatoriais e sensíveis às distintas camadas de percepção envolvidas na experiência interacional.

2.13 Efetividade

A efetividade, enquanto constructo central na análise de sistemas interativos e tecnológicos, constitui um indicador primário da capacidade de uma solução computacional em permitir que seus agentes atinjam objetivos definidos com precisão, completude e consistência. Está diretamente vinculada à concretização das metas operacionais de uma dada tarefa ou processo. Esse constructo opera em múltiplas camadas: da precisão funcional da resposta do sistema à acurácia semântica das informações apresentadas, passando pelo alinhamento entre a ação do agente e os resultados observados. Em contextos críticos, como ambientes clínicos, financeiros ou industriais, a efetividade transcende o plano funcional e assume papel normativo, regulando práticas, definindo limites de uso e estabelecendo responsabilidades operacionais.

Conforme Bailey & Pearson (1983), a compreensão aprofundada das necessidades do usuário figura como vetor decisivo para ampliar tanto a eficácia quanto a eficiência dos sistemas computacionais, destacando a influência direta de atributos como facilidade de uso, qualidade do suporte técnico, confiabilidade da plataforma e relevância da informação na experiência do usuário. Sob uma perspectiva complementar, Fermüller & Aloimonos (1995) compreendem que a competência de um sistema inteligente reside em suas capacidades perceptuais e de ação, concebidas como unidades estruturantes da cognição computacional, sobretudo em sistemas voltados à interação com o ambiente.

Essa articulação entre clareza funcional e previsibilidade também se apresenta como princípio fundante da manipulação direta, conforme argumenta Shneiderman (1997), ao sustentar que a previsibilidade de sistemas críticos permite mascarar a complexidade subjacente, assegurando ao usuário uma experiência intuitiva e segura. Em tais contextos, o fornecimento de *feedback* imediato não apenas reforça a confiança, mas também qualifica a responsabilização pelos atos operacionais, dado que os efeitos das ações são perceptíveis em tempo real.

No campo do design de interfaces, Kaufman & Weed (1998) chamam atenção para o fenômeno do bloat, apontando que o excesso de funcionalidades pode comprometer a usabilidade, embora alguns usuários explorem tal variedade como meio de aumentar sua produtividade. A clareza na percepção das ações possíveis e a qualidade do *feedback* também são elementos estruturantes do design eficaz, conforme delineado por Norman (1999), que propõe distinções conceituais entre real *affordances*, *perceived affordances* e *feedback*. A ausência de distinção entre tais conceitos gera

decisões de projeto equivocadas, tornando a interface menos intuitiva e mais suscetível a erros por parte dos usuários.

Ampliando a análise do design, McGrenere (2000) aprofunda o conceito *bloat* ao distingui-lo em termos objetivos e subjetivos: enquanto a dimensão objetiva se refere à presença de funções não utilizadas, a subjetiva remete a percepções individuais de sobrecarga funcional, geralmente expressas de forma genérica e negativa, ainda que pouco definidas com precisão no discurso técnico.

Em articulação a esses aspectos, Tractinsky, Katz & Ikar (2000) complementam ao evidenciar que interfaces esteticamente bem projetadas influenciam positivamente o desempenho dos usuários, mesmo em usos obrigatórios, revelando o papel do afeto na efetividade.

Do ponto de vista metodológico, a avaliação da efetividade exige sensibilidade empírica frente à heterogeneidade dos perfis de agentes e das condições de uso, Kortum & Peres (2014) associam a taxa de sucesso em tarefas à avaliação da eficácia, mas alertam que experimentos laboratoriais nem sempre refletem o uso real, ressaltando a necessidade de validação empírica em campo.

Diante de tais contribuições, torna-se evidente que a efetividade não pode ser reduzida a um único vetor de desempenho técnico, demandando uma análise integrada entre métricas objetivas e percepções subjetivas. Sua mensuração deve considerar a consistência, a precisão funcional, o valor semântico das informações e a responsividade do sistema. Em última instância, a efetividade consolida-se como critério transversal de qualidade tecnológica, essencial à avaliação de qualquer artefato voltado à interação, controle ou suporte à decisão.

2.14 Gravidade de Erros

A gravidade de erro, enquanto constructo técnico-científico, integra um campo multidisciplinar que investiga não apenas a origem e a recorrência de falhas em sistemas interativos, mas, sobretudo, sua severidade, persistência e impacto sobre a integridade funcional, a segurança informacional e a experiência do agente. A literatura especializada compreende que os erros não são eventos isolados, mas manifestações sintomáticas de inadequações de projeto, defasagens cognitivas ou falhas estruturais nas interfaces. Assim, a análise de sua gravidade demanda abordagem sistemática, articulando fundamentos da engenharia de usabilidade, da teoria dos sistemas cognitivos, da análise de falhas e dos fatores humanos.

Conforme Hansen (1971), a integridade dos dados deve ser protegida por mecanismos que permitam desfazer ações e registrar falhas, possibilitando não apenas resiliência diante de erros, mas também fornecendo subsídios técnicos aos projetistas. Essa perspectiva encontra aprofundamento em Randell (1975), ao distinguir falhas de hardware, geralmente associadas a defeitos físicos localizáveis, de erros de software, que decorrem de deficiências projetuais recorrentes, agravadas pela complexidade combinatória e pelos múltiplos estados possíveis nos sistemas computacionais. Essa assimetria torna o software inerentemente menos verificável, mesmo em sistemas de pequena escala.

Essa natureza sistêmica do erro também é abordada por Hollnagel & Woods (1982), que criticam estratégias centradas na automatização como resposta a falhas humanas. Ao deslocar a responsabilidade exclusivamente para o operador, essas soluções ignoram que erros localizados muitas vezes decorrem de fragilidades no design da interface. Alertam que a supressão de tarefas ou sua delegação à automação pode introduzir novas disfunções, ao comprometer a coerência do sistema cognitivo como um todo. Dessa forma, falhas no desempenho humano frequentemente refletem deficiências projetuais, e não limitações individuais.

Com base em análises centradas na interação humano-computador, Shneiderman (1986) reforça que variações no tempo de resposta e a presença de mensagens de erro vagas ou agressivas são fontes recorrentes de frustração. Recomenda substituí-las por instruções claras e orientadoras, capazes de auxiliar o usuário na identificação e correção do problema. Essa abordagem é consonante com a análise de Norman (1988), que formula o paradoxo da tecnologia: a ampliação de funcionalidades, embora tecnicamente desejável, muitas vezes gera interfaces opacas e suscetíveis a erros, especialmente quando falham em sinalizar ações, interpretar equívocos ou adaptar-se às estratégias cognitivas dos usuários.

Do ponto de vista da engenharia da experiência do usuário, Han et al. (2001) enfatizam que a prevenção e a capacidade de recuperação diante de erros são dimensões estruturantes da experiência do usuário, ao passo que Westland (2002) observa que falhas menos graves, mas recorrentes, representam maior impacto no custo global do desenvolvimento, quando comparadas a erros críticos e raros. Essa constatação evidencia a importância de estratégias contínuas de monitoramento e depuração, baseadas não apenas na gravidade isolada do erro, mas também em sua frequência e no custo associado à sua resolução.

Em complemento a essas abordagens, Alshamari & Mayhew (2008) demonstram que a estrutura das tarefas influencia a identificação de falhas: enquanto tarefas restritas revelam problemas superficiais, tarefas abertas expõem disfunções críticas e barreiras relevantes à interação, tornando-se instrumentos mais eficazes na avaliação da gravidade de erros em sistemas interativos.

Em ambientes computacionais caracterizados por crescente complexidade e diversidade de agentes, o erro adquire status de variável crítica. Sua análise não deve restringir-se à ocorrência pontual do incidente, mas deve considerar a intensidade, a reversibilidade, a frequência e o grau de disfunção provocada. Essa compreensão amplia as possibilidades de modelagem e controle, viabilizando o desenvolvimento de estratégias robustas de prevenção, mitigação e redesenho, consolidando a gravidade do erro como dimensão central na avaliação da qualidade em sistemas tecnológicos.

2.15 Graus de Risco

A análise dos graus de risco em contextos tecnológicos requer um tratamento metodológico altamente rigoroso, que incorpore variáveis técnicas, humanas e ambientais sob uma lógica sistêmica e multidimensional. O risco, nesse domínio, ultrapassa as concepções tradicionais de falha técnica ou ameaça física, abrangendo também implicações cognitivas, emocionais e sociais oriundas da interação entre agentes e sistemas complexos.

Conforme Bohnhoff, Brandt & Henning (1992), tecnologias avançadas inseridas em sistemas descentralizados e interconectados tendem a intensificar a exploração de recursos naturais e a ampliar pressões ambientais, o que impacta indiretamente tanto as condições laborais quanto o equilíbrio social. As transformações tecnológicas impõem aos trabalhadores demandas acrescidas de desempenho e adaptação, desencadeando sobrecargas psicológicas muitas vezes negligenciadas.

Sob outra perspectiva, Platt (1999) ressalta que os maiores riscos não residem apenas em falhas de projeto ou instabilidades mercadológicas, mas nas experiências de usuários inexperientes frente à complexidade tecnológica. A insegurança quanto ao uso adequado, associada ao receio de errar, pode gerar abandono de sistemas ou serviços mesmo em situações de risco mínimo, evidenciando a necessidade de considerar o fator humano como variável crítica na gestão de risco.

A esse respeito, McRoberts (2005) reforça a centralidade da gestão de riscos em todas as fases do ciclo de vida dos produtos, desde o projeto até a utilização final. A

antecipação de riscos e a implementação de medidas preventivas são responsabilidades indelegáveis dos fabricantes, que devem assegurar níveis aceitáveis de segurança antes da introdução comercial das soluções.

No campo da usabilidade, Alshamari & Mayhew (2008) propõem um modelo de priorização que articula três dimensões principais: impacto na experiência do usuário, frequência de ocorrência e persistência dos problemas. Com base nesses critérios, sugerem uma classificação gradual da gravidade, que vai desde ocorrências irrelevantes até falhas consideradas desastrosas, conferindo suporte técnico à alocação estratégica de recursos durante o processo de correção.

Ao tratar da dinâmica cognitiva no ambiente operacional, Cecilio (2022) evidencia que a leitura e a interpretação adequadas de situações críticas no ambiente de trabalho exigem atenção constante a múltiplos fatores simultâneos. Esse cenário favorece a emergência de sobrecargas cognitivas, exigindo o desenvolvimento de soluções que otimizem a tomada de decisão e preservem a eficiência operacional sob pressão.

A avaliação dos riscos, nesse escopo, demanda não apenas o mapeamento objetivo da gravidade e da probabilidade de ocorrência de eventos indesejáveis, mas também a análise da vulnerabilidade dos agentes e da resiliência dos sistemas envolvidos. A precisão dessa categorização depende de métricas verificáveis e de escalas graduais que fundamentem decisões técnicas em diferentes fases do ciclo de vida dos produtos. Assim, a gestão de risco consolida-se como um eixo estruturante da engenharia da usabilidade, da segurança funcional e da sustentabilidade sistêmica de tecnologias aplicadas.

2.16 Atributos

A investigação dos atributos envolvidos na interação entre agentes humanos e sistemas tecnológicos constitui um fundamento epistemológico nos campos da Engenharia da Usabilidade, da IHC e da Computação Interativa, conforme discutido por Hassenzahl (2004). O conceito de atributo, nesse escopo, ultrapassa os descritores funcionais, consolidando-se como unidade analítica formada por propriedades observáveis, mensuráveis e teoricamente fundamentadas que qualificam a experiência do agente sob dimensões funcionais, cognitivas, sensoriais e simbólicas (Hassenzahl, 2004; Zali, 2016).

Sob uma perspectiva conceitual, esses atributos se organizam, classicamente, em dois grandes grupos: os pragmáticos, ligados à eficácia instrumental da ação, e os hedônicos, que abrangem aspectos subjetivos relacionados à identidade, à emoção e ao valor simbólico da experiência. Compreender essa dualidade é essencial para a formulação de métricas que avaliem não apenas o desempenho técnico da tecnologia, mas também sua aceitabilidade sociocognitiva.

Conforme destacado por Tractinsky (1997), a aceitabilidade de um sistema requer um equilíbrio sensível entre usabilidade e estética. Embora a IHC tenha historicamente privilegiado o desempenho funcional, negligenciar a experiência estética pode comprometer a adoção e a continuidade do uso. A articulação entre forma e função, portanto, exige investigação sistemática, especialmente no que diz respeito à influência da estética na percepção de qualidade global do sistema.

Aprofunda essa distinção Hassenzahl (2004), ao estabelecer que atributos pragmáticos se vinculam diretamente à capacidade do usuário em atingir metas concretas por meio da usabilidade e da utilidade percebida. Em contrapartida, os atributos hedônicos articulam experiências subjetivas, como o desejo de novidade, o desafio e a expressão de valores pessoais.

No aprofundamento dessa abordagem, Zali (2016) propõe um conjunto de atributos operacionais capazes de capturar nuances da experiência de uso, tais como eficácia (alcançar objetivos), eficiência (tempo dispendido na execução), esforço (carga cognitiva e física), aprendizado (facilidade de aquisição de competências), satisfação (percepção subjetiva do uso) e memorabilidade (retenção de conhecimento após um intervalo temporal). Esses indicadores orientam a melhoria contínua dos sistemas, sustentando avaliações de usabilidade baseadas em evidências empíricas e replicáveis.

Complementarmente, Ilmberger, Schrepp & Held (2008) indicam que, embora uma estética favorável não compense deficiências severas de usabilidade, sua presença potencializa positivamente a experiência global, reforçando a percepção de qualidade quando há coerência entre forma, função e propósito. Essa relação entre contexto e atributos é retomada por Hartmann, Sutcliffe & Angeli (2008), ao argumentarem que a importância relativa de cada atributo varia conforme as exigências da tarefa, os perfis dos usuários e as circunstâncias situacionais. Essa variação exige que os modelos avaliativos sejam sensíveis ao contexto e orientados por critérios adaptativos.

A consolidação dos atributos como categorias centrais na análise de sistemas interativos exige, portanto, abordagens metodológicas que integrem desempenho técnico, confiabilidade, inovação e aderência cultural. Em ambientes de alta complexidade, os atributos tornam-se critérios decisivos para a aceitabilidade, adaptabilidade e sustentabilidade da tecnologia em uso. A evolução conceitual desses parâmetros redefine o entendimento de qualidade, superando métricas puramente operacionais e incorporando valores subjetivos, simbólicos e contextuais à avaliação científica das tecnologias interativas.

2.17 Design Universal

O Design Universal consolidou-se como paradigma projetual orientado pela equidade no acesso, uso e interação com tecnologias, contemplando indivíduos com diferentes níveis funcionais, sejam permanentes ou temporários. Ancorado em fundamentos éticos, sociais e técnicos, esse conceito transcende a acessibilidade física ao incorporar o princípio da inclusão integral à concepção de produtos, serviços e sistemas interativos. Sua formulação científica integra variáveis como diversidade de capacidades, contextos de operação e ecossistemas tecnológicos, exigindo abordagens centradas no agente que promovam interoperabilidade, flexibilidade funcional e previsibilidade de comportamento.

Conforme destacam Abascal (2002), o advento dos computadores pessoais impulsionou a democratização do acesso à tecnologia, influenciada por transformações técnicas, comerciais e sociopolíticas, enquanto movimentos pelos direitos das pessoas com deficiência passaram a exigir soluções efetivamente inclusivas. Nessa direção analítica, Wegge & Zimmermann (2007) observam que o design acessível passou a incorporar modalidades alternativas que compensam limitações funcionais e viabilizam a integração com tecnologias assistivas, favorecendo o uso autônomo por diferentes perfis de usuários.

A perspectiva de uma “neo-simbiose” entre humano e máquina, desenvolvida por Griffith & Greitzer (2007), enfatiza a necessidade de interfaces sensíveis aos estados cognitivos dos usuários, de modo a reduzir a sobrecarga informacional e mitigar o estresse. Essa simbiose depende de arquiteturas sensíveis às limitações humanas e capazes de reposicionar o humano como instância de controle e decisão.

Ao abordar a adequação das tarefas às necessidades reais dos usuários, Hochheiser & Lazar (2007) chamam a atenção para uma mudança metodológica no design, que deixa de se restringir à resolução de problemas técnicos e passa a integrar

dimensões sociais, políticas e subjetivas, reposicionando o papel do pesquisador diante da complexidade do uso.

Aprofundando o cenário crítico, Fogli, Parasiliti Provenza & Bernareggi (2013) observam que, embora os padrões de acessibilidade estejam amplamente difundidos na IHC, permanecem focados em elementos estáticos das interfaces, como cores, fontes e layouts, sem acompanhar a complexidade dinâmica das aplicações web contemporâneas, que operam com alto grau de interatividade.

Conforme destaca Begnum (2020), avanços recentes indicam que a separação entre sistema e interface permite maior flexibilidade para acomodar diversidades funcionais, sobretudo com o fortalecimento de regulamentações inclusivas que ampliam a participação de grupos historicamente excluídos nos processos de concepção tecnológica. Lin Cheoh et al. (2020) complementam essa análise ao apontar que diretrizes como a WCAG são fundamentais para ambientes educacionais acessíveis, embora sua eficácia dependa diretamente da escuta ativa dos próprios usuários com deficiência, que indicam limitações e contribuem para o aprimoramento das diretrizes com base na experiência real.

A modelagem conceitual do Design Universal articula domínios como ergonomia cognitiva, engenharia semiótica, arquitetura da interação e políticas públicas de inclusão, o que exige metodologias integradas de validação técnica e sociocognitiva. Sua aplicação demanda a incorporação de métricas normativas e técnicas centradas no agente, que abrangem desde a legibilidade e a navegabilidade até a compatibilidade com dispositivos assistivos e o suporte multimodal. O escopo atual abrange dispositivos físicos, ambientes virtuais e sistemas ubíquos, consolidando o Design Universal como fundamento indispensável à democratização tecnológica e à efetivação dos direitos digitais.

2.18 Tecnologia Verde

A Tecnologia Verde consolida-se como um campo científico e técnico orientado à reformulação dos fundamentos da produção tecnológica, com vistas à minimização sistemática de impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos artefatos. Com base em princípios da Engenharia Sustentável, da Ciência dos Materiais, da Ecologia Industrial e da Governança Ambiental, articula estratégias de descarbonização, modularidade reparável, eficiência energética, circularidade e justiça ambiental, transcendendo a mitigação de danos e estabelecendo parâmetros regenerativos e normativos para o desenvolvimento tecnológico.

Em termos de responsabilidade corporativa, Grether (1969) considera que o enfrentamento de problemas sociais e ambientais, como poluição, segurança e pobreza, exige iniciativa estratégica, articulação com esferas reguladoras e disposição para inovação ética, de modo a transformar tais desafios em motores de progresso. Essa perspectiva relacional também se reflete no campo da IHC, em que Shneiderman (1986) adverte para os riscos de ampliação de desigualdades entre usuários com distintos níveis de acesso às tecnologias, reforçando a necessidade de sistemas projetados com foco na equidade de impacto e no compromisso social.

Do ponto de vista sociotécnico, Rauner, Rasmussen & Corbett (1988) alertam para os riscos estruturais decorrentes da ausência de controle social sobre tecnologias de produção, como os sistemas de Manufatura Integrada por Computador (CIM). Defendem que a viabilidade tecnológica deve estar subordinada à autodeterminação individual e coletiva, viabilizando o desenvolvimento humano tanto nas esferas organizacionais quanto nas subjetivas.

No plano ético e regulatório, Shneiderman (1990) argumenta que o avanço técnico, se desvinculado de compromissos sociais, compromete sua própria

legitimidade, propondo, assim, a incorporação de uma Declaração de Impacto Social em projetos tecnológicos, com atenção explícita a efeitos ambientais e à saúde. Em linha com essa orientação, Bohnhoff, Brandt & Henning (1992) sustentam que a integração humana, aliada à descentralização e à horizontalização produtiva, constitui base para a construção de ambientes laborais sustentáveis, nos quais saberes tácitos sejam valorizados e a flexibilidade operacional seja assegurada.

No campo da Tecnologia da Informação, Murugesan (2008) introduz o conceito de TI Verde como um conjunto de práticas sustentáveis aplicadas ao ciclo de vida completo da infraestrutura computacional, garantindo desempenho técnico e viabilidade econômica sem negligenciar a responsabilidade ética.

Do ponto de vista estrutural, Fuchs & Obrist (2010) demonstram que a insustentabilidade opera por meio de ciclos interdependentes, nos quais a degradação ecológica e os colapsos político-sociais se reforçam mutuamente. Sustentam que romper esse ciclo exige uma inflexão paradigmática baseada na dialética entre preservação ambiental, equidade econômica, liberdade política e sabedoria cultural. Nesse campo, Bose & Luo (2011) observam que, apesar da crescente valorização da *Green IT*, a ausência de um arcabouço teórico robusto compromete sua adoção sistemática, revelando lacunas significativas na literatura de Sistemas de Informação voltada à sustentabilidade.

Em âmbito produtivo, Romero et al. (2016) defendem a necessidade de estabelecer uma simbiose humano-automação por meio da adaptação contínua dos níveis de controle nas estações de trabalho, de forma a maximizar as competências humanas, promover a inclusão e elevar a satisfação no trabalho, sem comprometer as metas produtivas.

Essas abordagens críticas e sistemáticas convergem com a reflexão mais recente de Sharma, Kumar & Nardi (2023), ao introduzirem no campo da IHC a crítica ao paradigma do crescimento econômico, propondo sua substituição por práticas de redesenho, reconhecimento de limites, construção de solidariedades e pedagogia crítica, visando integrar sustentabilidade ecológica e emancipação humana nos próprios fundamentos da concepção tecnológica.

A articulação desses fundamentos exige o uso de métricas científicas rigorosas, como a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), a intensidade energética, os índices de emissão e os coeficientes de externalidade ecológica. Nessa perspectiva, a Tecnologia Verde não se apresenta como vertente periférica, mas como um paradigma normativo e integrativo que redefine critérios técnicos, com impactos diretos sobre cadeias produtivas, políticas públicas e normatizações internacionais.

2.19 Interação Sustentável Humano-Computador (SHCI)

A *Sustainable Human-Computer Interaction* (SHCI) é um campo teórico-prático de elevada densidade interdisciplinar, ancorado na necessidade de incorporar critérios de sustentabilidade ambiental, social e ética à concepção, uso e descarte de sistemas interativos computacionais. Esse domínio estabelece um reposicionamento epistemológico da IHC clássica, ampliando seus focos tradicionais de usabilidade, acessibilidade e experiência para incluir impactos ambientais e efeitos sociotécnicos de longo prazo.

No início dos debates sobre SHCI, Jain & Wullert (2002) destacam a importância de explorar novas frentes de pesquisa em computação ubíqua, enfatizando o desenvolvimento de métricas formais para avaliação de custos ambientais, a adoção de fontes de energia renovável, a gestão energética ao longo do ciclo de vida dos sistemas e o descarte inteligente com mecanismos de *feedback* voltados ao aprimoramento

contínuo do design. Esses desafios se consolidam como núcleo estruturante da concepção ambientalmente sustentável em sistemas computacionais.

Avançando nessa perspectiva, Bhuie et al. (2004) demonstram que equipamentos como celulares e computadores contêm substâncias altamente tóxicas, a exemplo de arsênio, cádmio, chumbo e níquel, capazes de contaminar o solo e lençóis freáticos, além de emitir poluentes atmosféricos durante processos de incineração. A ausência de políticas integradas de descarte amplia os riscos ambientais, acentuando a urgência de abordagens computacionais sustentáveis.

No tocante à modificação de comportamentos por meio de tecnologia, Froehlich, Findlater & Landay (2010) observam que a comunidade de IHC ainda carece de metodologias consolidadas para avaliar a efetividade de designs de *eco-feedback*. Sustentam que a IHC deve assumir protagonismo na construção do futuro dessas tecnologias, reposicionando-se como agente ativo nas transformações ambientais e sociais.

Seguindo essa linha crítica, Pargman & Raghavan (2014) articulam a pegada ecológica humana a três variáveis interdependentes: crescimento populacional, consumo per capita e intensidade de uso dos recursos. Criticam a priorização indiscriminada do desenvolvimento tecnológico frente à escassez de avaliações sobre seus impactos reais, reforçando que a ausência de soluções prontas não justifica a negligência dessas dimensões no planejamento de sistemas computacionais.

Na sequência, Remy et al. (2018) ressaltam que os critérios de avaliação de artefatos em SHCI devem ser reconfigurados diante da emergência de subcampos como a IHC para o desenvolvimento e para a saúde. Apontam que os desafios metodológicos não derivam apenas da transdisciplinaridade, mas também da complexidade ambiental, sociopolítica e cultural dos contextos de aplicação.

Mais recentemente, Preussner et al. (2025) chamam atenção para a limitação das estratégias de *eco-feedback* voltadas exclusivamente à redução de consumo energético, sem considerar a origem das emissões de CO₂ na matriz energética total. Argumentam que, embora a rotulagem de produtos com dados ambientais seja promissora como incentivo comportamental, sua eficácia depende da inteligibilidade das informações. Reforçam a necessidade de estudos em ambientes reais que permitam avaliar múltiplos critérios decisórios, ultrapassando métricas centradas apenas no consumo.

Frente a tais desafios, a SHCI requer abordagens projetuais fundamentadas em ciclos de vida sustentáveis, tecnologias regenerativas, design centrado na conservação de recursos e práticas computacionais de baixo impacto. Sustenta-se nas bases da Ecodesign, da Computação Verde, da Ética Computacional e da Engenharia de Sistemas Sustentáveis, articulando métricas críticas, monitoramento energético em tempo real, descarte responsável e adaptabilidade prolongada. A SHCI, portanto, institui-se como vetor transformador no campo das tecnologias interativas, exigindo reconfigurações metodológicas e epistemológicas profundas tanto na pesquisa quanto na prática profissional.

2.20 Design Centrado no Ser Humano (HCD)

O HCD estabelece-se como uma abordagem técnico-projetual que articula cognição, contexto operacional e requisitos específicos, priorizando a eficácia, a segurança e a experiência do agente em ciclos iterativos fundamentados na empatia, na modelagem de atividades reais e na validação empírica. Consolidado como paradigma da engenharia da interação, o HCD transcende a funcionalidade ao incorporar dimensões culturais, emocionais e éticas ao processo de concepção.

Nos estágios iniciais do campo, reconhecia-se a importância de integrar conhecimentos psicológicos para suprir lacunas empíricas no design, sobretudo em

domínios críticos. Ramsey & Atwood (1980) apontaram que o método analítico-sintético amplamente adotado por designers tende à reutilização de soluções preexistentes, exigindo, portanto, decisões de projeto informadas por princípios de fatores humanos, dada a natureza intrinsecamente cognitiva dos sistemas interativos. Essa compreensão seria aprofundada por Hollnagel & Woods (1982), que evidenciam que operadores constroem modelos mentais da máquina com a qual interagem, influenciando diretamente suas interpretações e decisões, enquanto projetistas, mesmo de forma inconsciente, projetam uma imagem do usuário nos sistemas que desenvolvem.

O modelo do processador humano proposto por Card, Moran & Newell (1983) estruturou o processamento cognitivo em três subsistemas, percepção, cognição e motricidade, com o objetivo de prever o comportamento humano na interação com computadores. Essa modelagem permitiu interpretar a interação como um fluxo simbólico contínuo, sujeito a correções por parte do usuário e do sistema, o que deslocou a interface de uma operação mecânica para uma comunicação dialógica.

A importância da geração de conceitos divergentes nas fases iniciais do design foi destacada por Finkelstein & Finkelstein (1983), que consideram a discussão, coletiva ou individual, um motor da inovação projetual. No entanto, Gould & Lewis (1985) alertam que muitas diretrizes de design não se baseiam em evidências empíricas, o que compromete a confiabilidade dos resultados, mesmo quando seguidas com rigor. Para enfrentar tal limitação, Shneiderman (1986) propôs que o design de sistemas interativos deve apoiar-se em teorias explicativas, que organizam o conhecimento, e preditivas, que antecipam desempenho, erros e satisfação do usuário, como base para decisões fundamentadas.

A partir de uma perspectiva semiótica, Nadin (1988) afirmou que o design envolve a criação de sistemas de signos voltados à realização de finalidades humanas, sugerindo que a estrutura metodológica do design computacional deve unificar representação, interpretação e uso. A ampliação de escopo permitiu que a interação entre usuários também fosse contemplada como elemento-chave do projeto, como argumentaram Woods & Roth (1988), ao proporem sistemas que promovam cooperação e detecção mútua de erros entre operadores.

Esse movimento levou ao refinamento das estratégias de adaptação de interface, como apresentado por Aykin (1989), que delineou alternativas projetuais baseadas em grupos homogêneos, múltiplos perfis ou interfaces adaptativas, estas últimas dependentes da construção de modelos do usuário capazes de inferir características comportamentais a partir da interação.

A análise de *affordances* passou a integrar o repertório projetual, conforme Gaver (1991), que defendeu sua consideração explícita para facilitar ações intuitivas e reduzir erros. A usabilidade, nesse percurso, consolidou-se como métrica central de qualidade, sendo integrada desde os estágios iniciais do projeto por meio de critérios mensuráveis, como argumentado por Bevan (1995a), que defendia que a qualidade deve ser continuamente avaliada ao longo do desenvolvimento.

O modelo experimental centrado no usuário, proposto por Gulliksen & Sandblad (1995), reforçou a necessidade de iterações entre especialistas de domínio e tecnologia, ancoradas em conhecimento profundo das atividades reais. Essa orientação fundamentou o Contextual Design de Beyer & Holtzblatt (1997), que sistematizou a conversão de dados de campo em decisões práticas de projeto. Kanis (1998) endossou essa postura ao destacar a relevância de testes com usuários em contextos reais para captar nuances que os experimentos laboratoriais não revelam.

Com o avanço dos dispositivos eletrônicos, Han et al. (2001) argumentam que as interfaces passaram a comunicar não apenas funções, mas também estilo de vida e valores emocionais. Esse entendimento reforçou a centralidade do HCD como meio de

equilibrar a funcionalidade e o apelo emocional. Bevan (2001) reiterou que a efetividade de um produto depende da adequação de sua interação aos contextos de uso previstos, o que requer um processo sustentado por uma estrutura organizacional compatível com tal abordagem.

Hartson (2003) destacou que o sucesso do design de interação depende da integração coerente de *affordances* cognitivas, físicas, sensoriais e funcionais. A ausência dessa integração compromete diretamente a usabilidade. No campo metodológico, Bayazit (2004) resgatou o deslocamento ocorrido na década de 1960, quando o foco do design migrou do produto para o humano, impulsionado pela industrialização e pela necessidade de envolver os usuários nas definições de objetivos projetuais.

Essa virada foi fortalecida pelos fundamentos da usabilidade nas ciências cognitivas, como enfatizado por Norman (2004), ao articular os níveis visceral, comportamental e reflexivo do processamento emocional como dimensões que o design deve considerar em conjunto. Na perspectiva da engenharia cognitiva, Gray (2008) defendeu a necessidade de transformar dados abstratos em representações visuais compreensíveis, tornando a visualização uma técnica crucial para conversão de dados em conhecimento.

O papel da consistência foi discutido por Still (2009), que observou que estruturas cognitivas são formadas por meio de interações repetidas, o que facilita o uso espontâneo de interfaces. No mesmo ano, Koupric & Visser (2009) investigaram o papel da empatia como mecanismo de conexão profunda com as experiências do usuário, ainda que sua definição permaneça em nível intuitivo e careça de uma estrutura conceitual sistematizada.

Posteriormente, Wixon (2011) defendeu abordagens pragmáticas e iterativas para avaliar respostas emocionais, articulando o design afetivo ao HCD. Van der Bijl-Brouwer & Dorst (2017) ampliaram esse entendimento ao propor que o HCD evoluiu para uma abordagem estratégica de inovação, incorporando dimensões emocionais e contextuais dos usuários como vetor de transformação.

Mais recentemente, Hartson & Pyla (2019) reforçam a centralidade do design de UX na estratégia organizacional, destacando seu impacto na redução de custos, mitigação de erros e melhoria da experiência do usuário. Complementando essa perspectiva, Wang (2019) propôs a autoeficácia como eixo do design centrado no ser humano, direcionando o foco para o fortalecimento da confiança do usuário na própria capacidade de interação.

Dessa forma, sustentado por evidências empíricas e fundamentos cognitivos, o HCD se consolida como estratégia metodológica fundamental à concepção de soluções interativas. Ao alinhar inovação tecnológica às limitações, necessidades e aspirações humanas, oferece subsídios teóricos e práticos para o desenvolvimento de sistemas responsivos, adaptativos e significativamente apropriáveis.

2.21 Usabilidade

A usabilidade configura-se como um constructo multidimensional fundamental à concepção e avaliação de sistemas interativos, articulando atributos objetivos e subjetivos que sustentam a eficácia, a eficiência e a satisfação no uso. Sua consolidação emerge da confluência entre fatores humanos, engenharia cognitiva e ciência da computação, deslocando o foco da mera funcionalidade técnica para uma métrica de qualidade centrada na experiência real do agente.

Desde os primeiros estudos, como observado por Cordes (1980), reconhece-se a usabilidade como critério decisivo para a aceitação de interfaces, sendo um vetor central da experiência. Essa premissa foi aprofundada por Gould & Lewis (1985), ao

defenderem que o design iterativo não deve ser postergado às fases finais, mas estruturado como um processo essencial de resposta às variações nas necessidades dos usuários, especialmente diante de falhas reveladas por testes empíricos, que exigem adaptações substanciais nos conceitos originalmente concebidos.

Com a evolução das interfaces, Kaufman & Weed (1998) apontaram o distanciamento entre avanços técnicos e demandas reais dos usuários, destacando a necessidade de integrar fatores cognitivos, estruturais e sociais na proposição de soluções que equilibrem funcionalidade com usabilidade. Sob essa perspectiva crítica, Norman (1988) advertiu que o excesso de funções compromete a clareza operacional, tornando o design responsável por comunicar a lógica da interface de maneira intuitiva e funcional, uma vez que falhas de uso refletem deficiências projetuais e não erros de operação por parte do usuário.

A caracterização sistemática do conceito foi proposta por Nielsen (1993a), que o estruturou em cinco dimensões centrais: facilidade de aprendizado, eficiência de uso, memorização, tolerância a erros e satisfação. Em complemento, Nielsen (1993b) reforçou que a usabilidade deve ser mensurada com base em atributos específicos, os quais asseguram que uma interface seja eficiente, confiável, fácil de recordar e agradável em sua experiência. Contudo, como observou Raskin (1994), o conceito de “intuitivo” frequentemente mascara a simples familiaridade, limitando o potencial de inovação ao reproduzir padrões já conhecidos.

A elevação da usabilidade ao estatuto de objetivo principal no projeto foi defendida por Bevan (1995b), que propôs o conceito de “qualidade de uso” como um indicador da capacidade do sistema de permitir a realização eficaz e satisfatória de tarefas em condições realistas, com avaliação isenta de interferências externas. Essa perspectiva dialoga com a crítica de Gulliksen & Sandblad (1995) à carga cognitiva imposta por interfaces mal projetadas, que desviam a atenção dos usuários de suas atividades-fim para o gerenciamento da própria interação.

A percepção estética também se revelou relevante nesse campo, como indicaram Tractinsky, Katz & Ikar (2000), ao demonstrarem que a atratividade visual das interfaces influencia diretamente a percepção de usabilidade. Para classificar problemas com maior precisão, Ebling & John (2000) desenvolveram um modelo baseado em escopo e severidade, permitindo identificar desde falhas críticas que impedem a tarefa até sugestões de melhoria de impacto marginal.

No plano conceitual, Han et al. (2001) ampliam a definição de usabilidade ao considerá-la o grau de satisfação do usuário com o desempenho e a imagem do produto, estruturando 48 dimensões, organizadas em aspectos funcionais e subjetivos. A esse debate soma-se a análise de Hassenzahl (2001), que criticou definições restritas e alertou que, mesmo o conceito de “qualidade de uso” desconsidera dimensões afetivas, como prazer e diversão percebidos, que influenciam diretamente a preferência dos usuários.

Na perspectiva da interação humano-computador, Hartson (2003) argumentou que o projeto de artefatos exige a integração explícita de diferentes tipos de *affordances*: cognitivas, físicas, sensoriais e funcionais, cada qual desempenhando papéis distintos na definição das propriedades do sistema. Destacou ainda que o contexto do usuário deve ser considerado parte indissociável do design de interação, o que exige *affordances* perceptíveis e acionáveis para assegurar fluidez na realização de tarefas.

Essa ampliação do escopo culminou em abordagens experienciadas, como defendem Hassenzahl & Tractinsky (2006), que propõem que a ausência de falhas não é suficiente; é necessário proporcionar experiências positivas e memoráveis. Rosenbaum (2008) reforçou a complexidade do campo ao traçar suas raízes em diversas disciplinas e a posicionar a usabilidade como eixo fundamental da engenharia de sistemas interativos. Em consonância, Shackel (2009) destacou que o ambiente de uso, físico e

social, deve ser considerado nos ciclos de avaliação, que devem envolver diretamente os usuários para ajustes contínuos e pertinentes.

A consolidação conceitual pode ser observada em Tullis & Albert (2013), que definem a usabilidade como a capacidade de um sistema de permitir que tarefas sejam realizadas com eficácia, eficiência e satisfação. Issa & Isaias (2015) ampliaram a abordagem ao incorporar dimensões como segurança, utilidade, atratividade e tolerância a falhas, vinculando a usabilidade à qualidade dos serviços e à performance interativa. Tractinsky (2017) retomou o debate sobre a natureza do constructo, defendendo que a usabilidade, por seu caráter multifacetado, é melhor compreendida como uma formação composta por múltiplas medidas, e não refletida por uma única métrica, o que exige precisão conceitual e rigor metodológico na construção e aplicação de instrumentos avaliativos.

No plano sistêmico, Hartson & Pyla (2019) argumentaram que a interação expandiu-se para incluir dispositivos, objetos, ambientes e redes, inserindo o usuário em um ecossistema complexo e comunicacional. Essa compreensão sustenta a proposta de Ferreira et al. (2019), que identificaram três variáveis principais para a avaliação da usabilidade: eficiência (mensurada por produtividade e fluidez), eficácia (percentual de tarefas concluídas) e satisfação (avaliada por meio de *feedback* subjetivo). Ainda assim, reconhecem a escassez de estudos empíricos que validem os impactos projetuais dessas recomendações.

No escopo das abordagens contemporâneas em IHC, Zulfiandri, Putri & Subiyakto (2021) reafirmam que a usabilidade deve ser compreendida como um fenômeno dinâmico, condicionado ao contexto real de uso e às interações entre usuários, sistemas e ambientes. Sua operacionalização exige critérios rigorosos de avaliação, como aprendizado, memorização, resiliência a erros, produtividade e apreciação subjetiva, aplicados em ciclos iterativos e empíricos, sensíveis às dimensões cognitivas, perceptivas e sociais envolvidas. No contexto dessas análises, projetar com usabilidade implica reconhecer que as dificuldades de uso não são falhas humanas, mas evidências de que o sistema não internalizou ou compreendeu o humano em sua integralidade funcional, emocional e contextual.

2.22 Engenharia Cognitiva

A Engenharia Cognitiva (*Cognitive Engineering* – CE) constitui um domínio científico e aplicado fundamentado nas ciências cognitivas, com o objetivo de modelar a interação entre agentes humanos e sistemas tecnológicos complexos. Distingue-se por investigar não apenas os comportamentos observáveis, mas também as estruturas mentais subjacentes, limitações cognitivas e processos simbólicos envolvidos na ação. Sob essa perspectiva, o operador humano é concebido como um sistema ativo de processamento de informações, dotado de capacidades heurísticas e representacionais, situado em contextos dinâmicos e multifatoriais.

Na origem dessa abordagem, Newell, Shaw & Simon (1957) propuseram a Logic Theory Machine (LT) como um marco no enfrentamento de problemas complexos por meio do processamento heurístico da informação. A LT operava no âmbito do cálculo sentencial, formalizando processos de dedução lógica de maneira estrutural, sem recorrer a interpretações semânticas.

No desenvolvimento inicial do campo, Fitts & Switzer (1962) demonstraram que o tempo de reação (RT) é significativamente influenciado pela familiaridade entre estímulos e respostas (S-R), com ganhos de desempenho associados à formação de conjuntos cognitivos otimizados. Esses conjuntos funcionam como programas mentais que acessam seletivamente partes da memória, sendo moldados pela prática intensiva e pela repetição de tarefas.

Complementarmente, Nisbett & Wilson (1977) evidenciam que indivíduos, via de regra, não acessam de modo consciente os processos cognitivos superiores envolvidos em julgamento e decisão. Relatos verbais, portanto, tendem a refletir teorias causais implícitas, não introspecção genuína, o que impõe limites à inferência direta sobre processos mentais.

A partir da formulação de Newell (1980), os sistemas de símbolos físicos são descritos como entidades capazes de manipular representações simbólicas em conformidade com processos executáveis no universo físico. Essa proposição fundamenta a hipótese de que o comportamento humano pode ser modelado simbolicamente, dado que a interpretação consiste em aceitar e executar processos representados por expressões simbólicas.

Estudos como o de Kendall et al. (1980) exploraram diferenças entre perfis reflexivos e impulsivos no contexto da execução de tarefas, destacando que os reflexivos tendem a verbalizar estratégias em voz alta e a adaptar seus tempos de resposta à complexidade da tarefa. A baixa verbalização observada entre impulsivos foi interpretada como indício de menor autorregulação, e não como evidência de internalização cognitiva.

Avançando para uma perspectiva sistêmica, Hollnagel & Woods (1982) estabeleceram a Engenharia de Sistemas Cognitivos (CSE) como alternativa às abordagens tradicionais centradas em aspectos físicos. A CSE enfatiza as funções cognitivas do operador, reconhecendo o sistema como adaptativo e dotado de conhecimento sobre si e o ambiente. Nessa concepção, tanto o operador quanto o sistema constroem representações mútuas, modelos mentais e perfis de usuário, que devem ser compatibilizados no design. Essa compatibilização é viabilizada por métodos de análise de tarefas cognitivas que subsidiam o projeto de sistemas responsivos às estruturas cognitivas humanas.

Ainda no contexto dos estilos cognitivos, Schwabish & Drury (1984) enfatizam a relevância do eixo reflexivo-impulsivo como variável moduladora do desempenho em inspeção visual, influenciando diretamente a acurácia na detecção de falhas.

Sob uma ótica ecológica do design, Hutchins et al. (1985) defendem que a interação homem-máquina deve reduzir o esforço cognitivo por meio da aproximação semântica entre os objetivos do usuário e os comportamentos esperados da interface. Embora o treinamento promova o senso de controle, o alinhamento funcional depende da correspondência entre a representação mental e a estrutura da interface.

Shneiderman (1986) reforçou a importância dos perfis cognitivos e histórico-culturais dos usuários como insumos para um design centrado na diversidade cognitiva, enquanto Woods & Roth (1988) destacaram o desafio teórico de explicar a flexibilidade cognitiva dos especialistas, sobretudo na alternância entre heurísticas automatizadas e estratégias deliberadas diante de situações excepcionais.

Do ponto de vista histórico, Lohman (1989) assinalou o ano de 1956 como um marco fundacional da ciência cognitiva, especialmente pelo advento da Logic Theory Machine (LT), e descreveu o campo como uma intersecção interdisciplinar entre psicologia, ciência da computação, neuropsicologia, linguística, filosofia e psicologia instrucional.

Na direção das preferências cognitivas, Aykin (1989) diferenciou visualizadores e verbalizadores, destacando que a incorporação dessas distinções no design pode aumentar eficiência, reduzir frustração e minimizar erros, especialmente em contextos de alta complexidade técnica.

Em contraste com abordagens tradicionais focadas na manipulação simbólica, Glenberg & Robertson (2000) destacaram a centralidade do significado nos processos cognitivos, afirmando que a psicologia cognitiva, ao focar em combinações sintáticas de símbolos amodais, negligencia abordagens mais integrativas e situadas.

Estudos como os de Creem & Proffitt (2001) demonstraram que o sistema visuomotor opera de forma parcialmente autônoma, mas exige integração cognitiva quando a ação envolve compreensão funcional do objeto, por exemplo, ao manusear ferramentas.

No campo da análise de tarefas, Maguire (2001) argumentou que o mapeamento dos processos cognitivos é condição essencial para evitar falhas críticas nas fases de projeto de sistemas. Em consonância, Feltovich et al. (2004) ressaltaram a importância de compreender as tendências cognitivas humanas diante de tarefas complexas, a fim de antecipar dificuldades de operação.

A modelagem da carga cognitiva em ambientes operacionais complexos exige um entendimento detalhado das limitações da memória de trabalho e da consciência situacional sob pressão, razão pela qual Stanton et al. (2004) introduzem a noção de zona ótima de carga cognitiva, propondo que a análise do desempenho requer medições contínuas de carga de trabalho e consciência situacional, sobretudo em ambientes críticos. Wittmann & Hattrup (2004) reforçam o papel da memória de trabalho na manipulação de múltiplos elementos informacionais, observando que fatores contextuais, como conhecimento prévio, regras implícitas e características da tarefa, modulam o desempenho cognitivo.

Consolidando essas abordagens aplicadas, Gray (2008) sintetizou que o objetivo da CE é desenvolver modelos de alta-fidelidade que representem demandas cognitivas, perceptuais e motoras em sistemas complexos. Diferencia-se das abordagens laboratoriais tradicionais por buscar a modelagem de subcomponentes de tarefas reais em contextos aplicados.

No plano da estrutura da memória, Still (2009) apontou que o sistema cognitivo ativo representa a partir da memória de longo prazo sem sobrecarregar a memória de trabalho, sendo a percepção da interface resultante dessa ativação contextualizada.

No campo da cognição estendida, os artefatos cognitivos desempenham papel fundamental como extensões externas das capacidades mentais humanas. Sob essa perspectiva, Heersmink (2014) conceituou os artefatos cognitivos como elementos externos que ampliam ou complementam os sistemas internos de processamento, tornando as atividades cognitivas mais viáveis, rápidas e confiáveis. Esses artefatos incluem desde ferramentas analógicas até sistemas digitais avançados.

Mais recentemente, Romero et al. (2016) evidenciam que a eficácia operacional depende da identificação em tempo real de quando o operador necessita de assistência, permitindo ativar níveis de suporte físico por meio de tecnologias vestíveis em sistemas ciberfísicos humanos, análogos a arquiteturas de controle adaptativo com humanos no ciclo (*human-in-the-loop*).

Frente à crescente complexidade dos sistemas inteligentes, os fatores cognitivos continuam a representar um dos maiores desafios para o design centrado no humano. À luz dessa problemática, Cecilio (2022) reforçou que os fatores cognitivos permanecem como desafio central no projeto de sistemas inteligentes. Para enfrentá-los, torna-se necessário desenvolver assistentes computacionais que contextualizem a informação e minimizem a sobrecarga cognitiva, direcionando a atenção do operador às tarefas críticas.

Em síntese, a Engenharia Cognitiva propõe a construção de modelos precisos e integrativos que representem as exigências cognitivas envolvidas na operação de sistemas complexos. Essa abordagem inclui a análise da carga mental, a modelagem de estruturas mentais e a concepção de interfaces compatíveis com os usuários, promovendo eficácia operacional, segurança e adaptabilidade em contextos de automação e inteligência computacional crescente.

2.23 Distância Semântica (DS)

A Distância Semântica (DS) expressa o grau de proximidade conceitual entre um signo e o conteúdo funcional que representa, constituindo um parâmetro determinante na clareza interpretativa de sistemas interativos. Quanto menor essa distância, maior a transparência na associação entre representação e ação, o que favorece a imediata compreensão do propósito funcional pelo agente e, por conseguinte, otimiza o tempo de resposta e reduz a carga cognitiva envolvida na operação.

A formulação teórica da relação entre signos e significados é estabelecida por Morris (1938), ao tratar a semântica como o campo que examina o vínculo entre os signos e os objetos ou conceitos aos quais remetem. A compreensão de um signo, nesse modelo, envolve tanto a sua estrutura interna quanto o contexto situacional que condiciona sua interpretação.

Posteriormente, Osgood (1952) amplia essa perspectiva ao destacar a dificuldade de quantificar o significado, em razão de sua complexidade filosófica e da natureza essencialmente variável dos conceitos. A interpretação de um signo, segundo o autor, resulta de inferências mediadas por características observáveis, moduladas pela densidade e pela proximidade contextual dos estímulos.

Nos estudos iniciais da cognição aplicada à interação, Kendall et al. (1980) identificaram nuances entre estilos cognitivos, como impulsividade e reflexividade, no modo como os usuários interpretam e respondem a estímulos. Atribuições de prioridade à velocidade ou à precisão, nesse cenário, revelam implicações práticas sobre como diferentes perfis lidam com a complexidade semântica de tarefas interativas.

Ao introduzir o modelo de manipulação direta, Shneiderman (1982) evidencia o papel da DS na redução da carga cognitiva. Ao permitir ações diretamente no domínio do problema, evita-se a decomposição mental de comandos sintáticos abstratos, promovendo uma correspondência imediata entre intenção e ação. A própria estrutura do sistema deve, assim, reduzir a distância entre os objetivos do usuário e os meios disponíveis para alcançá-los.

Essa lógica é aprofundada na perspectiva de Hollnagel & Woods (1982), que indicam que sistemas também constroem uma “imagem do operador”, seja de forma explícita ou implícita, e que essa reciprocidade entre modelos mentais de usuários e modelos computacionais deve ser considerada na concepção de interações cognitivamente eficazes.

Sob o viés da inspeção visual, Schwabish & Drury (1984) identificaram padrões de desempenho vinculados ao estilo cognitivo. Usuários reflexivos demonstraram maior precisão, embora com menor agilidade na detecção de falhas, o que evidencia um equilíbrio entre velocidade, acurácia e interpretação semântica, todos elementos mediados por inferências sobre o que deve ser buscado e como isso é representado na interface.

O conceito de DS volta a se destacar em Hutchins et al. (1985), ao relacionar a eficácia da manipulação direta à minimização da distância entre intenções cognitivas e operações disponíveis. Interfaces que eliminam intermediários e utilizam metáforas coerentes com o modelo mental do usuário favorecem a articulação e o engajamento direto, reduzindo o esforço interpretativo.

Nas contribuições posteriores de Shneiderman (1986), evidencia-se a importância do conhecimento semântico em detrimento da memorização sintática. A durabilidade do conhecimento por analogias é reforçada como critério para o design de sistemas que respeitem a capacidade de retenção e de reconhecimento dos usuários.

Com foco na organização semântica de menus hierárquicos, Fisher, Yungkurth & Moss (1990) demonstram que uma hierarquia semanticamente bem-formada favorece a

navegação intuitiva. Quando as opções mantêm coerência categorial com seus elementos subordinados, a previsibilidade funcional se intensifica, reduzindo a DS e promovendo a fluidez operacional.

No campo da iconografia, Blankenberger & Hahn (1991) confirmam que ícones semanticamente próximos ao conceito representado aceleram a reação dos usuários. Ícones simples, com diferenças visuais globais claras, facilitam a identificação, sugerindo que a eficácia gráfica deve ser pensada não apenas esteticamente, mas também funcionalmente.

A articulação entre o domínio da tarefa e o da interface volta a ser destacada por Shneiderman (1997), ao reforçar que essa proximidade reduz a necessidade de operações mentais complexas, promovendo uma experiência mais direta, compreensível e intuitiva.

Na definição mais precisa da DS, McDougall, Curry & de Bruijn (1999) abordam sua relação com a familiaridade do símbolo e a função associada. O grau de exposição prévia a um ícone influencia diretamente a sua interpretação, sendo a recorrência simbólica um fator chave para o reconhecimento eficiente durante a interação.

Com base em evidências experimentais, Creem & Proffitt (2001) demonstram que, na ausência de informações semânticas, o sistema visuomotor opera apenas com pistas espaciais e biomecânicas, o que pode levar a equívocos no uso funcional de objetos. A mediação semântica torna-se, portanto, indispensável para ações orientadas pelo significado e não apenas pela forma.

Na continuidade dessa abordagem interpretativa, You & Chen (2007) destacam que a semântica de produto permite a transmissão de significados por meio de pistas visuais integradas à forma geral do artefato. A interpretação simbólica das *affordances* deriva do conhecimento compartilhado e da experiência dos usuários, consolidando-se como um recurso que reduz a DS e orienta a ação.

Em experimentos controlados, Huang, Bias & Schnyer (2014) constataram que palavras foram interpretadas mais rapidamente do que ícones ou imagens, indicando que a codificação semântica visual é modulada por fatores culturais, como alfabetização e idioma nativo, aspectos críticos para a avaliação intercultural da DS.

No plano teórico, Mingers & Willcocks (2017) reforçam que a interpretação de mensagens depende da ativação de códigos compartilhados, como ocorre com a linguagem. A falha na correspondência entre códigos e públicos pode ampliar a DS, comprometendo a eficácia comunicacional de sistemas projetados sem considerar variações de repertório cultural e interpretativo.

Em um cenário mais recente, Lou et al. (2017) observam que, ao realizar interações espaciais em telas de grandes dimensões, usuários alternavam as mãos com maior frequência ao selecionar alvos pequenos, comportamento associado à busca de equilíbrio entre precisão e conforto. Essas decisões motoras indicam que a ação física também é influenciada por elementos de interpretação simbólica e funcional do sistema.

A DS, portanto, não pode ser compreendida como uma variável meramente perceptual, mas como um constructo que integra dimensões cognitivas, culturais e simbólicas. Projetar para a redução da DS, por meio de metáforas visuais consistentes, estruturas hierárquicas semanticamente coesas e *affordances* perceptíveis representa uma diretriz central na concepção de sistemas interativos que aspiram à inteligibilidade, controle e engajamento sustentável.

2.24 Distância Articulatória (DA)

A Distância Articulatória (DA) refere-se à dissociação entre a forma física de uma representação, como ícones, símbolos ou comandos, e o significado funcional que

ela evoca no contexto da interação. Representa um constructo essencial à fluidez perceptivo-motora, especialmente na mediação entre estímulo visual e resposta intencional. Quanto menor essa distância, mais imediata tende a ser a correspondência entre o que se vê, o que se compreende e o que se executa, reduzindo o esforço cognitivo na interpretação e favorecendo respostas intuitivas em sistemas interativos.

No campo da cognição simbólica, Osgood (1952) distingue estímulos que funcionam como sinais daqueles que não ativam processos de mediação representacional. A resposta simbólica exige que o estímulo represente algo além de sua ocorrência imediata, condição que nem sempre se verifica na interação com artefatos. Essa distinção, de natureza filosófica e funcional, impacta diretamente a articulação entre estímulo e resposta nas interfaces.

Ao tratar das diferenças entre estilos cognitivos, Kendall et al. (1980) observaram que os reflexivos e os impulsivos respondem de forma distinta ao aumento do número de alternativas em uma tarefa. Reflexivos privilegiam a precisão, enquanto impulsivos tendem à rapidez, mesmo subestimando os intervalos temporais. Esses achados evidenciam que o tempo de resposta está intimamente associado à percepção temporal e ao tipo de articulação exigida pela interface.

Na perspectiva do desempenho operacional, Shneiderman (1982) enfatiza que tempos de resposta inferiores a um segundo são ideais para comandos simples, promovendo previsibilidade e facilitando a aceitação do sistema. Sistemas baseados em menus favorecem a articulação funcional por apresentarem opções explícitas, em contraste com os sistemas baseados em comando, que requerem memorização e maior esforço de articulação sintática.

A complexidade desse processo interpretativo também foi abordada por Hollnagel & Woods (1982), ao denunciarem a contradição da engenharia de fatores humanos, que reconhece as limitações cognitivas do operador, mas negligencia como essas limitações afetam a interpretação e uso das informações. Pressupor um operador idealizado, capaz de superar falhas da interface, compromete a eficácia do design interativo e acentua a DA.

Resultados experimentais de Schwabish & Drury (1984) revelam que, quanto menor o tempo dedicado à busca, maior a incidência de erros, especialmente entre os usuários mais rápidos. O desempenho diferenciado em relação a falhas pequenas sugere que a eficiência perceptiva está relacionada ao tempo de exposição e à articulação entre atenção visual e resposta motora.

O modelo de manipulação direta, conforme discutido por Hutchins et al. (1985), oferece uma estrutura que reduz a DA ao associar ações físicas simples a representações visuais contínuas. A correspondência articulatória entre entrada e resposta, somada à responsividade imediata do sistema, fortalece a sensação de controle direto, favorecendo o monitoramento em tempo real e a fluidez da interação.

Na modelagem hierárquica de sistemas, Fisher, Yungkurth & Moss (1990) identificam que a construção de menus com profundidade equilibrada e estrutura intuitiva reduz o tempo de navegação e eleva a segurança operacional. Ao considerar o retorno a menus anteriores como parte da modelagem probabilística, o projeto passa a contemplar a articulação entre erro, tempo de resposta e *feedback* corretivo, fundamentais para sistemas críticos.

Estudos sobre iconografia interativa, como os conduzidos por Blankenberger & Hahn (1991), demonstram que a DA influencia o tempo de reação apenas quando os ícones são apresentados em posições aleatórias. Em contrapartida, a posição fixa favorece associações espaciais e reduz a carga de trabalho mental, especialmente em tarefas repetitivas, indicando que a previsibilidade posicional reduz a articulação cognitiva exigida.

A relação entre ergonomia física e articulação funcional foi analisada por Ahlström, Lenman & Marmolin (1992), que identificaram que inclinações moderadas (como 22,5°) e suporte para os cotovelos reduzem significativamente a fadiga muscular e melhoram a precisão em telas sensíveis ao toque. Essa conexão entre postura, conforto físico e precisão operatória destaca a DA como fenômeno também vinculado à biomecânica da interação.

Do ponto de vista da visão computacional, Fermüller & Aloimonos (1995) destacam que a detecção de movimento independente depende do conhecimento prévio sobre o deslocamento do observador e os limites do cenário. Essa interdependência revela que a articulação entre percepção visual e ação não é isolada, mas informada por níveis distintos de competência e antecipação motora.

Mais recentemente, Lou et al. (2017) reforçam a importância da distância física em interações espaciais. Usuários ajustam sua posição conforme a amplitude de movimento exigida, buscando equilibrar precisão e eficiência. Essa adaptação espontânea indica que a DA não se limita à interface gráfica, mas envolve a relação espacial do corpo com os elementos da interação, fator crítico em sistemas de realidade virtual ou displays públicos.

À luz desse panorama analítico, a DA interfere diretamente na previsibilidade, no tempo de resposta e na consolidação de modelos mentais operacionais, especialmente em tarefas de alta frequência ou sob condições adversas. Compreendê-la como um parâmetro técnico de usabilidade, e não como um mero elemento estético, é indispensável para o desenvolvimento de sistemas centrados no operador, que ofereçam respostas articuladas, seguras e cognitivamente sustentáveis.

2.25 Engenharia da Usabilidade

A Engenharia da Usabilidade estabelece uma abordagem técnico-científica sistemática voltada à incorporação estruturada de requisitos de usabilidade ao longo de todo o ciclo de vida de sistemas interativos. Em oposição a abordagens pontuais ou exclusivamente avaliativas, ela propõe um processo iterativo e mensurável, sustentado por métricas objetivas, critérios predefinidos e validações contínuas, desde as fases iniciais de desenvolvimento até a implementação final.

No início das primeiras formulações, Minor & Revesman (1962) evidenciam que a seleção de dispositivos de entrada representa um elemento crítico no projeto de sistemas interativos, sobretudo em operações em tempo real, nas quais a precisão e a agilidade constituem requisitos indispensáveis à eficiência operacional.

A consolidação metodológica do campo é representada por Good et al. (1986), ao caracterizarem a engenharia de usabilidade como um processo técnico-formal que antecipa, quantifica e valida características de usabilidade por meio de métricas, metas planejadas, análise do impacto das soluções de design, iteração progressiva e incorporação contínua do retorno dos usuários.

Esse caráter processual seria reforçado por Nielsen (1992), ao destacar que a simples intenção de projetar interfaces eficazes é insuficiente diante da ausência de integração sistemática da usabilidade no ciclo de desenvolvimento. A proposta envolve contemplar não apenas o produto atual, mas sua evolução enquanto família, com exigências de compatibilidade e adaptabilidade às versões futuras.

No aprofundamento desse entendimento, Nielsen (1993a) argumenta que a usabilidade deve ser prevista desde as fases iniciais, antes mesmo da concepção da interface. Seu tratamento como elemento estrutural do projeto reduz a fragmentação e eleva a coerência técnica ao longo das etapas.

A viabilidade prática dessa abordagem também é sustentada por Nielsen (1995), que demonstra que sua adoção não implica sobrecarga de custos nem compromete

cronogramas. Pelo contrário, contribui para a consistência do design e o alinhamento aos modelos mentais dos usuários, mitigando lacunas funcionais.

Ao analisar a interação homem-máquina sob o viés da confiabilidade, Rouse (1977) reforça que a presença humana continua indispensável mesmo em sistemas automatizados. O compartilhamento dinâmico de responsabilidades entre operadores e sistemas computacionais amplia a resiliência e reduz os tempos de resposta.

Essa ênfase na eficácia da entrada é retomada por Shneiderman (1986), ao indicar que dispositivos ajustados a tarefas específicas, como teclados dedicados, favorecem ganhos substanciais na fluidez interativa e na performance geral do sistema.

No avanço conceitual do papel da engenharia de usabilidade, Faulkner & Culwin (2000) destacam sua função central na viabilidade técnico-funcional dos projetos. Ao acompanhar todas as fases do desenvolvimento, e não apenas as etapas finais, o engenheiro de usabilidade assegura a correspondência entre demandas reais e soluções implementadas.

Esse acompanhamento contínuo também é enfatizado por Gabbard et al. (2003), ao definirem a engenharia da usabilidade como um processo iterativo e centrado no usuário, conduzido desde as fases iniciais e distinto de abordagens baseadas em experimentação clássica.

À medida que o campo se expande, Hassenzahl & Ullrich (2007) introduzem uma dimensão experiencial à avaliação da usabilidade. Seus achados mostram que fatores como esforço cognitivo e aquisição eficiente de conhecimento afetam não apenas o desempenho imediato, mas a percepção retrospectiva da qualidade do produto.

Essa transição para interações mais complexas é intensificada no cenário descrito por Keyson (2008), ao abordar a incorporação de sensores, redes e interfaces inteligentes em produtos cotidianos. A previsibilidade das necessidades do usuário torna-se essencial, especialmente diante da crescente insatisfação relacionada à dificuldade de uso, mais do que a falhas técnicas propriamente ditas.

Em continuidade a essa lógica, Kim, Choi & Ji (2008) analisam os impactos da ubiquidade computacional, destacando a convergência entre mobilidade, conectividade e diversidade funcional. A avaliação da usabilidade, nesse contexto, requer metodologias adaptadas à interação contínua e invisível que caracteriza esse novo paradigma.

No âmbito da análise de falhas, Howarth, Smith-Jackson & Hartson (2009) demonstram que a recorrência e a sobreposição de dados dificultam a categorização dos problemas de usabilidade, já que os mesmos eventos podem ser vivenciados por diferentes usuários de maneiras e níveis de abstração distintos.

A Engenharia da Usabilidade, ao se consolidar na confluência entre engenharia de software, design centrado no usuário, ergonomia cognitiva e psicologia aplicada, projeta a usabilidade como atributo verificável desde as fases iniciais e não como resultado empírico tardio. Em contextos críticos, emergentes e ubíquos, sua aplicação não apenas assegura desempenho técnico, mas também legitimidade e efetividade nas experiências de uso.

2.26 Design de Tarefas

O design de tarefas constitui um campo fundamental para a compreensão e engenharia das interações entre agentes humanos e sistemas tecnológicos. Em contextos de crescente complexidade sociotécnica, o delineamento estrutural e funcional das tarefas ultrapassa a mera distribuição de ações, exigindo abordagens que integrem dimensões cognitivas, perceptivas, motoras, ergonômicas e organizacionais. Longe de configurações objetivas e estáticas, as tarefas se apresentam como construções dinâmicas, emergindo da interseção entre as intenções dos agentes, as *affordances* e as

restrições do ambiente operacional. Essa complexidade requer precisão conceitual e metodológica na modelagem, considerando níveis de abstração, graus de liberdade cognitiva, padrões de atenção seletiva e custos de desempenho.

Nas investigações fundacionais, Chapman (1932) demonstrou que diferentes tarefas (*Aufgaben*) geram campos fenomenais distintos, e que a prévia definição da tarefa otimiza a reportabilidade perceptiva, como observado na comparação entre as séries P e F. Essa modulação do campo atencional pela intenção antecipada revela o papel estruturante da tarefa na configuração da percepção consciente.

No contexto da performance instrumental, Minor & Revesman (1962) evidenciaram que a precisão na entrada de dados está diretamente relacionada à adequação entre tarefa e dispositivo, com impacto direto na redução de erros e no tempo de operação em sistemas interativos.

Com base em experimentos em ambientes de inspeção visual, Drury (1973) demonstrou que fatores como tempo disponível e ergonomia do ambiente, incluindo iluminação e *feedback*, afetam significativamente a relação entre velocidade e acurácia, ressaltando a importância da calibração contextual das tarefas.

A partir de uma perspectiva cognitiva diferenciada, Kendall et al. (1980) destacaram que estilos cognitivos, como impulsividade ou reflexividade, afetam tanto a acurácia quanto a verbalização de estratégias durante a execução da tarefa, o que indica a necessidade de adequação do design à variabilidade interindividual dos usuários.

Como sustentam Ramsey & Atwood (1980), a análise eficaz de tarefas exige a articulação entre dados empíricos e princípios dos fatores humanos, o que pressupõe a compreensão das propriedades estruturais da tarefa, das características do usuário e dos condicionantes do ambiente.

No contexto da informatização de processos, Hollnagel & Woods (1982) denunciaram a obsolescência de abordagens fisicalistas na análise de tarefas, defendendo métodos que incorporem representações multiestruturais adaptadas às exigências cognitivas de resolução de problemas e decisão em tempo real.

Com foco em estratégias visuais, Schwabish & Drury (1984) observaram que a priorização da acurácia pode reconfigurar o processamento perceptivo, exigindo adaptações metodológicas no treinamento de tarefas, de acordo com o estilo de processamento do operador.

Sob um enfoque voltado à carga cognitiva, Woods & Roth (1988) propuseram a redução da complexidade decisória como condição para aumentar a precisão das ações humanas em ambientes instáveis, reiterando o papel do design na gestão da incerteza operacional.

Como observam Siochi & Hartson (1989), as descrições de tarefas são elaboradas em um nível detalhado de abstração, focado nas ações do usuário. Elas representam um ponto de articulação entre duas etapas importantes no ciclo de desenvolvimento: a análise de tarefas e o design. O uso de referências a subtarefas permite segmentar ações em unidades cognitivas atômicas, reduzindo a carga cognitiva ao abstrair detalhes menos relevantes.

Essa perspectiva é complementada, na análise de tarefas, por Lee & Paz (1991) que argumentam ser essencial definir os usuários em relação às tarefas que desempenham. O designer precisa compreender as atividades que os usuários realizarão e como o sistema as suportará. Apontam que o design não deve se limitar às tarefas atuais, uma vez que os sistemas computacionais frequentemente são utilizados para além do propósito original, incluindo funções que os criadores não previram. Portanto, é imprescindível que o designer considere cuidadosamente essas possibilidades.

No campo da ergonomia física, Ahlström, Lenman & Marmolin (1992) verificaram que a inclinação da tela entre 22,5° e 60° favorece a acurácia e o conforto,

indicando que variáveis aparentemente periféricas impactam diretamente o desempenho da tarefa.

Em contraponto a modelos analíticos rigidamente estruturados sob lógicas técnico-formais, Hughes et al. (1994) introduziram a etnografia como instrumento crítico para recuperar a organicidade do trabalho real, destacando que a análise de tarefas deve considerar as dinâmicas sociais e colaborativas do ambiente de atuação.

Do ponto de vista da percepção situada, Fermüller & Aloimonos (1995) sustentaram que a cognição visual opera por seleção de padrões relevantes à tarefa, e não por reconstruções métricas globais, o que reforça o papel da intenção e do contexto no delineamento das ações.

Ao tratar da manipulação direta, Shneiderman (1997) assinalou que a proximidade semântica entre a interface e o domínio da tarefa favorece a previsibilidade e a reversibilidade das ações, promovendo fluidez e confiança por parte do usuário.

Com base em uma taxonomia funcional, Feltovich et al. (2004) destacaram múltiplas dimensões de dificuldade presentes nas tarefas, entre elas, as oposições entre estático e dinâmico, discreto e contínuo, homogêneo e heterogêneo, que elevam a carga cognitiva e exigem atenção refinada no design.

Sob uma perspectiva preditiva, Wittmann & Hattrup (2004) identificaram que o conhecimento sistêmico do domínio da tarefa (*intelligence-as-knowledge*) constitui o fator mais determinante da performance em ambientes complexos, superando inclusive a rapidez no processamento mental, que pode induzir a erros sob alta dinamicidade.

Com foco na modelagem, Gray (2008) propôs a noção de “tarefa unitária” como estrutura de controle comportamental, permitindo decompor ações complexas sem fragmentar a lógica de operação do sistema interativo.

Diante das transformações contemporâneas, Romero et al. (2016) conceituaram o Operador 4.0 como um agente ampliado por sistemas ciberfísicos e automação adaptativa, cuja atuação não é substituída, mas potencializada por tecnologias que se integram ao julgamento humano e à inteligência situacional.

Essa perspectiva reafirma que o design de tarefas exige mais do que prescrição funcional: requer antecipação de contingências, sustentabilidade cognitiva e adaptabilidade em sistemas críticos. Ao equilibrar a estrutura normativa e a fluidez situacional, o projeto de tarefas possibilita não apenas eficácia técnica, mas também legitimidade experiencial e resiliência operacional.

2.27 Constructos Integrados da IHC

No escopo deste referencial teórico, os principais constructos que sustentam a IHC foram sistematizados como conjuntos de saberes tecnocientíficos integrados, compondo uma base epistemológica e metodológica orientada à modelagem e avaliação de objetos tecnológicos. A seleção e a articulação desses constructos consideraram tanto sua relevância teórica quanto sua aplicabilidade prática, assegurando foco nas inter-relações estruturais e funcionais que sustentam abordagens iterativas, centradas no sujeito e tecnicamente embasadas.

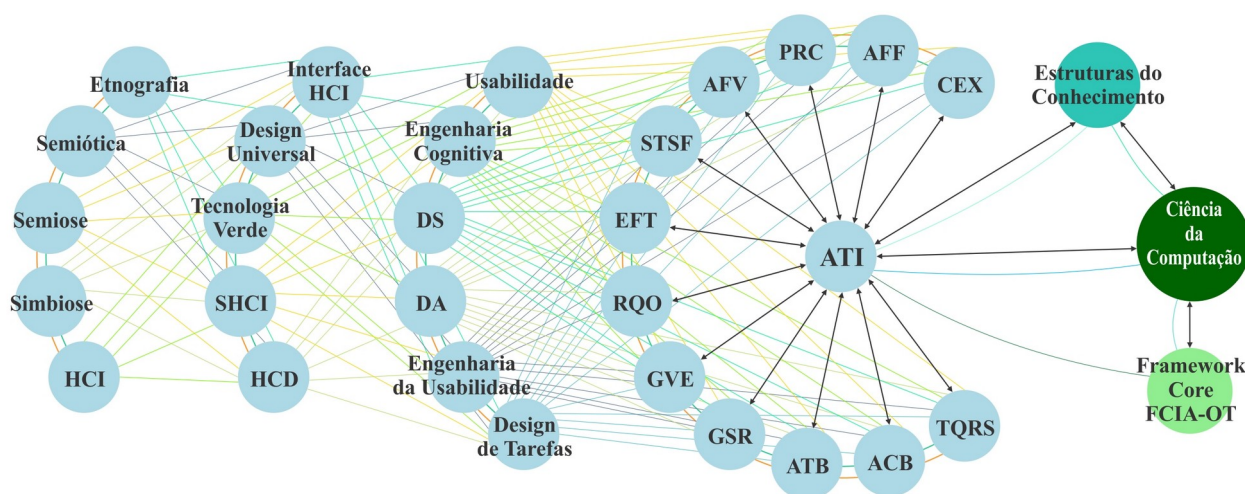
Com base em uma abordagem centrada no usuário, Maguire (2001) defende que o envolvimento ativo dos usuários, a alocação funcional equilibrada entre eles e o sistema, e a iteração contínua das soluções com base em feedback contribuem para ganhos de produtividade, redução de erros, menor necessidade de treinamento e maior aceitação. A clareza na definição dos requisitos de usabilidade, eficácia, eficiência e satisfação, aliada à análise contextual e à observação de campo, é essencial para assegurar a qualidade dos sistemas.

Esses fundamentos evidenciam a natureza convergente dos saberes que compõem a IHC, ao mesmo tempo em que reforçam a necessidade de articulações

multiestruturadas entre os constructos envolvidos, sobretudo quando aplicadas a contextos de alta complexidade técnica e cognitiva.

Na Figura 1 tem-se uma representação visual com o elemento central, o conceito de Interação Agente Tecnologia (ATI – *Agent-Technology Interaction*), do lado direito. A ATI, por sua vez, está relacionada (por setas duplas na figura) às 12 dimensões consideradas no FCIA-OT, que, por sua vez, estão relacionadas aos conceitos apresentados neste capítulo. Tais conceitos, junto com a ciência da computação, constituíram as estruturas de conhecimento que fundamentam o FCIA-OT. Assim, a Figura 1 sintetiza essas articulações, representando graficamente os conjuntos conceituais integrados ao FCIA-OT. Ressalte-se que, embora a IHC configure um campo amplamente multidisciplinar, o escopo adotado nesta pesquisa delimita os constructos àqueles de aplicação direta ao projeto de sistemas interativos, assegurando aderência epistemológica e metodológica às demandas específicas da presente proposta.

FIGURA 1: ESTRUTURA SISTÊMICA, MULTIDIMENSIONAL E DE CONVERGÊNCIA CONCEITUAL DOS CONSTRUCTOS INTEGRADOS DA IHC.



Interação Humano-Computador (IHC); Interface Humano-Computador (IHC); Interação Sustentável Humano-Computador (SHCI); Design Centrado no Ser Humano (HCD); Distância Semântica (DS); Distância Articulatória (DA). Interação Agente Tecnologia (ATI).

Dimensão Conhecimentos/Experiência (CEX), Dimensão *Affordance* (AFF), Dimensão Percepção (PRC), Dimensão Afetividade (AFV), Dimensão Satisfação (STSF), Dimensão Efetividade (EFT), Dimensão Requisitos de Objetos (RQO) e Dimensão Requisitos de Artefatos de Objetos (RQA), Dimensão Gravidade de Erros (GVE), Dimensão Grau de Risco (GSR), Dimensão Atributos (ATB), Dimensão Acessibilidade (ACB), Dimensão Tecnologia QRSUER (Qualidade, Responsabilidade Social, Sustentabilidade, Utilidade, Ética e Razão).

Fonte: Autor.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A Revisão de Literatura constitui uma etapa metodológica essencial para a consolidação do conhecimento e para a identificação de lacunas em domínios científicos específicos. Sua relevância transcende a simples compilação de achados prévios, ao estabelecer critérios de rigor que sustentam a análise crítica, a replicabilidade e a generalização dos resultados. Entretanto, a confiabilidade dessas evidências depende diretamente da robustez metodológica adotada na triagem, na extração e na interpretação dos dados. Quando os procedimentos deixam de considerar adequadamente as ameaças à validade, em especial à validade construtiva e à validade externa, abrem-se margens para conclusões frágeis e compromissos interpretativos enviesados, que podem distorcer o estado real do conhecimento no campo.

Conforme Zhou et al. (2016), as ameaças à validade construtiva e externa frequentemente recebem menos atenção nas revisões sistemáticas da literatura (SLR - *Systematic Literature Review*), apesar de serem essenciais à credibilidade dos achados. Destacam que há poucas estratégias documentadas para mitigar essas ameaças, o que pode comprometer a confiabilidade e a generalização dos resultados. Um fator adicional de preocupação é a presença de viés na seleção e extração dos dados, o que pode afetar a precisão das conclusões e a replicabilidade dos estudos.

Reconhecendo que falhas metodológicas na seleção e análise dos estudos podem comprometer a integridade científica das revisões, optou-se por critérios rigorosos e estruturados na constituição desta Revisão de Literatura não Sistemática (NSLR - *Non-Systematic Literature Review*). A seleção pautou-se na identificação de estudos com aderência comprovada a métodos científicos formalizados, cujos resultados apresentem aplicabilidade técnica concreta. A abordagem considera não apenas a relevância temática, mas também a profundidade analítica e a contribuição empírica dos trabalhos.

Os estudos selecionados oferecem referenciais críticos e tecnicamente consistentes para a compreensão das práticas contemporâneas de avaliação, ao mesmo tempo em que evidenciam desafios persistentes e fornecem subsídios para a formulação de uma proposta mais eficaz no contexto da análise e avaliação de objetos tecnológicos.

Como demonstrado por Jeffries et al. (1991), os métodos clássicos de avaliação de interfaces apresentam limitações técnicas e operacionais relevantes: os testes de usabilidade exigem alto custo e complexidade; a avaliação heurística é marcada por subjetividade, dependência de especialistas e identificação excessiva de problemas de baixa prioridade; já as diretrizes e o *cognitive walkthrough* não cobrem falhas graves, sendo este último também limitado pela morosidade e repetitividade do processo.

De acordo com Virzi, Sorce & Herbert (1993), embora amplamente utilizados, os métodos tradicionais de avaliação, como a heurística, a técnica do *think-aloud* e o teste de desempenho, apresentam barreiras operacionais significativas. Custos elevados para recrutamento, dificuldades logísticas no envolvimento de participantes e a complexidade analítica dos dados implicam um alto investimento de tempo, comprometendo a aplicabilidade em contextos reais.

Em análise subsequente, Dutt et al. (1994) enfatizam a persistência dessas limitações, em particular quanto à avaliação heurística e ao *walkthrough* cognitivo. A primeira permanece sujeita à subjetividade dos avaliadores, cujos julgamentos dependem diretamente de sua experiência e percepção individuais, o que fragiliza a objetividade dos resultados. O *walkthrough* demanda esforço cognitivo elevado e tempo prolongado de execução, fatores que reduzem sua viabilidade em processos avaliativos mais amplos.

Seguindo o contexto analítico, John & Marks (1997) analisam a eficácia de seis métodos de avaliação de usabilidade, incluindo Análise de Claims (CA), *Cognitive*

Walkthrough (CW), GOMS, Avaliação Heurística (HE – *Heuristic Evaluation*), *User Action Notation* (UAN) e a Leitura da Especificação, considerando não apenas a capacidade de identificar falhas, mas também sua influência sobre decisões de projeto. Os resultados indicam que nem todas as recomendações resultam em melhorias efetivas, e em certos casos, introduzem novas falhas. O estudo reforça a necessidade de aprimorar esses métodos para que produzam soluções robustas e aplicáveis em contextos de desenvolvimento em larga escala.

Na mesma direção, Gray & Salzman (1998) revisam estudos comparativos sobre UEMs e evidenciam fragilidades metodológicas críticas, especialmente relacionadas à validade estatística, à validade interna, à validade construtiva e à validade externa. Argumentam que essas falhas comprometem a confiabilidade dos achados e resultam em orientações potencialmente equivocadas para o design de interfaces. Essas abordagens analíticas, como a avaliação heurística, tendem a ser menos eficazes na detecção de problemas de usabilidade do que métodos empíricos baseados na interação real com usuários. Reforçam a necessidade de experimentos metodologicamente sólidos para que os UEMs produzam dados confiáveis e transferíveis à prática.

Seguindo uma análise mais crítica, Wichansky (2000) redefine os testes de usabilidade com base em critérios técnicos específicos, excluindo abordagens como avaliação heurística, grupos focais e experimentação psicológica, por não envolverem interação direta com o produto, tarefas orientadas por metas e coleta de dados comportamentais. Testes válidos devem operar sob condições controladas e com usuários reais, sendo essenciais para mensurar desempenho e satisfação. Destaca o desafio persistente de adaptar esses procedimentos à velocidade das transformações tecnológicas e às exigências ergonômicas emergentes, sem perda de precisão diagnóstica.

Em análise complementar, Cockton & Woolrych (2001) examinam criticamente a avaliação heurística, identificando que sua detecção de problemas superficiais não se estende a questões complexas que envolvem múltiplas interações ou objetos distintos. A alta taxa de falsos positivos gerada pelo método, de cerca de 65%, classifica-se como *bogus factuais*, *bogus lógicos* ou *simples erros preditivos*. Esses resultados decorrem de interpretações equivocadas sobre funcionalidades do sistema ou julgamentos imprecisos de design, o que compromete a confiabilidade da avaliação e impacta negativamente a eficiência do ciclo de desenvolvimento.

Dando continuidade à análise crítica das abordagens de avaliação, Maguire (2001) sistematiza 36 métodos distintos de avaliação distribuídos ao longo das fases de planejamento, compreensão do contexto, especificação de requisitos, design e avaliação, detalhando tempo estimado, formas de aplicação e benefícios esperados. Embora ofereça um panorama abrangente, ressalta que determinados métodos podem demandar mais tempo e recursos, influenciar o comportamento dos usuários durante os testes ou apresentar limitações para representar a complexidade de sistemas em larga escala.

Aprofundando a discussão sobre a eficiência e escalabilidade dos métodos avaliativos, Ivory & Hearst (2001) revisam 132 abordagens aplicadas a interfaces WIMP e Web, identificando que apenas 29 são compatíveis com ambos os ambientes. Com foco na automação, classificam os métodos por múltiplas dimensões, como tipo de automação, classe e nível de esforço, e propõem uma taxonomia composta por cinco categorias: Teste, Inspeção, Investigação, Modelagem Analítica e Simulação. A necessidade persistente de esforço humano, como a criação de modelos e a interpretação de resultados, associada à variabilidade dos achados entre avaliadores que aplicam as mesmas técnicas, reforça a importância de abordagens mais sistemáticas. A automação, nesse contexto, é tratada não como substituta, mas como suporte complementar aos métodos tradicionais.

Diante das limitações relacionadas à confiabilidade dos métodos, Hertzum & Jacobsen (2003) analisam o Efeito Avaliador, fenômeno caracterizado pela discrepância entre os problemas de usabilidade identificados por diferentes avaliadores ao utilizarem CW, HE e *Thinking Aloud*. A revisão de 11 estudos evidencia que até mesmo falhas graves podem ser detectadas de forma inconsistente, comprometendo a robustez das avaliações. Apontam que a ausência de metas claras e a imprecisão dos critérios de análise contribuem para cenários de avaliação instáveis. Defendem, assim, o aprimoramento metodológico como medida necessária para reduzir a variabilidade e aumentar a confiabilidade dos resultados.

Complementarmente, Andre, Hartson & Williges (2003) avaliam três métodos de inspeção, Usability Problem Inspector, HE e CW, e destacam a escassez de critérios comuns que permitam comparações válidas entre os procedimentos. Essa lacuna metodológica limita a precisão dos estudos comparativos e dificulta a consolidação de métricas confiáveis. Alguns métodos são suscetíveis à detecção de problemas irrelevantes, o que distorce a utilidade prática dos diagnósticos e pode comprometer decisões no desenvolvimento de interfaces.

Ampliando a compreensão sobre a diversidade e as fragilidades dos métodos de avaliação, Stanton et al. (2004) analisam 91 abordagens distintas, com ênfase em 16 métodos de base comportamental e cognitiva. Identificam um amplo espectro de limitações que comprometem sua aplicabilidade prática em contextos reais. Muitos desses métodos enfrentam dificuldades operacionais, como alta complexidade e demanda excessiva de tempo. Outros revelam fragilidade metodológica, com forte presença de subjetividade ou viés, como observado na carga de trabalho, observação, entrevistas e análise de conteúdo.

Avançando para o campo da avaliação de sistemas adaptativos, Gena (2005) propõe uma classificação metodológica abrangente, organizada em cinco categorias complementares: métodos oriundos da IHC (entrevistas, questionários em diferentes formatos, observações, testes de usabilidade e análise de logs); métricas quantitativas voltadas à acurácia do processo de seleção de informação; simulações com dados reais ou hipotéticos; experimentos estatisticamente controlados; e abordagens qualitativas, como *Grounded Theory* e etnografia. Apesar da diversidade metodológica, destaca limitações críticas que atravessam essas abordagens: delineamentos frágeis, amostragens não probabilísticas, influência de variáveis de confundimento e desalinhamento com dinâmicas interacionais prolongadas.

Aprofundando a mensuração da usabilidade, Sauro & Kindlund (2005) analisam quatro métricas fundamentais: taxa de conclusão de tarefas, contagem de erros, tempo de execução e escores de satisfação, alinhadas às dimensões de eficácia, eficiência e satisfação. Destacam, contudo, que a confiabilidade dessas medidas pode ser comprometida por variáveis como a seleção das tarefas e a metodologia aplicada, afetando a consistência dos resultados. Em especial, a análise de erros, embora valiosa para avaliações formativas, envolve elevada subjetividade e demanda significativa de tempo, dada a dificuldade de padronizar a identificação do que constitui um erro.

Em relação ao campo da usabilidade móvel, Zhang & Adipat (2005) propõem uma estrutura genérica que auxilia na escolha de metodologias, atributos avaliativos e técnicas de coleta de dados específicas para aplicações móveis. Observam-se que os estudos se concentram majoritariamente em métricas tradicionais, enquanto a avaliação de interfaces multimídia permanece metodologicamente subexplorada, o que evidencia lacunas no escopo investigativo.

Na busca por estratégias eficazes de extração de problemas de usabilidade, observa-se que McDonald, Monahan & Cockton (2006) aplicaram dois métodos principais durante o processo avaliativo, enfatizando que, embora os métodos de campo exijam maior investimento de tempo e recursos do que os testes laboratoriais, oferecem

uma profundidade de dados fundamental para compreender o contexto real de uso e os fatores que comprometem o valor entregue pelo sistema. Ainda assim, evidenciam entraves metodológicos, como a dificuldade de converter anotações informais em relatórios estruturados, o que compromete a rastreabilidade e a consistência dos achados.

Avançando na crítica à mensuração da usabilidade, Hornbæk (2006), ao revisar 180 estudos publicados em periódicos e conferências centrais da área, identificou fragilidades substanciais nas práticas adotadas, argumentando que muitas medidas falham em representar adequadamente a usabilidade como uma qualidade em uso. Aponta, sobretudo, para a fraca correlação entre dados objetivos e subjetivos e para a limitação dos instrumentos em capturar a complexidade inerente às tarefas cognitivas e sociais, o que impacta diretamente a validade e a confiabilidade das avaliações.

Ampliando o foco da avaliação, Dumas & Salzman (2006) propõem uma transição de uma abordagem centrada exclusivamente na usabilidade para uma concepção mais abrangente da experiência do usuário, sugerindo que os métodos devam contemplar, além de eficácia, eficiência e satisfação, aspectos estéticos, emocionais, sociais e de negócios. Recomendam a adoção de métodos de campo para captar a interação entre esses fatores, valorizando uma abordagem colaborativa e interdisciplinar que alinhe o design às dimensões subjetivas e socioculturais da experiência.

No exame comparativo de cinco métodos de avaliação, Hollingsed & Novick (2007) destacam que a HE, embora rápida e econômica, exige avaliadores experientes e tende a detectar problemas menores, muitas vezes irrelevantes para usuários reais. A Caminhada Cognitiva apresenta aplicabilidade em diversas fases do desenvolvimento, mas pode ser limitada pela inexperiência dos avaliadores na definição de cenários representativos. As Inspeções Formais, por sua vez, embora eficientes, não oferecem a diversidade de visões proporcionada pela Caminhada Pluralista, que incorpora múltiplas perspectivas, mas com restrições de aplicação a fluxos representativos de interação. Os Testes Empíricos demonstram maior capacidade de identificar falhas críticas, porém com custos elevados, em contraste com os métodos de inspeção, que, apesar da rapidez e da economia, detectam um espectro mais restrito de problemas.

Com base na análise de sete métodos, Rosenbaum (2008) identifica limitações relevantes que impactam a qualidade das avaliações. Testes laboratoriais, por ocorrerem em ambientes artificiais, tendem a distanciar-se do uso real. A HE, embora eficiente, depende fortemente da experiência dos avaliadores, o que pode comprometer a representatividade. Métodos etnográficos, como o inquérito contextual, oferecem profundidade investigativa, mas são financeiramente e logisticamente inviáveis em cenários com prazos curtos. O método RITE permite intervenções rápidas, porém exige uma equipe altamente qualificada. Testes com grandes amostras fornecem robustez estatística, mas impõem custos elevados. A pesquisa de campo condensada emerge como alternativa intermediária, combinando agilidade e profundidade, ainda que possa deixar lacunas relevantes.

Na consolidação crítica de 15 métodos avaliativos, Mahrin, Strooper & Carrington (2009) examinam sua eficácia, custo e aplicabilidade em contextos de design de produto. Ressaltam a influência da subjetividade na interpretação dos resultados, o que pode comprometer a consistência entre as avaliações. Destacam, ainda, que diversos métodos impõem custos substanciais de tempo e recursos humanos, o que limita sua viabilidade prática. A ausência de dados empíricos robustos quanto à eficácia dos UEMs compromete a avaliação comparativa de sua utilidade, e a dificuldade de replicação em diferentes cenários reforça as limitações de sua aplicabilidade geral.

No esforço de sistematizar a avaliação da usabilidade, Law, Roto, Hassenzahl, Vermeeren & Kort (2009b) examinaram 39 métodos e identificaram limitações estruturais, como a escassez de estudos de caso e a ausência de convergência nos

atributos utilizados para comparação entre abordagens, o que dificulta a análise consistente dos métodos. Argumentam que, sem avanço na articulação entre os critérios avaliativos, corre-se o risco de negligenciar atributos relevantes, e enfatizam que a pesquisa futura deve priorizar as questões práticas de usabilidade, em vez de centrar-se apenas nas técnicas avaliativas.

No que se refere à operacionalização dos testes, Bastien (2010) observa que as ferramentas disponíveis ainda não cobrem integralmente todas as etapas do processo de avaliação. Enfatiza que estudos realizados em contextos naturais, como os que utilizam arquivos de log e rastreamento, podem oferecer dados valiosos, embora dependam da precisão dos registros. Diferencia os testes remotos em dois formatos principais: o síncrono, com acompanhamento em tempo real pelo avaliador, e o assíncrono, conduzido sem interação direta durante a execução.

Com uma abordagem ampla sobre métodos de avaliação da experiência do usuário, Vermeeren et al. (2010) identificaram 96 técnicas oriundas de diversas fontes, salientando a ausência de uma visão consolidada sobre os métodos disponíveis e a carência de instrumentos adequados para os estágios iniciais de desenvolvimento, bem como para avaliações sociais e colaborativas. Chamam atenção para a necessidade de maior rigor científico na validação desses métodos, cujas limitações comprometem a confiabilidade e a aplicabilidade.

Na tentativa de consolidar a classificação dos métodos avaliativos, Fernandez, Insfran & Abrahão (2011) realizaram um mapeamento sistemático, categorizando os UEMs em cinco grupos: testes com usuários, inspeção, inquérito, modelagem analítica e simulação. Constatam-se a predominância dos testes com usuários, seguida por métodos de inspeção e inquérito. Embora alguns estudos combinem abordagens, observam que grande parte dos métodos se limita à identificação de problemas, sem oferecer diretrizes claras para o aprimoramento do design, o que reduz seu potencial de apoio direto aos desenvolvedores.

Dentro do escopo de avaliação da usabilidade de APIs, Grill, Polacek & Tscheligi (2012) defendem a combinação de diferentes métodos como estratégia para alcançar uma análise mais abrangente dos problemas enfrentados pelos desenvolvedores. Argumentam que abordagens centradas na experiência do usuário, ao considerar fatores como aceitação, atitude e resposta emocional, permitem interpretações mais completas da interação com APIs, contribuindo para soluções mais eficazes.

Analisando 18 estudos empíricos sobre UEMs, Fernandez, Abrahão & Insfran (2012) observam a ausência de métricas padronizadas para mensurar a eficácia dos métodos, bem como a baixa frequência de replicações experimentais, o que fragiliza a generalização dos resultados. Apontam a escassez de pesquisas comparativas rigorosas, o que sugere a necessidade urgente de aprofundamento científico na avaliação da eficácia dos métodos de usabilidade.

No exame das práticas metodológicas em IHC, Van Turnhout et al. (2014) observam que os pesquisadores frequentemente adotam abordagens de pesquisa mista com base em decisões pragmáticas, sem, contudo, fundamentá-las teoricamente de forma clara e estruturada. Sustentam que a superação dessa lacuna entre teoria e prática é essencial para o aprimoramento do ensino, da formulação metodológica e da avaliação crítica na área.

Na análise de 274 estudos, Paz & Pow-Sang (2014) identificam a predominância de três métodos de avaliação de usabilidade: testes com usuários, questionários e avaliações heurísticas. Apontam uma ambiguidade recorrente na literatura entre testes de usabilidade e o método *Thinking Aloud*, frequentemente tratados como equivalentes. Salientam, ainda, a popularidade dos questionários como ferramenta para captar percepções de usuários, mas reconhecem a necessidade de ajustes metodológicos para

domínios emergentes, como aplicações televisivas e jogos, cujos parâmetros avaliativos ainda carecem de precisão.

A partir de um mapeamento de 228 estudos, Paz & Pow-Sang (2015) reiteram a prevalência de questionários, testes com usuários e avaliação heurística como os métodos mais utilizados, e destacam o uso complementar de entrevistas, métricas de usabilidade, análise de protótipos e grupos focais em cenários específicos. Ressaltam, contudo, a ausência de critérios padronizados que orientem a escolha metodológica conforme o tipo de sistema avaliado, o que se torna ainda mais relevante diante da constante diversificação das tecnologias e categorias de software.

Na sequência, F. Paz, F. A. Paz & Pow-Sang (2016) discutem os limites da aplicação das heurísticas de Nielsen em contextos mais complexos, como os sites transacionais, argumentando que tais princípios não contemplam integralmente os requisitos contemporâneos de usabilidade. Destacam que a evolução dos sistemas impõe demandas que excedem os parâmetros originalmente propostos, exigindo a revisão e a atualização das abordagens heurísticas.

Com foco na gestão de defeitos, Yusop, Grundy & Vasa (2017) analisam 57 estudos e identificaram três eixos principais: o relato das informações, a análise dos dados e os desafios operacionais. Observam-se que as descrições dos defeitos de usabilidade são frequentemente vagas e inconsistentes, agravadas pela ausência de um vocabulário técnico padronizado, o que compromete a categorização e o tratamento eficiente desses problemas.

Na avaliação de instrumentos padronizados para mensurar a usabilidade percebida, Lewis (2018) compara escalas como o *System Usability Scale* (SUS), o *Usability Metric for User Experience* (UMUX), o UMUX-LITE, o UMUX-LITEr e o *Computer System Usability Questionnaire* (CSUQ). Embora essas escalas mantenham correlação entre si, o UMUX-LITEr tende a subestimar a usabilidade em sistemas com pontuações extremas devido à restrição de sua faixa de pontuação. Recomenda-se cautela na aplicação da *Curved Grading Scale* (CGS) em métricas alternativas, cuja validade requer verificação em diferentes contextos metodológicos.

Com base na análise crítica desenvolvida, apresenta-se, a seguir, na Tabela 1, uma síntese estruturada das contribuições centrais dos estudos examinados. A tabela foi elaborada para destacar os focos técnicos, as propostas metodológicas e os desafios enfrentados, evidenciando os pontos de convergência, bem como as lacunas persistentes na literatura, com o objetivo de fundamentar de forma consistente os eixos conceituais e operacionais da presente pesquisa.

TABELA 1: CONTRIBUIÇÕES TÉCNICAS E CRÍTICAS DERIVADAS DAS PESQUISAS SELECIONADAS

Nº	Pesquisas	Tipo de Estudo	Método(s) de Avaliação	Limitações Identificadas	Contribuição para a Área	Relevância para o FCIA-OT
1	Jeffries et al. (1991)	Experimental	Comparação entre métodos de avaliação de usabilidade (heurística vs. testes com usuários)	Amostra limitada e foco em tarefas específicas	Estabelece parâmetros comparativos iniciais para métodos de avaliação	Alta – Fundamenta a integração crítica de múltiplas técnicas no FCIA-OT

2	Virzi, Sorce & Herbert (1993)	Experimental	Testes iterativos com usuários em fases iniciais de design	Generalização limitada a contextos mais complexos	Reforça a eficácia de ciclos iterativos com poucos usuários, especialmente nas fases iniciais do design	Média – Subsidiária à estratégia modular de avaliação por amostragem do FCIA-OT
3	Dutt et al. (1994)	Experimental	Comparação entre métodos baseados em inspeção	Ambiguidade nos critérios de eficácia entre métodos	Questiona validade de comparações diretas entre UEMs	Alta – Justifica a necessidade de critérios padronizados de análise no FCIA-OT
4	John & Marks (1997)	Modelagem Cognitiva	Simulação de tarefas cognitivas em interação homem-máquina	Abstrações excessivas podem reduzir aplicabilidade prática	Introduz ferramentas preditivas baseadas em modelos cognitivos	Média – Inspira incorporação de modelos teóricos na análise de interação do FCIA-OT
5	Gray & Salzman (1998)	Crítica metodológica	Avaliação de estudos comparativos de UEMs	Críticas à validade interna e externa dos estudos sobre UEMs	Fundamenta rigor metodológico em experimentos de usabilidade	Alta – Justifica aprimoramentos rigorosos no design metodológico do FCIA-OT
6	Wichansky (2000)	Estudo retrospectivo	Análise histórica da evolução da prática de usabilidade	Ênfase retrospectiva pode comprometer extrapolações para tendências futuras	Documenta trajetória e impacto da usabilidade na indústria	Média – Reforça importância da institucionalização da prática, contemplada no FCIA-OT
7	Cockton & Woolrych (2001)	Crítica teórica	Avaliação de abordagens tradicionais de usabilidade	Aponta inconsistências e abordagens fragmentadas	Proposta de abordagens mais situadas e integrativas	Alta – Fundamenta necessidade de abordagens holísticas como as do FCIA-OT
8	Maguire (2001)	Revisão prática	Síntese de técnicas e ferramentas para engenharia de usabilidade	Enfoque predominantemente técnico-operacional	Fornece inventário estruturado de métodos aplicáveis	Alta – Alinha-se à modularização de ferramentas dentro do FCIA-OT
9	Ivory & Hearst (2001)	Automatizado	Ferramentas automatizadas de avaliação	Ferramentas não capturam aspectos subjetivos e contextuais	Antecipação de limitações da automação na avaliação de usabilidade	Alta – Reflete necessidade de complementaridade entre análise automática e qualitativa
10	Hertzum & Jacobsen (2003)	Estudo comparativo	Confronto entre diferentes métodos de inspeção de usabilidade	Variabilidade entre avaliadores afeta consistência dos resultados	Expõe fragilidades na consistência interavaliador	Alta – Reforça necessidade de critérios e protocolos normativos no FCIA-OT
11	Andre, Hartson & Williges (2003)	Proposta metodológica	Engenharia de usabilidade com ênfase em processos	Aplicação restrita a ambientes controlados	Sistematização de etapas na engenharia de usabilidade	Alta – Corroborar a estrutura de avaliação modular e progressiva do FCIA-OT
12	Stanton et	Interdisciplinar	Análise	Exige	Integra fatores	Alta – Fundamenta as

	al. (2004)		baseada em fatores humanos e ergonomia cognitiva	conhecimento técnico aprofundado para implementação	humanos à análise da interação	diretrizes de ergonomia e cognição no FCIA-OT
13	Gena (2005)	Estudo aplicado	Avaliação adaptativa de interfaces personalizadas	Generalização comprometida por foco específico	Avanço metodológico no uso de personalização adaptativa centrada em preferências e perfis contextuais	Média – Contribui à análise adaptativa por perfil de uso no FCIA-OT
14	Sauro & Kindlund (2005)	Quantitativo	Uso de métricas para avaliação	Redução excessiva da complexidade da usabilidade	Proposta de métricas objetivas, sintéticas e de rápida aplicação, com foco em agilidade na avaliação	Média – Apoia uso de indicadores simples como parte de painéis do FCIA-OT
15	Zhang & Adipat (2005)	Revisão teórica-aplicada	Avaliação de usabilidade em dispositivos móveis	Limitações na padronização de métodos móveis	Mapeamento de desafios e necessidades específicas de mobilidade	Alta – Fundamenta modularidade de avaliação de tecnologias móveis no FCIA-OT
16	McDonald, Monahan & Cockton (2006)	Estudo crítico	Análise dos critérios de julgamento em avaliações de usabilidade	Subjetividade nas decisões avaliativas	Problematiza como julgamentos são construídos no processo	Alta – Justifica presença de critérios objetivos e rastreáveis no FCIA-OT
17	Hornbæk (2006)	Revisão crítica	Análise de pesquisas empíricas com métricas de usabilidade	Falta de padronização nas métricas e má interpretação de dados	Alerta sobre má aplicação de métodos quantitativos e suas implicações	Alta – Reforça necessidade de rigor e sistematização na avaliação de usabilidade
18	Dumas & Salzman (2006)	Proposta conceitual	Tipologia e fundamentos de testes com usuários	Pouca integração entre teoria e prática de testes	Estruturação de tipos de testes com usuários e seus contextos	Alta – Subsidia desenho integrado de múltiplos módulos no FCIA-OT
19	Hollingsed & Novick (2007)	Estudo experimental	Análise comparativa entre métodos cooperativos e tradicionais	Resultados condicionados ao grau de colaboração e perfil comunicacional dos participantes	Evidência da eficácia de métodos colaborativos	Média – Inspira inclusão de práticas colaborativas e participativas no FCIA-OT
20	Rosenbaum (2008)	Estudo exploratório	Avaliação da prática de usabilidade em organizações	Baixa formalização dos processos identificados	Diagnóstico da maturidade e dos processos em ambientes reais	Alta – Fundamenta diretrizes para avaliação em campo e organizações no FCIA-OT
21	Mahrin, Strooper & Carrington (2009)	Revisão crítica comparativa	Análise crítica comparativa de métodos	Dependência interpretativa do avaliador, custos elevados, falta	Mapeamento das fragilidades estruturais dos UEMs e alerta	Alta – Fundamenta a necessidade de métodos adaptáveis, economicamente

			de avaliação de usabilidade	de dados empíricos e baixa reprodutibilidade	sobre limitações práticas	viáveis e empiricamente validados no FCIA-OT
22	Law et al. (2009b)	Estudo exploratório comparativo	Avaliação crítica de métodos sob múltiplas perspectivas	Inexistência de sobreposição entre atributos comparativos e ausência de estudos de caso consistentes	Exposição da fragmentação nos critérios de avaliação e proposição de foco nas questões de usabilidade, não apenas nos métodos	Alta – Justifica a centralidade da experiência de uso e a necessidade de integração de critérios no FCIA-OT
23	Bastien (2010)	Reflexão teórica	Testes remotos (síncronos e assíncronos) e análise por logs	Limitações na precisão dos registros e ausência de ferramentas abrangentes para todas as etapas do teste	Expansão conceitual sobre testes em ambientes naturais e caracterização dos tipos de testes remotos	Alta – Reflete necessidade de abordagem paradigmática como o FCIA-OT
24	Vermeeren et al. (2010)	Revisão de práticas	Práticas de avaliação de UX em ambientes reais	Falta de clareza sobre os métodos disponíveis e ausência de validação científica	Levantamento abrangente das práticas de UX e identificação de lacunas em fases iniciais e sociais da avaliação	Alta – Justifica o desenvolvimento de um framework capaz de lidar com contextos reais e complexos
25	Fernandez, Insfran & Abrahão (2011)	Mapeamento sistemático	Testes com usuários, inspeção, inquérito, modelagem analítica, simulação	Ênfase na detecção de falhas sem oferecer diretrizes de melhoria	Organização tipológica dos UEMs e identificação de combinações metodológicas aplicáveis	Alta – Fundamenta a estrutura modular e combinatória do FCIA-OT para múltiplas fases do ciclo de vida
26	Grill, Polacek & Tscheligi (2012)	Estudo empírico aplicado	Avaliação combinada da usabilidade de APIs com foco em UX	Necessidade de metodologias específicas para contextos técnicos como APIs	Ênfase na integração entre fatores emocionais, cognitivos e técnicos na avaliação de APIs	Alta – Fundamenta a inclusão de dimensões situacionais e técnicas na avaliação de interfaces específicas no FCIA-OT
27	Fernandez, Abrahão & Insfran (2012)	Revisão empírica	Revisão empírica de abordagens avaliativas em UEMs	Escassez de replicações e falta de medidas padronizadas	Exposição da carência de rigor metodológico e da dificuldade de generalização de resultados	Alta – Justifica a incorporação de mecanismos de replicabilidade e métricas padronizadas no FCIA-OT
28	Van Turnhout et al. (2014)	Estudo crítico reflexivo	Análise de abordagens metodológicas mistas em IHC	Ausência de fundamentação teórica explícita nas escolhas metodológicas	Crítica à dissociação entre teoria e prática em pesquisas de IHC	Alta – Respalda a necessidade de ancoragem teórica explícita na construção metodológica do FCIA-OT
29	Paz & Pow-Sang (2014)	Mapeamento sistemático	Testes com usuários, questionários, avaliação heurística	Ambiguidade entre métodos distintos, especialmente entre testes e “Thinking	Sistematização das abordagens mais utilizadas e alerta sobre imprecisões conceituais	Alta – Sustenta o refinamento terminológico e metodológico dos módulos do FCIA-OT

				Aloud”		
30	Paz & Pow-Sang (2015)	Revisão sistemática	Questionários, testes com usuários, heurísticas, entrevistas, grupos focais	Ausência de diretrizes claras para escolha metodológica em novos domínios	Levantamento de técnicas aplicáveis a diferentes contextos e tecnologias emergentes	Alta – Respaldam a flexibilidade adaptativa do FCIA-OT frente à diversidade de plataformas e domínios
31	F. Paz, F. A. Paz & Pow-Sang (2016)	Revisão crítica aplicada	Heurísticas de Nielsen aplicadas a sites transacionais	Inadequação dos princípios clássicos frente às novas demandas	Evidência da necessidade de atualização das heurísticas tradicionais	Alta – Fundamenta a reformulação crítica das diretrizes no módulo de avaliação transacional do FCIA-OT
32	Yusop, Grundy & Vasa (2017)	Revisão categorial	Análise de relatórios de defeitos de usabilidade	Vagueza descritiva e ausência de vocabulário padronizado	Sistematização dos tipos de informação em relatos de defeitos	Alta – Justifica a necessidade de taxonomias e padronização lexical para relatórios no FCIA-OT
33	Lewis (2018)	Avaliação psicométrica	SUS, UMUX, UMUX-LITE, UMUX-LITEr, CSUQ	Faixa limitada de pontuação em sistemas extremos; necessidade de validação cruzada	Comparação de instrumentos padronizados e proposta de adequações metodológicas	Alta – Respaldam a seleção criteriosa de métricas psicométricas dentro dos módulos quantitativos do FCIA-OT

Fonte: Autor.

A estruturação desta revisão de literatura evidencia um esforço metodológico e tecnicamente orientado na seleção e na análise de estudos que apresentam aderência rigorosa a métodos científicos aplicáveis à avaliação tecnológica. Ao privilegiar a profundidade analítica, a relevância empírica e a solidez conceitual das investigações examinadas, esta revisão não apenas fundamenta criticamente a pesquisa desenvolvida, como também delimita com precisão os limites da literatura vigente e os desafios persistentes nos processos de análise e avaliação de objetos tecnológicos.

A sistematização analítica das contribuições selecionadas, apresentada em tabela própria, permitiu extrair, com criticidade, elementos conceituais, metodológicos e práticos que sustentam, de forma integrada, a construção da base teórico-metodológica da pesquisa. Esse processo reforça a consistência do percurso investigativo adotado e justifica, em termos técnicos e científicos, o desenvolvimento da proposta delineada nesta pesquisa.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

O presente capítulo tem como propósito realizar uma análise crítica e comparativa de métodos, modelos, testes e instrumentos que, historicamente, compuseram o arcabouço técnico da avaliação de usabilidade, interação e experiência em objetos tecnológicos. Trata-se de um mapeamento analítico que visa identificar as potencialidades e, sobretudo, as limitações estruturais, metodológicas e conceituais desses enfoques diante das demandas contemporâneas da usabilidade e interação.

A seleção dos trabalhos relacionados baseia-se em critérios de relevância científica, de representatividade metodológica e de impacto no estado da arte. Cada abordagem analisada é confrontada com princípios fundamentais que sustentam o FCIA-OT, destacando lacunas epistemológicas, operacionais e sistêmicas não resolvidas pelos métodos tradicionais. Ao fundamentar comparações de forma tecnicamente criteriosa, esta seção estabelece o terreno necessário para justificar a emergência e a superioridade analítica do FCIA-OT, cuja estrutura modular integrada representa uma ruptura paradigmática em relação às abordagens fragmentadas até então predominantes.

Com uma proposta precursora no campo da avaliação de interfaces, Cordes (1980) desenvolveu o *Software-User Interface Test* (SUIT), estruturado com base em 89 atributos de usabilidade, organizados por criticidade, com o objetivo de discriminar interfaces aceitáveis e inaceitáveis. Apesar da relevância histórica e de ainda superar diversos métodos contemporâneos, o SUIT apresenta escopo limitado em relação ao FCIA-OT, cuja estrutura multidimensional e integrativa supera a fragmentação e a rigidez presentes na abordagem SUIT, oferecendo maior adaptabilidade e profundidade analítica para a avaliação de objetos tecnológicos complexos.

Com foco na avaliação perceptiva da eficácia de sistemas de informação, Ives, Olson & Baroudi (1983) propuseram o constructo *User Information Satisfaction* (UIS), entendido como o grau em que os usuários acreditam que o sistema atende às suas necessidades informacionais. Embora útil como métrica substitutiva da eficácia objetiva, o UIS se mostra limitado por sua incapacidade de avaliar aspectos técnicos, funcionais ou relacionados à experiência operacional granular, como confiabilidade, responsividade ou qualidade da interface. Essa limitação compromete sua aplicabilidade em ambientes de alta complexidade interativa, nos quais o FCIA-OT avança ao incorporar métricas perceptivas, técnicas e sistêmicas de forma integrada e multiescalar.

Na linha de abordagens voltadas à aceitação tecnológica, Davis (1985) desenvolveu o *Technology Acceptance Model* (TAM), centrado nas crenças de utilidade percebida e de facilidade de uso como fatores determinantes da adoção de sistemas. Apesar de seu impacto e de sua simplicidade operacional, o modelo apresenta fragilidades conceituais importantes, como a exclusão de variáveis sociais e contextuais, além de uma estrutura causal excessivamente linear. Tais lacunas reduzem a capacidade explicativa do TAM diante de cenários organizacionais complexos, em contraste com a abordagem modular e não linear do FCIA-OT, que articula fatores cognitivos, operacionais e sociais no processo de avaliação e aceitação de objetos tecnológicos.

Dentre os instrumentos que buscam mensurar aspectos subjetivos da interação humano-tecnológica, Watson, Clark & Tellegen (1988) desenvolveram o *Positive Affect Negative Affect Schedule* (PANAS), voltado à avaliação psicométrica de estados emocionais positivos e negativos. Apesar do foco em capturar o componente afetivo da experiência, o PANAS se restringe à dimensão emocional, sem contemplar fatores cognitivos, operacionais ou contextuais da interação. Essa limitação impede seu uso isolado em avaliações complexas, não integra múltiplas dimensões da experiência de forma interdependente.

Com foco nos aspectos estruturais da usabilidade, Nielsen (1994b) propôs um conjunto de nove heurísticas para identificar problemas recorrentes em interfaces. Apesar de amplamente difundidas, tais heurísticas assumem caráter genérico e reducionista, revelando baixa sensibilidade para captar nuances emergentes em cenários interacionais não convencionais. Sua aplicação restrita compromete a análise em contextos de alta complexidade funcional, nos quais o FCIA-OT avança ao operacionalizar princípios analíticos que transcendem regras fixas, permitindo uma avaliação sistêmica e situacionalmente adaptável.

Bevan (1995a) apresenta um método orientado à mensuração da eficácia, da eficiência e da satisfação, com base no tempo produtivo de execução de tarefas. Embora metodologicamente rigoroso, o modelo requer infraestrutura específica para a coleta de dados e se apoia em análises retrospectivas pontuais, o que limita sua aplicabilidade em ambientes dinâmicos. O FCIA-OT supera essa limitação ao articular armazenamento contínuo integrado de dados, favorecendo diagnósticos longitudinais e reconfigurações analíticas em tempo real.

No campo da avaliação pós-uso, Lewis (1995) desenvolveu o *Post-Study System Usability Questionnaire* (PSSUQ), estruturado em três dimensões: utilidade do sistema, qualidade da informação e qualidade da interface. Apesar das consistências internas, o instrumento apresenta restrições à generalização dos resultados, além de depender de percepções retrospectivas e de respostas subjetivas. Isso compromete sua capacidade de captar dinâmicas mais sutis da experiência do usuário. Em contrapartida, o FCIA-OT incorpora módulos de avaliação prospectiva, responsiva e situacional, ampliando a acurácia da análise em múltiplas dimensões.

Entre os instrumentos de avaliação global da usabilidade, a *System Usability Scale* (SUS), proposta por Brooke (1996), destaca-se por sua simplicidade e eficácia em contextos industriais. Entretanto, por adotar uma abordagem generalista e subjetiva, a SUS tende a obscurecer nuances relevantes em sistemas complexos ou altamente especializados, sendo pouco sensível a variáveis como a eficiência operacional, a fluidez da interação ou a coerência sistêmica. Entretanto, aspectos detalhados da interação ou outras dimensões da experiência do usuário, como efetividade, eficiência e satisfação, podem exigir métodos de avaliação mais aprofundados e contextualizados, em ambiente onde o FCIA-OT opera com granularidade técnica, contextual e multidimensional.

Dentro do domínio das abordagens cognitivas de avaliação, Green & Petre (1996) introduziram o modelo das dimensões cognitivas como ferramenta para análise de ambientes de programação visual, explorando *trade-offs* entre propriedades como visibilidade, consistência e mapeamento. Embora ofereça contribuições relevantes sobre o impacto dessas propriedades na atividade do agente, permanecem restritas a análises estruturais de estilo heurístico, com menor aplicabilidade a sistemas adaptativos e centrados no agente. Dimensões cognitivas operam em um escopo de alto nível e carecem de operacionalização prática em contextos de interação heterogêneos, como proposto pelo FCIA-OT.

No campo da engenharia de usabilidade, o *User Action Framework* (UAF), elaborado por Andre et al. (2001), organiza a análise de problemas com base nos ciclos de interação, planejamento, execução e avaliação. A estrutura facilita a categorização sistemática e a integração com ferramentas de inspeção. No entanto, enfrenta limitações quanto à reconciliação de interpretações divergentes e à rigidez de sua hierarquia, que exige mapeamentos manuais e apresenta baixa adaptabilidade a estilos de interação não tradicionais. Em contrapartida, o FCIA-OT oferece plasticidade analítica e suporte a interações distribuídas, multicanal e de natureza fluida.

No âmbito psicossocial, Hassenzahl, Burmester & Koller (2003) desenvolveram o *AttrakDiff*, um instrumento voltado à mensuração de qualidades pragmáticas e

hedonísticas da experiência. Embora revele aspectos emocionais e perceptivos relevantes, o modelo frequentemente apresenta fragilidades ao tentar distinguir nuances da qualidade hedônica e ao lidar com fatores como identidade, pertencimento e engajamento contextual. A ausência de detalhamento nas interações sociais e emocionais complexas limita sua utilidade em sistemas tecnologicamente intensivos. O FCIA-OT avança diante dessa lacuna ao incorporar módulos analíticos de afeto, cognição e ação mediados por contexto situacional.

No campo da aceitação tecnológica, o modelo *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT), proposto por Venkatesh et al. (2003), consolidou fatores como desempenho esperado, esforço percebido, influência social e condições facilitadoras em um arcabouço integrado. Apesar de sua solidez teórica, o UTAUT apresenta limitações: ignora propriedades técnicas intrínsecas aos artefatos, não contempla a dinamicidade de ambientes em rápida transformação e restringe-se à intenção e ao uso, sem subsidiar diretamente o design ou reengenharia tecnológica. O FCIA-OT supera essas restrições ao integrar, desde as fases iniciais do ciclo de vida, componentes projetivos e responsivos centrados no agente e no ambiente.

Em sua abordagem das estruturas integradas de usabilidade, Seffah et al. (2006) apresentam o *Quality in Use Integrated Measurement* (QUIM) como uma estrutura consolidada para mensuração da usabilidade. No entanto, devido à sua natureza hierárquica e à ênfase em métricas específicas, pode-se inferir que sua aplicação tende a ser mais estruturada, com menor flexibilidade para adaptação ou avaliação iterativa ao longo do processo de design.

No contexto da avaliação centrada no usuário, Komine et al. (2006) utilizaram uma abordagem voltada à interação com interfaces tecnológicas, com foco em controles remotos e sua acessibilidade. A metodologia incluiu testes práticos e coleta de percepções sobre funcionalidade e aparência. A Análise de Componentes Principais (PCA) destacou funcionalidade e estética como os fatores mais relevantes para a experiência do usuário, permitindo identificar oportunidades de melhoria visual e operacional.

Na perspectiva da computação ubíqua e da avaliação contextual, Kim, Choi & Ji (2008) propõem um framework baseado na integração entre contexto de uso, funções do dispositivo e atividades do usuário, voltado a sistemas de acesso à informação e entretenimento. Entre suas limitações estão a dependência de avaliação especializada, que afeta a reprodutibilidade; rigidez na estrutura de fatores; e escopo restrito a certos dispositivos. O modelo também não contempla evolução tecnológica, impacto social ou adaptação cultural, o que limita sua aplicação em cenários críticos ou dinâmicos.

Sob a ótica da adequação conceitual na interação, Blandford et al. (2008) apresentam o *Concept-based Analysis of Surface and Structural Misfits* (CASSM), um método desenvolvido para analisar a adequação conceitual entre o modelo mental dos usuários e a estrutura conceitual do sistema. O modelo não prescreve soluções específicas, mas orienta a reestruturação de sistemas com base nas lacunas entre os conceitos dos agentes e as representações implementadas. Apresenta limitações quanto à sua abrangência, seu foco na análise das estruturas conceituais não cobre integralmente a complexidade das interações multifacetadas e dinâmicas exigidas por sistemas mais elaborados.

Na seara da avaliação da experiência do usuário, Laugwitz, Held & Schrepp (2008) desenvolveram o *User Experience Questionnaire* (UEQ) para medir a percepção dos usuários em seis dimensões: atratividade, perspicuidade, eficiência, confiabilidade, estimulação e novidade. O UEQ depende de respostas subjetivas e pode apresentar limitações em contextos mais complexos, não captando nuances da experiência do agente em situações dinâmicas ou que demandem maior profundidade na avaliação.

Entre as abordagens baseadas em decisão adaptativa, Hartmann, Sutcliffe & Angeli (2008) apresentam um framework teórico, baseado na teoria da tomada de decisão adaptativa (ADM), para a avaliação de interfaces. O modelo enfatiza os efeitos da estética, da personalização e do engajamento na percepção de qualidade. No entanto, a forte dependência de variáveis contextuais e subjetivas pode limitar sua aplicabilidade em cenários mais diversos e complexos.

No escopo da fidelidade contextual em testes de usabilidade, Sauer, Seibel & Rüttinger (2010) propõem o *Four-Factor Framework of Contextual Fidelity*, que considera quatro fatores principais: características do usuário, fidelidade do protótipo, ambiente de teste e cenário de tarefa. Enfatizam que a confiabilidade e a validade desses testes podem ser afetadas por tais fatores, ressaltando a importância da padronização metodológica. O framework mostra-se menos adaptável a contextos altamente dinâmicos, em que as condições de uso são instáveis ou imprevisíveis, e pode exigir adaptações significativas em sistemas interativos complexos ou adaptativos.

Abordando a percepção de usabilidade e da resposta afetiva, Seva et al. (2011) propuseram o *Usability Perception and Emotion Enhancement Model* (UPEEM), uma abordagem que utiliza o *Structural Equation Modeling* (SEM) para avaliar a usabilidade aparente e a qualidade afetiva de dispositivos móveis. O modelo analisou apenas quatro atributos, o que pode ter limitado a abrangência dos seus resultados. Sugerem a inclusão de novas variáveis e modelos em estudos futuros, a fim de explorar mais profundamente as relações entre forma, funcionalidade e percepção do usuário.

No campo dos modelos conceituais de diagnóstico, Ham (2013) apresenta uma estrutura composta por três eixos centrais, contexto de uso, conhecimento de design e atividades de design, voltada à classificação e ao diagnóstico de problemas de usabilidade. Sua ênfase reside em modelos conceituais teóricos (AUTOS, AH e FBS), com escassa integração prática ou computacional. Essa abordagem pode ser limitada em ambientes tecnológicos que exigem soluções complexas e aplicabilidade direta, como nos processos iterativos de design centrado no usuário ou na avaliação automatizada de usabilidade.

No esforço de integração entre usabilidade e experiência do usuário, Miki (2014) propôs um framework híbrido, estruturado a partir de três componentes, objetivos, contexto de uso e medidas de UX, incorporando aspectos do modelo ACSI. O estudo evidencia desafios como a ausência de consensos conceituais sobre frameworks de UX, a inexistência de normas internacionais padronizadas e a necessidade de validação empírica em contextos reais, dada a complexidade multifatorial do campo.

Em uma abordagem de avaliação de aplicações móveis, Zali (2016) introduz o *Goal, Attributes, and Metrics* (GAM), um modelo voltado à mensuração da usabilidade com base na sequência de objetivos, atributos envolvidos e métricas associadas. Direcionado ao contexto móvel, o GAM enfrenta limitações em cenários mais complexos, colaborativos ou dinâmicos. O uso exclusivo de questionários pode não captar com precisão os aspectos interativos em tempo real nem os fatores ambientais que afetam a usabilidade, o que exige ajustes metodológicos para aplicações mais sofisticadas.

No domínio das ferramentas acadêmicas de apoio à avaliação integrada, Aguirre et al. (2024) apresentam o DUXAIT-NG, um sistema desenvolvido para apoiar avaliações de usabilidade por meio da seleção e execução de métodos como Avaliação Heurística e Teste de Árvore. A ferramenta automatiza etapas do planejamento à geração de relatórios com base nas metodologias escolhidas. Ao se apoiar em métodos tradicionais como a HE, o DUXAIT-NG herda suas limitações, como a subjetividade analítica, a ausência de avaliação da interação dinâmica e a pouca profundidade qualitativa. Essas fragilidades reduzem sua aplicabilidade em contextos que demandam análises mais holísticas e sensíveis à variabilidade contextual da experiência do agente.

A Tabela 2 sintetiza uma análise comparativa entre os principais enfoques clássicos de avaliação de usabilidade, incluindo *Métodos de Avaliação de Usabilidade* (UEMs), Modelos Teóricos, Testes Empíricos e Questionários Padronizados, e o FCIA-OT. A construção dessa tabela seguiu critérios baseados em dimensões estruturais, funcionais, métricas, operacionais e de adaptabilidade. A leitura técnica dos trabalhos foi seguida da codificação e da categorização de seus recursos, limitações e escopos. O resultado é uma tabela que permite não apenas comparações diretas, mas também atesta os avanços conceituais e práticos pretendidos com o FCIA-OT em relação às abordagens anteriores, justificando sua pesquisa e aplicação.

TABELA 2: SÍNTESE COMPARATIVA DOS DIFERENCIAIS ESTRUTURAIS E INOVATIVOS DO FCIA-OT EM RELAÇÃO ÀS PRINCIPAIS METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE E INTERAÇÃO

Crítérios	UEMs Analisados (Tipos, Limitações, etc.)	FCIA-OT (Capacidades, Avanços, Inovações)
1. Fatores Subjetivos	Considerados de forma estruturada, com foco na interação com a interface.	Coletados de forma aberta e participativa, abrangendo múltiplas perspectivas e sem limitação de escopo.
2. Contexto de Avaliação	Predominantemente em laboratório, com condições controladas.	Realizado em laboratório e em campo, com foco em contextos reais, operacionais e variados.
3. Aplicabilidade	Direcionada a interfaces de agente e sistemas computacionais específicos.	Abrangência total: produtos, serviços, tecnologias, dispositivos físicos e digitais.
4. Requisitos de Avaliação	Pré-definidos, estáticos, muitas vezes sem adaptação ao contexto.	Dinâmicos e configuráveis conforme o objeto e os objetivos do avaliador.
5. Flexibilidade de Análise	Limitada a variáveis específicas e ambientes controlados.	Alta adaptabilidade a diferentes contextos, domínios e objetivos de avaliação.
6. Escopo de Análise	Restrito à usabilidade de interfaces e softwares.	Multidimensional: software, hardware, ferramentas, protótipos, sistemas complexos.
7. Dimensões Avaliativas	Número reduzido, com foco em interações imediatas.	Matriz Sistêmica de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI). Dimensões integradas, abrangendo aspectos técnicos, contextuais, estruturais e funcionais.
8. Capacidade de Personalização	Personalização limitada a alguns cenários predefinidos.	Elevada personalização, com liberdade para configurar critérios, pesos e dimensões.
9. Escalabilidade	Aplicável em pequena ou média escala, com limitações em tecnologias complexas.	Totalmente escalável: de artefatos simples a ecossistemas tecnológicos avançados.
10. Suporte a Múltiplos Domínios	Predominância de software, com pouca integração com artefatos físicos.	Suporte pleno a domínios mistos e complexos: físico, digital, híbrido.
11. Coleta de Dados	Observações controladas e <i>feedback</i> estruturado.	Coleta mista (qualitativa e quantitativa), aberta, interativa e centrada no uso real.
12. Integração Computacional	Presença pontual de ferramentas automatizadas; majoritariamente manual.	Estrutura computacional, integração com sistemas modernos, IA, automação e suporte a grandes volumes de dados.
13. Capacidade Preditiva e Analítica	Enfoque na análise pontual e reativa.	Abordagem analítica contínua, com capacidade de previsão e geração de inferências estratégicas fundamentadas.

14. Sistema de Pontuação	Ausente ou restrito a escalas fixas, unidimensionais e sem flexibilidade para múltiplos critérios simultâneos.	Implementa o Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI) em formato numérico (inteiro ou decimal), permitindo múltiplas escalas aplicáveis simultaneamente.
15. Sistema Cromático	Raramente aplicado de forma estruturada. Quando presente, o uso é pontual, subjetivo e sem padronização metodológica para representar resultados.	Utiliza o Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC), associado a escalas técnicas e scores avaliativos. Facilita a leitura visual de criticidade, variações entre dimensões e desempenho global, com aplicação direta em relatórios, dashboards e laudos técnicos.
16. Score Global	Ausente ou limitado a métricas isoladas e unidimensionais. Os métodos não integram resultados avaliativos em um índice sintético normatizado.	Emprega o Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI) como score final consolidado, expresso em percentual e derivado da integração ponderada das 12 dimensões avaliadas. Permite visão holística, comparabilidade entre objetos e suporte normativo à tomada de decisão.
17. Score Crítico Modular Integrado	Ausência de pontuação crítica proporcional. As abordagens não identificam a relevância relativa dos elementos avaliados, dificultando a priorização técnica e a rastreabilidade modular.	Utiliza o Score Crítico Modular Integrado (SCMI) como índice percentual de criticidade, calculado pela razão entre o SPMI do elemento e o total da dimensão. Permite identificar focos críticos, orientar decisões técnicas e estruturar análises modulares em qualquer escala ou domínio.
18. Modelo Avançado de Personas	Ausente ou utilizado de forma genérica, sem base técnica estruturada.	Possui o Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs), fundamentado nas 12 dimensões, com múltiplos perfis técnicos, permitindo análises combinadas, simulações contextuais e integração aos requisitos modulares do framework.
19. Sistema de Inferência Dinâmica	Não dispõem de mecanismos formais de inferência técnica contínua. Ausência de modelos matemáticos ou computacionais capazes de representar campos perceptivos ou estados dinâmicos de interação.	Utiliza um Sistema matemático-computacional: o Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP), estruturado por equações vetoriais autorais (Ψ, $U(t)$, $\partial\Psi/\partial t$) e funções de entropia. Possibilita a inferência técnica a partir dos dados analíticos gerados por diferentes agentes no framework, bem como a representação formal de interações perceptivas, a inferência em tempo real com base em logs operacionais e a integração com IA, ML e padrões visuais. Unifica <i>affordances</i> físicas, culturais e computacionais em um campo mensurável, contínuo e preditivo, inaugurando uma ciência matemática da interação.
20. Arquitetura modular	Estruturas avaliativas fixas, sem modularidade ou adaptação conforme o objeto, contexto ou escopo da avaliação.	Baseado em arquitetura modular: o Sistema de Modularização e Recursos (SMR), permite o uso seletivo, parcial ou integral das 12 dimensões. Oferece flexibilidade técnica para compor diferentes combinações avaliativas, ajustadas a objetivos específicos.
21. Avaliação Contínua	Ciclos pontuais de avaliação.	Suporte a processos de avaliação contínua e iterativa ao longo do tempo.
22. Participação do Agente	Estruturada por meio de entrevistas e formulários padrão.	Coleta participativa e personalizada, envolvendo diferentes perfis de stakeholders.
23. Aderência a Padrões	Baseado em diretrizes específicas, com pouca margem de ajuste.	Estruturado para aderência normativa com flexibilidade para ajustes contextuais.
24. Análise de Impacto	Foco limitado à interface ou usabilidade direta.	Avaliação do impacto científico, técnico, prático, funcional e contextual no uso da tecnologia.

25. Abordagem Multidimensional	Enfoque isolado em variáveis de interação.	Visão integrada, interligando dimensões técnicas, humanas, operacionais e ambientais.
26. Integração de Métodos	Separação entre métodos qualitativos e quantitativos.	Integração fluida entre abordagens qualitativas, quantitativas e contextuais.
27. Inovação Tecnológica	Métodos tradicionais com pouca atualização.	Permite a aplicação de tecnologias avançadas como sistemas inteligentes, IA, dashboards analíticos e <i>feedback</i> em tempo real.

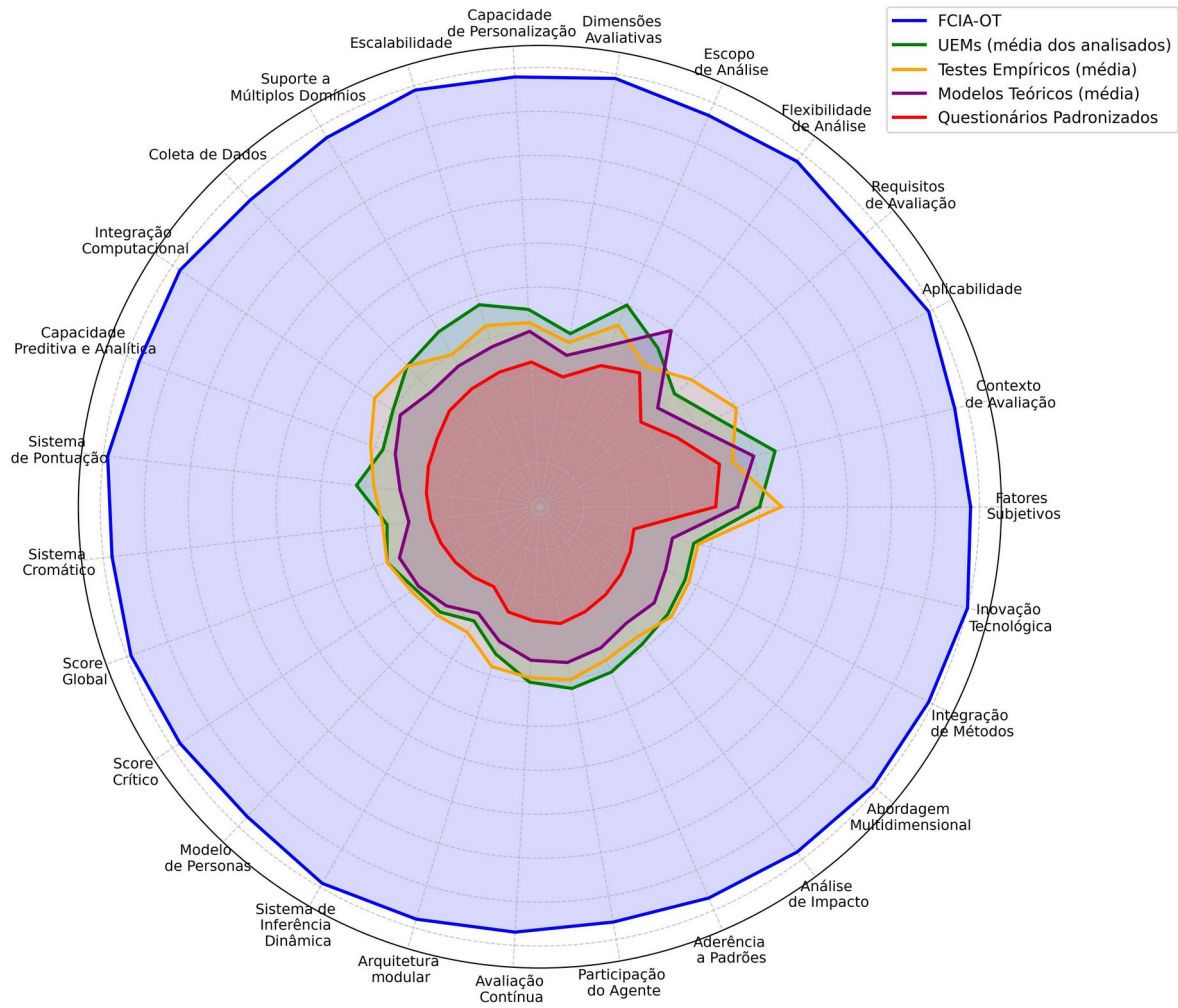
Fonte: Autor.

A Figura 2 visa apresentar uma visualização gráfica da análise comparativa dos trabalhos apresentados na Tabela 2, considerando 27 critérios. Para cada critério, foi adotado um gradiente de abrangência conceitual com finalidade exclusivamente representativa, derivado da análise qualitativa comparativa descrita na Tabela 2. Esse gradiente não constitui nota avaliativa, score empírico ou classificação estatística, mas uma normalização visual destinada a explicitar a presença, ausência ou o grau de integração estrutural de cada critério nos diferentes métodos analisados. Enquanto os métodos clássicos tendem a operar sob modelos fixos, reducionistas e centrados em variáveis isoladas, o FCIA-OT se propõe como uma estrutura modular, dinâmica e multidimensional, capaz de representar, mensurar e inferir tecnicamente processos de interação em contextos reais e complexos.

Diferentemente dos Modelos Teóricos, dos UEMs, dos Testes Empíricos e dos Questionários Padronizados, o FCIA-OT integra, em uma única arquitetura avaliativa, dimensões técnicas, humanas, contextuais, perceptivas e computacionais. Essa integração é operacionalizada por meio de sistemas matemático-computacionais autorais, como o Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI), Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC), Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI), Score Crítico Modular Integrado (SCMI), Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs) e o Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP), que permitem a inferência contínua, o monitoramento de estados interativos e a quantificação precisa da criticidade de cada dimensão. Além disso, ao incorporar mecanismos de modularização seletiva, integração entre dados qualitativos e quantitativos e aderência normativa configurável, o FCIA-OT desloca o foco da simples observação do desempenho do usuário para uma análise científica do comportamento sistêmico da interação.

Esse conjunto de diferenciais, o FCIA-OT, não apenas amplia o escopo avaliativo, mas também visa estabelecer uma epistemologia própria para a Engenharia de Interação, baseada na mensuração de fenômenos perceptivos, emocionais e funcionais em tempo real.

FIGURA 2: COMPARATIVO DO FCIA-OT E ABORDAGENS CLÁSSICAS EM 27 CRITÉRIOS AVALIATIVOS



Visualização gráfica comparativa da abrangência conceitual nos 27 critérios apresentados na Tabela 2. É uma representação utilizada para explicitar diferenças estruturais entre as abordagens analisadas.

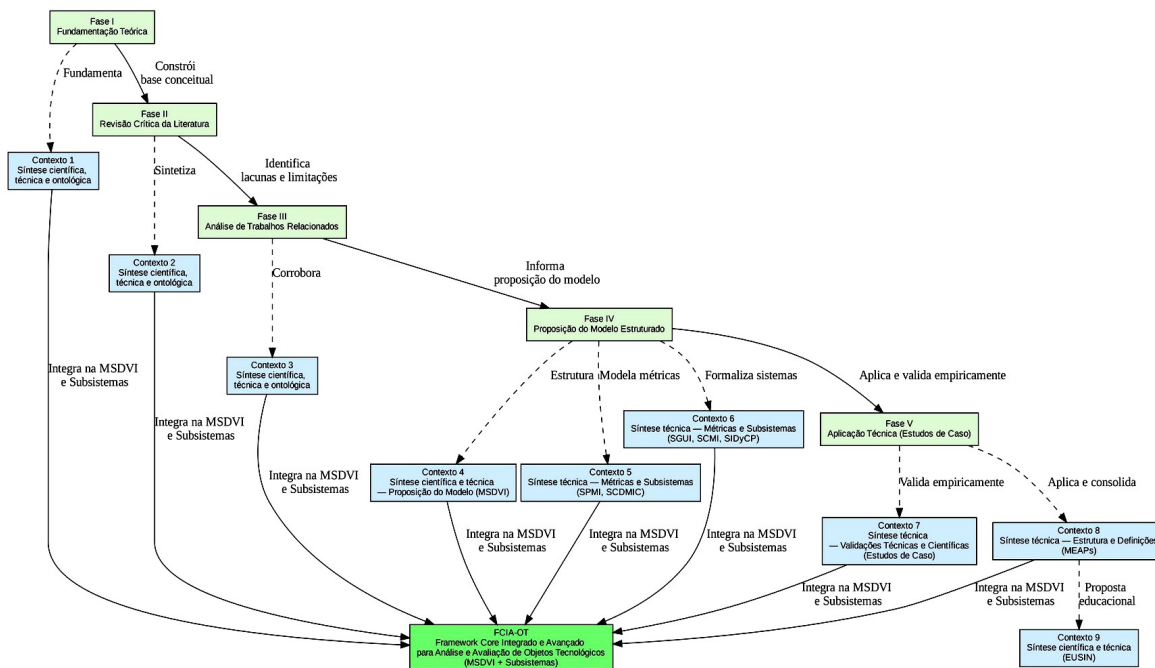
Fonte: Autor.

5 FRAMEWORK CORE INTEGRADO E AVANÇADO PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE OBJETOS TECNOLÓGICOS (FCIA-OT)

O FCIA-OT configura-se como uma ontologia técnico-científica, concebida para superar as limitações estruturais dos modelos tradicionais de usabilidade e interação. Fundamenta-se na Matriz Sistemática de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI), composta por dimensões interdependentes e vetores analíticos, que permitem leituras multivetoriais e situadas da experiência técnico-agencial.

A seguir, na Figura 3, apresenta-se a síntese integradora do FCIA-OT, cujo papel nesta pesquisa é fornecer uma visão operacional, auditável e sistemática do modelo proposto. Esta seção sintetiza a arquitetura ontológica (núcleo), a Matriz Sistemática de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI) e os subsistemas métricos e computacionais que sustentam a avaliação técnico-agencial. Para garantir compreensão sem perda de reprodutibilidade, apresenta-se um fluxo de construção; as formalizações, provas matemáticas e descrições detalhadas encontram-se nos artigos do livro (referências no Capítulo 13), onde está disponível o protocolo completo de construção. O objetivo desta exposição é tornar explícita a lógica projetual e metodológica do FCIA-OT.

FIGURA 3: INTEGRAÇÃO CONCEITUAL E METODOLÓGICA DAS FASES DE DESENVOLVIMENTO DO FCIA-OT



Apresenta uma visão macro que evidencia o percurso lógico e a integração entre os componentes conceituais, metodológicos e aplicados do estudo. O diagrama organiza a sequência das cinco fases metodológicas (fundamentação teórica, revisão crítica da literatura, análise de trabalhos relacionados, proposição do modelo estruturado e validação por meio de estudos de caso) e evidencia como cada uma delas contribui para a formulação e a consolidação do framework.

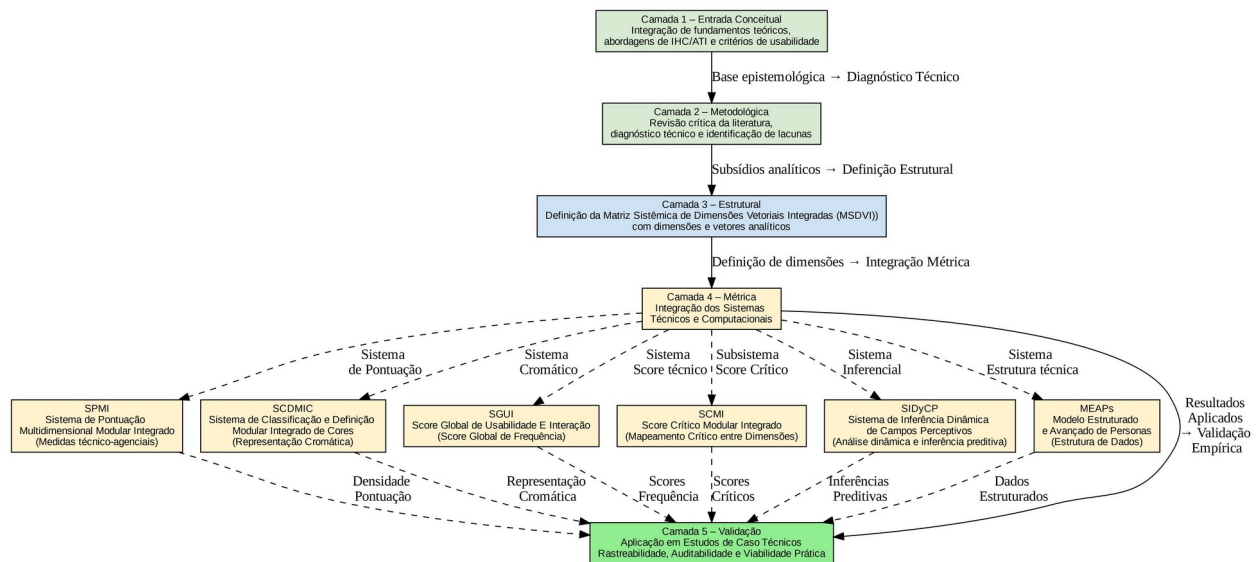
As setas indicam o fluxo de construção do conhecimento, destacando a convergência das sínteses que fundamentam a ontologia, a gramática, a lógica e a estrutura da MSDVI. A figura esclarece, de forma visual, a relação entre teoria, diagnóstico crítico e inovação estrutural, permitindo a compreensão do posicionamento do FCIA-OT e de sua função integradora no contexto das análises técnico-agenciais.

Fonte: Autor.

Essa arquitetura integra variáveis interacionais, funcionais, operacionais e contextuais em uma lógica unificada, articulando observação empírica, validação científica e aplicabilidade prática em contextos de uso real, de forma rastreável e replicável.

Dando continuidade à visão integradora apresentada na Figura 3, a Figura 4 explicita o fluxo de construção do FCIA-OT, evidenciando sua lógica interna, modularidade e escalonamento técnico. O objetivo é apresentar o processo de desenvolvimento do framework, a partir dos fundamentos epistemológicos e conceituais, demonstrando como cada etapa metodológica se articula na construção de um modelo auditável, replicável e aplicável a contextos complexos. Essa representação permite compreender, de forma estruturada, como as dimensões ontológicas e métricas são traduzidas em instrumentos analíticos e subsistemas integrados, que compõem a espinha dorsal do FCIA-OT.

FIGURA 4: FLUXO DE CONSTRUÇÃO DO FCIA-OT: PROCEDIMENTOS TÉCNICOS E INTEGRAÇÃO MODULAR DAS DIMENSÕES E SUBSISTEMAS



Sintetiza a lógica construtiva do FCIA-OT, mostrando como o framework é desenvolvido a partir de princípios epistemológicos, teóricos e metodológicos até sua implementação prática. O fluxograma apresenta cinco camadas:

Entrada conceitual: integração de fundamentos teóricos, abordagens de IHC/ATI e critérios de usabilidade;

Camada metodológica: revisão crítica da literatura, diagnóstico técnico e identificação de lacunas nas abordagens existentes;

Camada estrutural: definição da Matriz Sistêmica de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI) com as dimensões, núcleos analíticos e interdependências;

Camada métrica: incorporação dos sistemas para pontuação, classificação, inferência dinâmica e análise estruturada;

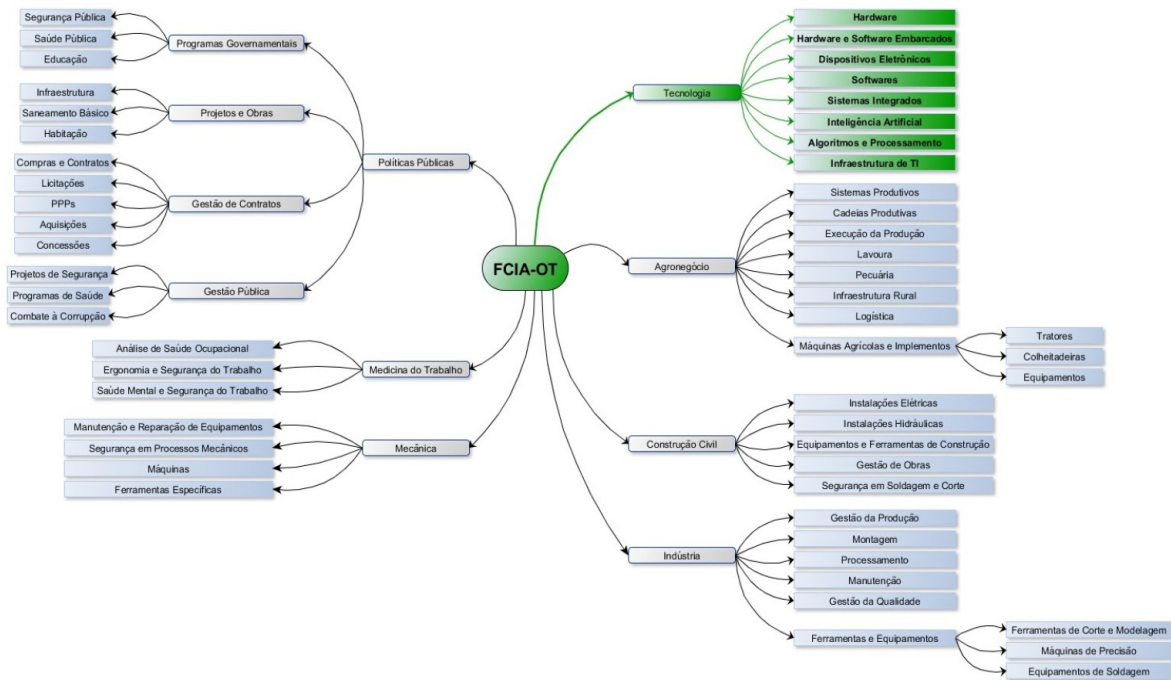
Camada de validação: aplicação em estudos de caso técnico-demonstrativos, garantindo a rastreabilidade, a auditabilidade e a viabilidade prática do framework.

O fluxo enfatiza a modularidade, adaptabilidade e escalabilidade do FCIA-OT, demonstrando como a construção do framework traduz conceitos teóricos em instrumentos de avaliação, métricas e protocolos operacionais. Apresenta uma visão concisa, técnica e auditável do processo de desenvolvimento.

Fonte: Autor.

A Figura 5 apresenta o mapa mental do FCIA-OT, como uma representação sintética de seus eixos conceituais estruturados de forma hierárquica e relacional. Esses eixos se materializam em áreas e subáreas, que, em conjunto, delimitam a amplitude do framework. Entre elas, a área “Tecnologia” e seus desdobramentos assumem centralidade, por constituírem o núcleo analítico mobilizado nesta pesquisa. As demais áreas, embora não aprofundadas neste estudo, reafirmam a natureza abrangente, transversal e adaptável do modelo, evidenciando seu potencial de aplicação em múltiplos contextos avaliativos, desde projetos, protótipos, produtos e serviços até sistemas sociotécnicos complexos.

FIGURA 5: MAPA MENTAL RESUMIDO DO FCIA-OT, SINTETIZANDO OS EIXOS CONCEITUAIS E A TRANSVERSALIDADE TECNOLÓGICA DO FRAMEWORK

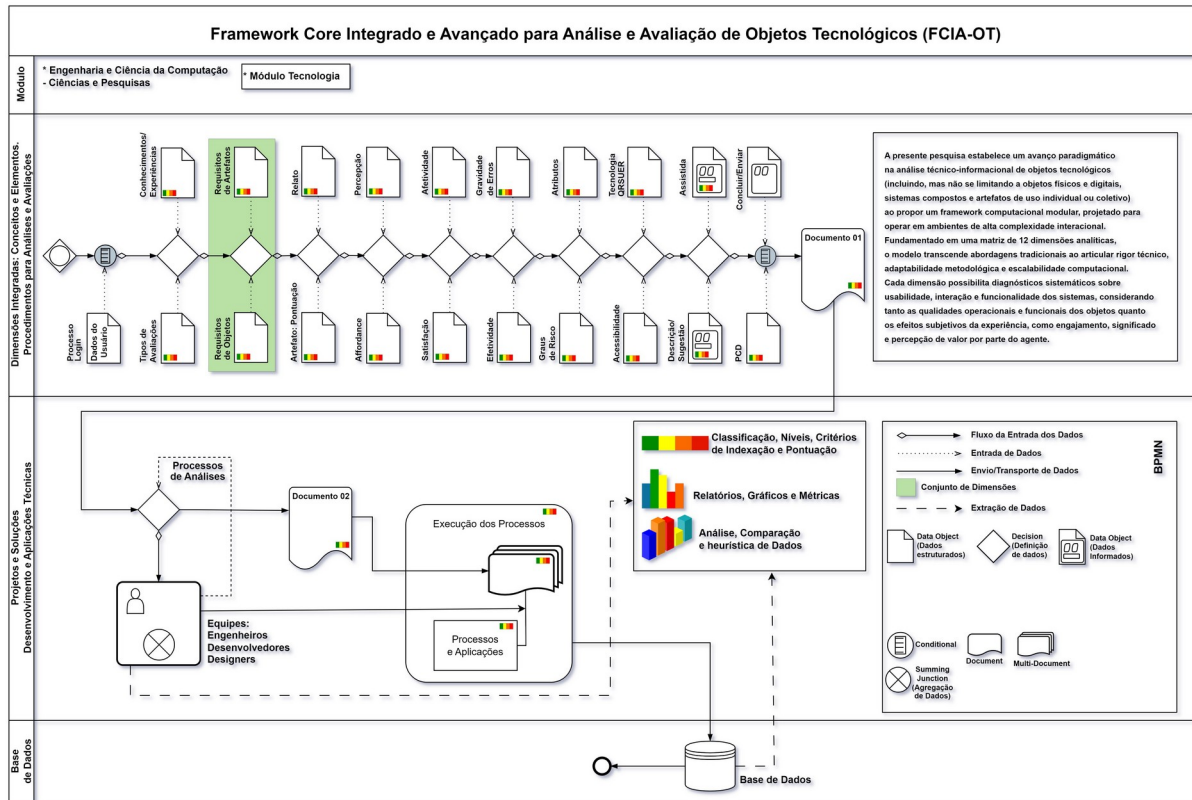


O mapa mental apresenta, de forma ilustrativa e não exaustiva, diferentes contextos tecnológicos nos quais o FCIA-OT pode ser aplicado, independentemente do domínio científico ou setorial. Os domínios representados em azul têm caráter exemplificativo, evidenciando a transversalidade do framework em ambientes que envolvem usabilidade e interação entre agentes e tecnologias.

As estruturas vetoriais, atributos dimensionais, critérios de codificação cromática e parâmetros de pontuação do FCIA-OT foram formalizados progressivamente nos artigos que compõem o presente trabalho. As sínteses desses resultados, anteriormente validadas e publicadas, foram integradas e rearticuladas na presente pesquisa sob a forma de conteúdo. O Apêndice I apresenta o conjunto de vetores e relações métricas que sustentam o processo de inferência de pontuação e os cálculos dos escores técnico-agenciais descritos nas Figuras 3, 4 e 6. Assim, o conteúdo do Apêndice I não constitui material suplementar, mas a formalização consolidada da síntese inferencial dos artigos que fundamentam o FCIA-OT, garantindo coerência epistemológica, auditabilidade e completude metodológica.

O fluxograma técnico é apresentado na Figura 6, que detalha a lógica processual de aplicação do modelo. Diferentemente do mapa mental, que privilegia a visão conceitual, o fluxograma traduz a sequência metodológica das etapas, da coleta inicial de dados à integração vetorial e à geração de relatórios auditáveis. Essa visualização reforça a rastreabilidade e a consistência técnico-científica do FCIA-OT, servindo de guia operacional para a execução sistemática das análises.

FIGURA 6: FLUXOGRAMA TÉCNICO DO FCIA-OT, REPRESENTANDO O ENCADEAMENTO PROCESSUAL DAS ETAPAS DE ANÁLISE, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO



O uso do FCIA-OT pode ser utilizado para avaliações diretas, assistidas ou observacionais, abrangendo desde interações entre agentes finais e sistemas tecnológicos até situações mediadas por agentes técnicos ou especialistas, operando em múltiplas camadas estruturais de análise.

Entre suas inovações, destacam-se os Cores Técnico-Científicos Integrados (Dimensões como núcleos analíticos modulares), que funcionam como núcleos analíticos modulares da MSDVI. Esses subsistemas estruturam a lógica operacional do framework, assegurando que cada dimensão possa ser ativada, combinada ou expandida sem comprometer a consistência metodológica. A modularidade promove a adaptabilidade a distintos domínios, mantendo o rigor epistêmico e a confiabilidade replicável.

A incorporação dos sistemas SPMI (Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado) e SCDMIC (Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores) amplia a densidade representacional do framework ao combinar escalas métricas e codificações cromáticas com vetores, favorecendo análises comparativas de alta precisão e a visualização crítica do desempenho de objetos tecnológicos em diferentes condições de uso.

No âmbito das dimensões, merecem destaque a Dimensão Requisitos de Objetos (RQO) e a Dimensão Requisitos de Artefatos de Objetos (RQA), cuja articulação confere ao FCIA-OT elevada capacidade de análise multiescalar, capaz de abranger desde propriedades estruturais até componentes funcionais e processuais. Essa integração amplia o potencial do framework, tornando-o aplicável a produtos, serviços e sistemas híbridos em diferentes áreas do conhecimento.

A Dimensão *Affordance*, em articulação com a Dimensão Percepção, introduz um avanço epistêmico paradigmático ao evidenciar que a inteligibilidade das interações

técnico-agenciais depende de três princípios fundamentais: a acoplabilidade entre códigos operacionais, a historicidade dos processos interpretativos e a necessidade de reconfiguração contínua diante de variações contextuais. Esses fundamentos, consolidados como as Três Leis da *Affordance* — Lei da Acoplabilidade Algorítmica, Lei da Dependência de Trajetória e Lei da Reconfiguração Necessária, são formalizados no âmbito da arquitetura do Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP), que estrutura matematicamente as relações de emergência, estabilização e colapso das *affordances*. A formalização das leis, ao traduzir comportamentos observáveis em inferências lógico-computacionais, estabelece a base teórico-instrumental que converte o conceito de *affordance* em um mecanismo diagnóstico, preditivo e normativo, transcendendo abordagens meramente descritivas e ampliando a capacidade analítica do FCIA-OT.

Com essa estrutura integrada, o FCIA-OT consolida-se como um dispositivo analítico, apto a produzir dados auditáveis, interoperáveis e cientificamente verificáveis. Ao modelar a usabilidade e a interação como fenômenos multidimensionais, modulares e sistematicamente fundamentados, o framework redefine os paradigmas de análise e avaliação tecnológica, posicionando-se como um marco metodológico aplicável a cenários emergentes e de elevada complexidade.

A Dimensão Conhecimentos/Experiência (CEX) estrutura a trajetória técnico-cognitiva do agente, mapeando repertórios de aprendizagem, práticas acumuladas e níveis de domínio tecnológico. Essa dimensão vai além da competência funcional, integrando aspectos situacionais e históricos. O modelo hierárquico de dez níveis (CEX10 a CEX01), calibrado por sistemas de pontuação (SPMI) e de codificação cromática (SCDMIC), assegura a mensuração rigorosa da qualificação do agente e qualifica transversalmente as demais dimensões.

A Dimensão *Affordance* (AFF) compreende a articulação inferencial entre objeto, repertório do agente e exigências ambientais. Não é um atributo fixo, mas um circuito dinâmico que regula a inteligibilidade da ação. Estruturada em dez vetores (de consolidada a emergente), permite identificar clareza, ambiguidade, risco e eficácia das *affordances*. Seu avanço crítico está na formulação das Três Leis da *Affordance*, que conferem ao campo uma base epistêmica e computacional inédita.

A Dimensão Percepção (PRC) avalia a precisão da correspondência entre estímulos emitidos pelo objeto tecnológico e as respostas operacionais observáveis do agente, articulando sinais ambientais a sensorio-computacionais previamente definidos. Cada vetor da PRC possui critérios mensuráveis e escalas padronizadas, garantindo que a avaliação seja replicável e não opinativa. Associada à *Affordance*, essa dimensão sustenta análises diagnósticas e preditivas de usabilidade, fornecendo métricas críticas para monitoramento do desempenho do objeto.

A Dimensão Afetividade (AFV) analisa os estados funcionais do artefato durante a interação com o objeto tecnológico, estruturando esses eventos em vetores mensuráveis e em escala padronizada (SPMI). Embora considere aspectos situacionais, a avaliação é conduzida de forma replicável e não opinativa, permitindo identificar como padrões influenciam a adesão e a adequação funcional do objeto em contexto real de uso.

A Dimensão Satisfação (STSF) mensura padrões observáveis de alinhamento entre o desempenho do objeto tecnológico e os critérios operacionais e funcionais do agente, estruturados em vetores mensuráveis e escala padronizada (SPMI). Permite quantificar a adequação do objeto ao uso efetivo, fornecendo indicadores replicáveis sobre adesão, eficiência operacional e consistência entre design projetado e comportamento funcional observado.

A Dimensão Efetividade (EFT) analisa o grau de sucesso do objeto tecnológico em cumprir seus propósitos funcionais. Essa dimensão associa métricas de desempenho

com variáveis situacionais, identificando níveis de adequação prática e estabilidade operacional. Sua correlação com satisfação e percepção reforça a coerência metodológica do framework.

A Dimensão Requisitos de Objetos (RQO) delimita as propriedades fundamentais dos objetos tecnológicos, sejam físicos, digitais ou híbridos. Estrutura-se como eixo basilar de análise, integrando características técnicas, funcionais e contextuais que orientam avaliações subsequentes. A Dimensão Requisitos de Artefatos de Objetos (RQA) complementa a RQO ao detalhar artefatos associados, incluindo partes, interfaces, processos e componentes críticos. Sua articulação com a RQO confere ao FCIA-OT uma capacidade inédita de análise multiescalar, permitindo avaliar tanto a integralidade de sistemas quanto suas unidades constitutivas.

A Dimensão Gravidade de Erros (GVE) sistematiza a identificação e classificação de falhas, avaliando sua severidade e impacto sobre a experiência do agente. Por meio de escalas definidas, permite rastrear vulnerabilidades, estabelecer prioridades de correção e alimentar processos de reconfiguração projetual.

A Dimensão Graus de Risco (GSR) expande a análise de erros ao mensurar criticidade, abrangência e impacto potencial dos riscos. Essa dimensão orienta estratégias preventivas e de mitigação, qualificando a segurança funcional e contextual do objeto avaliado.

A Dimensão Atributos (ATB) estrutura-se como núcleo de codificação da qualidade interacional entre agente e objeto, decompondo propriedades que determinam adequação funcional, simbólica e experiencial. Formaliza quinze vetores mensuráveis, distribuídos em eixos pragmático e hedônico-normativo, que sustentam inferências sobre coerência projetual, responsividade sistêmica e alinhamento finalidade-meio. Suas métricas comparáveis, integradas à matriz do FCIA-OT, permitem análises inter-ciclos e diagnósticos reconfiguráveis em cenários tangíveis, digitais ou híbridos.

A Dimensão Acessibilidade (ACB) avalia a compatibilidade entre objeto e diferentes perfis funcionais, formalizando critérios normativos, ergonômicos e contextuais em uma arquitetura integradora projetada desde as fases iniciais do ciclo tecnológico. Estrutura avaliação multiescalar e técnico-operacional da compatibilidade entre objeto, perfis funcionais e interfaces. Essa dimensão assegura inclusão efetiva, usabilidade universal e ajustes responsivos em contextos tangíveis, digitais, híbridos ou ciberfísicos.

A Dimensão Tecnologia QRSUER (TQRS) estabelece critérios técnico-científicos para mensurar e classificar tecnologias a partir de seis pilares estruturantes, Qualidade, Responsabilidade Social, Sustentabilidade, Utilidade, Ética e Razão. Sua modelagem (TQRS01–TQRS29) opera em todo o ciclo de vida tecnológico, da concepção ao descarte e à economia circular, qualificando eficiência energética, reciclabilidade, modularidade, equidade sociotecnológica e maturidade ética. Ao articular métricas normativas e projetuais, consolida-se como eixo transversal de síntese na matriz do FCIA-OT, permitindo inferências comparativas sobre mérito sistêmico, circularidade e impactos ambientais e sociais.

O caráter operacional do FCIA-OT é reforçado por três estruturas inéditas. O mapa mental organiza os eixos conceituais do framework, destacando a área de Tecnologia como foco central da presente pesquisa e evidenciando sua transversalidade para outros campos. O fluxograma técnico descreve, em sequência processual, as etapas de análise, avaliação e classificação, assegurando rastreabilidade e consistência metodológica. Os procedimentos técnicos do FCIA-OT detalham, em correspondência ao fluxograma, as fases de coleta, categorização, avaliação, integração vetorial e geração de relatórios. Essas três representações complementares consolidam a aplicabilidade prática do framework, demonstrando sua capacidade de transformar princípios conceituais em protocolos científicos auditáveis e replicáveis.

As doze dimensões do FCIA-OT, articuladas na Matriz Sistêmica de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI), operam como vetores interdependentes, possibilitando análises cruzadas, escaláveis e modulares. Essa arquitetura confere ao framework capacidade de expansão contínua, aplicabilidade multidisciplinar e adaptabilidade metodológica diante de cenários emergentes. O sistema se distingue por três eixos centrais:

Integração vetorial e modularidade expansiva: cada dimensão é operacionalizada como vetor independente, mas interconectado, garantindo que os Cores Técnico-Científicos Integrados possibilitem expansão, adaptação e reconfiguração sem perda de consistência.

Precisão escalar e densidade representacional: a incorporação dos sistemas SPMI e SCDMIC permite mensurar criticidade, maturidade e adequação técnico-funcional com resolução inédita, produzindo representações comparativas e auditáveis que ampliam a inteligibilidade científica.

Fundamentação epistêmica inovadora: a derivação das Três Leis da *Affordance* a partir do SIDyCP estabelece *affordance* como categoria formal e computacional, apta a sustentar inferências rigorosas sobre estabilidade, risco e reconfiguração sistêmica.

Com essa configuração, o FCIA-OT apresenta-se como uma plataforma metodológica singular, que unifica rigor científico, aplicabilidade prática e inovação técnica. Sua potência está em decodificar a complexidade da usabilidade e da interação, fornecendo dados verificáveis e replicáveis, e projetando-se como referência na análise e avaliação de objetos tecnológicos em cenários de alta complexidade e multidisciplinaridade. Esta seção foi elaborada a partir da seguinte publicação, que apresenta mais detalhes sobre o FCIA-OT: Salomão, M. B. & Bonacin, R. (2025). Integrated and advanced core framework for the analysis and evaluation of technological objects (FCIA-OT). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 1–84). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529081>

5.1 Diretrizes: Conteúdos Estruturais Técnico-Científicos

As diretrizes estruturais técnico-científicas do FCIA-OT foram desenvolvidas para estabelecer uma base metodológica modular e sistemicamente configurável, capaz de sustentar análises rigorosas, multiestruturais e multidimensionais de objetos tecnológicos. Esta seção apresenta os componentes que alicerçam o framework, organizados em categorias estruturais precisas, dotadas de propriedades técnicas definidas e interoperáveis. O FCIA-OT articula esses componentes por meio de uma arquitetura conceitual robusta, flexível e integrável, permitindo sua aplicação em múltiplos domínios avaliativos e adaptando-se a diversas tipologias de objetos, artefatos e sistemas tecnológicos.

A proposição desta abordagem técnico-científica visa não apenas maximizar a precisão e a rastreabilidade das avaliações realizadas, mas também assegurar a adaptabilidade do framework diante de complexidades operacionais e contextuais, características dos cenários reais de aplicação. Assim, os conteúdos estruturais descritos neste segmento constituem o núcleo epistemológico-operacional do FCIA-OT, sendo essenciais para garantir a coerência metodológica, a consistência analítica e a excelência nos processos avaliativos.

5.2 Definição do Termo: Interação Agente-Tecnologia (ATI)

A IHC consolidou-se, nas últimas décadas, como campo estruturante da análise e desenvolvimento de interfaces, sistemas e experiências centradas na relação entre agentes humanos e tecnologias digitais. Sua relevância histórica, técnica e metodológica permanece inquestionável, sustentando as bases de inúmeras soluções interativas e orientações ergonômicas. Contudo, o avanço exponencial das tecnologias autônomas, a emergência de agentes não humanos e a ubiquidade dos sistemas inteligentes impõem uma rearticulação conceitual que reflita com maior precisão a complexidade contemporânea da interação.

Propõe-se, nesse contexto, o constructo ATI, não como ruptura epistemológica, mas como expansão fundamentada dos princípios da IHC. A ATI preserva a legitimidade científica da matriz originária, ampliando seu escopo à luz das transformações que reposicionam o agente, humano, não humano ou híbrido, como unidade analítica central dos processos de usabilidade e interação. Ao invés do foco exclusivo no computador como mediador da interação, a ATI adota uma perspectiva distribuída, orientada por ecossistemas tecnológicos heterogêneos, responsivos e pervasivos.

A Tabela 3 sintetiza os principais termos utilizados em estudos clássicos e contemporâneos que sustentam a necessidade de reformulação conceitual. Observa-se uma diversidade terminológica que, embora rica, não contempla plenamente os novos paradigmas de interação com agentes não humanos, híbridos e tecnologias cognitivas. É neste cenário que se propõe a ATI, como constructo técnico e científico mais abrangente e atual.

TABELA 3: TERMINOLOGIAS DE REFERÊNCIA UTILIZADAS EM PESQUISAS DE IHC

Pesquisas	Terminologia
Ramsey & Atwood (1980)	Área de interação usuário-computador, tecnologia e práticas de interação usuário-computador
Woods & Roth (1988)	Interação humano-máquina, interação pessoa-computador
Jeon (2017)	Mainstream da pesquisa em sistemas humano-máquina
Griffith & Greitzer (2007)	Interação pessoa-máquina, diálogo usuário-máquina
Romero et al. (2016)	Interfaces homem-máquina inteligentes
Lin, Qiu & Lao (2019)	Interação humano-computador inteligente, paradigmas de interação inteligente eficiente, métodos de interação inteligente eficiente
Law et al. (2009a)	Interações humano-tecnologia
Guo, Lu & Yao (2021)	Interação humano-máquina (HMI), interação cérebro-computador (CCI)
Cecilio (2022)	Interação humano-máquina
Gammulle et al. (2023)	Interação humano-máquina, interações humano-humano, interação humano-objeto, interação humano-robô (HRI), interações mão-objeto
Qi et al. (2024)	Interação humano-robô (HRI), interação humano-máquina

Fonte: Autor.

A ATI posiciona-se como uma ciência interdisciplinar voltada à compreensão técnico-metodológica das dinâmicas interativas entre múltiplos tipos de agentes e os sistemas tecnológicos que os envolvem. Seu escopo abarca desde arquiteturas computacionais convencionais até tecnologias adaptativas, cognitivas, generativas e autônomas, englobando inteligência artificial, robótica social, sistemas ubíquos e ambientes imersivos.

ATI não se limita à redefinição terminológica: propõe um modelo de análise que possibilita avaliações modulares e dimensionais, conforme formalizado no FCIA-OT.

Por meio da sua matriz MSDVI e de seus recursos como o SPMI, SCDMIC, SGUI, SCMI, MEAPs e o SIDyCP, torna-se possível operacionalizar, mensurar e sistematizar a interação em seus múltiplos níveis.

A Interação Agente-Tecnologia representa um marco de maturidade conceitual, orientando práticas emergentes como a engenharia da usabilidade e da interação, fundamentadas em uma ciência precisa, aplicável e sensível às transformações do futuro tecnológico.

5.3 Stakeholders

A compreensão dos sujeitos envolvidos na avaliação de objetos tecnológicos evoluiu significativamente ao longo das últimas décadas, incorporando concepções mais ativas e cognitivamente orientadas. Sob essa perspectiva, Woods & Roth (1988) argumentaram que o ser humano não deve ser concebido como um mero usuário passivo de um programa de computador, mas sim como um solucionador de problemas ativo dentro de um determinado domínio. Para enfatizar esse protagonismo, propuseram substituir o termo “usuário” por agentes ou atores do domínio, destacando o papel cognitivo desempenhado na resolução de problemas. Com isso, tornam possível a generalização de exigências cognitivas fundamentais entre diferentes contextos de aplicação.

Prosseguindo nessa direção, Burlamaqui & Dong (2015) definiram agente como um ente capaz de perceber *affordances* e interagir com artefatos, sendo, portanto, simultaneamente perceptor e ator em potencial. Essa definição amplia o escopo de análise ao incluir, além dos seres humanos, também máquinas programadas e animais não humanos, desde que dotados da capacidade de perceber e agir sobre os artefatos presentes em seu ambiente.

No contexto do FCIA-OT, todos os stakeholders desempenham papéis essenciais e contribuem de maneira distinta para a avaliação e aperfeiçoamento do objeto tecnológico. Esses stakeholders são classificados como agentes finais, agentes técnicos, agentes especialistas, agentes parceiros, agentes financiadores, agentes conveniados, entre outros. Embora cada agente tenha uma função relevante, esta pesquisa enfatiza aqueles que mantêm uma interação mais próxima e direta com o objeto, dado seu impacto direto na usabilidade, interação, performance e satisfação do agente. Os principais grupos de agentes com influência direta são:

Agentes Finais: Agentes que interagem diretamente com o objeto e cujas experiências fornecem dados fundamentais para a avaliação de usabilidade e eficácia.

Agentes Técnicos: Profissionais que realizam a configuração, manutenção e aprimoramento técnico do objeto, influenciando diretamente sua funcionalidade e adequação às necessidades identificadas.

Agentes Especialistas: Profissionais ou pesquisadores com expertise especializada, que oferecem análises técnicas e pareceres técnico-científico, contribuindo para a evolução dos requisitos técnicos.

Agentes Experts: Profissionais com competência técnico-científica transversal e domínio integrado sobre as múltiplas dimensões da avaliação de objetos tecnológicos. Diferenciam-se por sua capacidade de transitar com profundidade e fluência entre os conhecimentos e práticas dos demais agentes (finais, técnicos, especialistas, parceiros), articulando requisitos técnicos, cognitivos, operacionais e contextuais de forma holística. Atuam como validadores críticos e integradores sistêmicos, capazes de realizar diagnósticos complexos, propor refinamentos estratégicos e conduzir processos de decisão com base em evidências multidimensionais. Sua expertise acumulada permite não apenas compreender, mas antecipar interações, prever impactos e otimizar o desempenho global do objeto avaliado.

A pesquisa considera também outros agentes que, embora envolvidos de forma menos direta com o objeto, são essenciais ao sucesso do projeto, aportando recursos, suporte institucional e alianças estratégicas. Essa abordagem integradora permite que o FCIA-OT avalie, de forma abrangente e equilibrada, as distintas perspectivas e influências de cada agente.

Outros agentes importantes na análise e avaliação de objetos tecnológicos, mas não abordados diretamente (mas compreendidos) nesta pesquisa são:

Agentes Tecnológicos Sistêmicos: Estes são sistemas ou algoritmos avançados que executam tarefas específicas de coleta, processamento e análise de dados, seguindo regras predefinidas, sem capacidade de adaptação ou de aprendizado autônomo. Embora possam empregar técnicas sofisticadas, como métodos estatísticos ou algoritmos de otimização, não têm a habilidade de modificar seu comportamento com base em experiências anteriores.

Agentes Tecnológicos Inteligentes: São sistemas autônomos (conhecidos como agentes de IA), que utilizam técnicas de inteligência artificial, como aprendizado de máquina e redes neurais, para não apenas coletar e analisar dados, mas também para aprender com experiências passadas, adaptar-se a novas situações e tomar decisões complexas. Sua capacidade de aprendizado contínuo permite que ofereçam sugestões de melhorias e otimizem processos de maneira mais profunda e eficaz.

5.4 Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI)

O SPMI constitui um avanço metodológico ao propor uma arquitetura de mensuração capaz de integrar variáveis qualitativas e quantitativas, subjetivas e objetivas, preservando a coerência lógica entre polaridade, intensidade e valor inferencial. Estruturado em escala de -5 a +10, nas versões inteira e decimal, o SPMI amplia a resolução métrica, permitindo análises precisas e adaptadas às especificidades de cada dimensão avaliada. Sua modularidade viabiliza a incorporação de múltiplos vetores analíticos, superando as restrições de modelos unidimensionais e assegurando granularidade interpretativa em contextos técnicos, operacionais e científicos. Fundamentado em princípios psicométricos, o sistema suporta avaliações críticas de constructos complexos, ampliando a representatividade dos dados e possibilitando a formulação de diagnósticos e decisões com rigor técnico.

A concepção do SPMI resulta de uma análise crítica de referenciais clássicos e contemporâneos de mensuração, os quais, apesar de suas contribuições, permanecem limitados em alcance dimensional e adaptabilidade estrutural. As escalas tradicionais operam majoritariamente de forma unidimensional, com resolução e capacidade integrativa restritas.

O SPMI sintetiza avanços ao integrar lógica formal de base matemática e codificação semântico-avaliativa em uma arquitetura multidimensional, capaz de combinar diferentes naturezas de variáveis em vetores interdependentes, proporcionando coerência interna, adaptabilidade contextual e precisão métrica. Essa construção se materializa em componentes operacionais interdependentes, descritos a seguir:

Fundamento formal-matemático e semântico-avaliativo: Baseado em uma lógica formal de estrutura matemática, o SPMI adota um modelo vetorial que traduz gradientes de significado em relações quantitativas. Essa codificação semântico-avaliativa permite representar nuances de polaridade e intensidade com resolução métrica, coerência entre valor numérico e significado interpretativo, e ampliando a fidelidade representacional do sistema.

Superação das limitações unidimensionais: Em comparação às escalas históricas, o SPMI oferece uma arquitetura modular e multidimensional, permitindo que

indicadores qualitativos e quantitativos coexistam em uma mesma análise, preservando a coerência métrica.

Resolução e granularidade: Ao operar tanto com valores inteiros quanto decimais, o sistema assegura alta precisão na avaliação de elementos microestruturais (como linhas de código, peças ou microprocessos), sem perder aplicabilidade em análises macro.

Integração inferencial: Possibilita combinar variáveis objetivas e subjetivas em vetores interdependentes, oferecendo suporte a decisões baseadas em dados contextualmente calibrados.

Rigor psicométrico: Construído com validação empírica e revisão bibliográfica, proporcionando consistência interna e representatividade de cada dimensão. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Integrated modular multidimensional scoring system (SPMI) and integrated modular system for color-based classification and definition (SCDMIC). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 85–107). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529082>

5.5 Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC)

O Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC) oferece um modelo cromático para representar estados avaliativos complexos. Operando de forma integrada ao SPMI, transforma pontuações numéricas em padrões visuais contínuos, articulados por cinco cores que codificam níveis graduais de conformidade, severidade e necessidade de intervenção. Sua lógica não se limita à correspondência estática entre cor e resultado, mas incorpora mecanismos inferenciais, como Mapas Térmicos, de Gravidade de Erro e de Risco, que ampliam a capacidade diagnóstica e orientam ações corretivas com base em cenários técnicos e operacionais. Ao alinhar codificação visual intuitiva com precisão técnica, o SCDMIC torna-se um recurso essencial para leitura rápida e fundamentada do desempenho de elementos avaliados, consolidando uma abordagem unificada entre métrica numérica, interpretação funcional e representação gráfica em sistemas de alta complexidade.

A concepção do SCDMIC deriva da necessidade de superar as limitações inerentes a modelos cromáticos estáticos e a classificações rígidas. Diferentemente de sistemas convencionais, que atribuem cores de forma fixa e descontextualizada, o SCDMIC integra lógica contínua e inferencial, permitindo que cada cor represente não apenas um estado isolado, mas um ponto em um gradiente de desempenho com fronteiras graduais e interdependentes. Essa abordagem viabiliza interpretações precisas em contextos em que a variabilidade funcional e a sobreposição de estados são determinantes. Sua arquitetura permite que a informação visual esteja diretamente vinculada à métrica numérica do SPMI, preservando consistência analítica e reforçando a capacidade de diagnóstico em tempo real. A lógica inferencial do sistema organiza-se em componentes cromáticos e analíticos, apresentados a seguir:

Codificação cromática de alta resolução: utiliza cinco cores (azul, vermelho, laranja, amarelo e verde) associadas a níveis graduais de conformidade, severidade e necessidade de intervenção, permitindo a leitura rápida e precisa do estado avaliado.

Camada inferencial integrada: não se limita a mapear resultados estáticos, mas converte as pontuações do SPMI em representações dinâmicas, como o Mapa Térmico Modular, o Mapa de Gravidade de Erro e o Mapa de Risco Modular, que ampliam a acurácia diagnóstica.

Nível Condicional Sistêmico: a cor azul representa uma condição analítica especial, ativada apenas por inferência interdimensional, quando a validade de uma dimensão depende logicamente de outra, algo incomum em sistemas avaliativos.

Leitura funcional e estratégica: combina representação visual intuitiva com rigor técnico, permitindo identificar, de forma imediata, áreas críticas, zonas de transição e estados ótimos.

Aplicação em sistemas complexos: é especialmente eficaz em cenários em que o desempenho depende de múltiplos fatores interdependentes, como na engenharia de interação, na usabilidade avançada e na gestão de riscos técnicos. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Integrated modular multidimensional scoring system (SPMI) and integrated modular system for color-based classification and definition (SCDMIC). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 85–107). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529082>

5.6 Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI)

O SGUI constitui um módulo normativo central do FCIA-OT, projetado para estabelecer a avaliação de usabilidade e interação em um índice técnico-científico comparável. Derivado diretamente do núcleo matricial do framework, o SGUI transforma os apontamentos em frequências percentuais por vetor e dimensão, permitindo identificar padrões, recorrências e lacunas críticas em sistemas tecnológicos complexos. Essa abordagem assegura que cada resultado seja quantificável, auditável e replicável, evitando que a interpretação dos dados dependa de julgamentos opinativos do avaliador.

Sua aplicação permite identificar configurações dominantes, padrões recorrentes e lacunas críticas em ecossistemas tecnológicos complexos, favorecendo tanto diagnósticos localizados quanto análises comparativas em larga escala. Ao ser complementado por um sistema cromático normatizado, o SGUI amplia a inteligibilidade visual, favorece decisões técnicas e reforça a capacidade de auditoria funcional em contextos de alta densidade interacional. A proposta rompe com as limitações das métricas tradicionais, convertendo fenômenos complexos em indicadores de precisão para a engenharia da interação e a governança técnica.

A estrutura do SGUI integra doze dimensões, cada uma mensurada com base na frequência relativa de ocorrências codificadas na matriz original, e representada como porcentagem de incidência sobre o total de lançamentos realizados. A conversão em porcentagem define, de forma objetiva, o nível de maturidade tecnológica ou de interação, variando de alta a baixa maturidade. As dimensões são descritas a seguir:

A estrutura do SGUI é composta por doze dimensões analíticas, que operam como eixos complementares para um diagnóstico aprofundado:

Conhecimentos/Experiência (CEX): Mensura a compatibilidade entre a proficiência exigida e a capacidade observada do agente, qualificando a maturidade tecnológica e a criticidade operacional.

Affordance (AFF): Quantifica a clareza perceptiva, a coerência funcional e o alinhamento entre a forma e o propósito do artefato, identificando ambiguidades ou inconsistências funcionais.

Percepção (PRC): Mensura a inteligibilidade inicial do sistema ou da interface a partir da frequência de respostas funcionais observadas, determinando a fluidez da interação e a precisão interpretativa do funcional e sistêmico do artefato.

Afetividade (AFV): Registra respostas codificadas em indicadores positivos ou negativos, cuja frequência define o impacto estrutural da interação sobre engajamento, adesão e continuidade de uso do objeto tecnológico.

Satisfação (STSF): Mensura a convergência entre o objeto e a experiência operacional do agente, com base na frequência de respostas observadas, fornecendo um indicador sistêmico de alinhamento funcional do objeto tecnológico.

Efetividade (EFT): Quantifica o sucesso na execução das tarefas previstas, correlacionando taxas de conclusão, acertos e aprendizado, o que permite a análise do desempenho operacional.

Requisitos de Artefatos de Objetos (RQA): Avalia a conformidade estrutural e funcional dos componentes do objeto tecnológico, considerando a incidência de não conformidades detectadas.

Gravidade de Erros (GVE): Identifica e classifica falhas com base na frequência e na criticidade registradas, classificando-as segundo a severidade e o impacto funcional.

Graus de Risco (GSR): Mensura riscos potenciais associados ao uso, calculados com base na incidência de eventos críticos e nas probabilidades observadas de impacto.

Atributos (ATB): consolida parâmetros técnicos essenciais, incluindo usabilidade, eficiência, interoperabilidade e estabilidade, medidos pela frequência de ocorrências observadas.

Acessibilidade (ACB): avalia adequação a diferentes perfis funcionais de agentes, com base em indicadores percentuais de compatibilidade e conformidade normativa.

Tecnologia QRSUER: aplica critérios técnico-científicos multidimensionais de sustentabilidade, eficiência de recursos, responsabilidade social e ética, mensurados pelo percentual de conformidade de cada vetor.

A transformação dos registros individuais em percentuais sistematizados permite que o SGUI funcione como índice global de usabilidade e interação, oferecendo uma representação técnica e objetiva do desempenho do objeto tecnológico. Esta configuração permite robustez analítica, replicabilidade metodológica e transparência interpretativa, fortalecendo a capacidade do FCIA-OT de produzir diagnósticos comparáveis e aplicáveis a produtos, serviços e sistemas complexos. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Global usability and interaction score (SGUI) and integrated modular critical score (SCMI). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 108–148). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529083>

5.7 Score Crítico Modular Integrado (SCMI)

O SCMI constitui uma métrica estratégica e proporcional de criticidade técnica, projetada para isolar, evidenciar e priorizar elementos de alta densidade sistêmica e baixa recorrência. Desenvolvido a partir do núcleo SPMI do FCIA-OT, agrega valores ponderados por elemento ou por dimensão, garantindo que registros raros, mas de elevado impacto, não sejam diluídos nas médias globais. Essa abordagem assegura a rastreabilidade, preserva a integridade inferencial e mantém a visibilidade dos fatores críticos no conjunto avaliativo.

O SCMI não apenas identifica falhas e condições de risco elevado, mas também orienta a formulação de protocolos direcionados à manutenção preventiva, à mitigação de risco e à reengenharia técnica. Em ecossistemas modulares complexos, sua relevância é amplificada, pois eventos pouco frequentes podem gerar efeitos sistêmicos significativos.

Integrado organicamente ao paradigma avaliativo do FCIA-OT, o SCMI amplia a robustez normativa, a sensibilidade diagnóstica e a precisão inferencial do framework. Sua utilização conjunta com o SGUI oferece uma visão dual e complementar: enquanto o SGUI fornece um panorama global da maturidade e usabilidade, o SCMI realiza um mapeamento seletivo e aprofundado dos pontos críticos. Dessa forma, o modelo combinatório permite que decisões técnicas sejam tomadas com base em uma leitura completa, que contempla tanto a performance média quanto a singularidade dos

elementos de maior relevância sistêmica. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Global usability and interaction score (SGUI) and integrated modular critical score (SCMI). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 108–148). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529083>

5.8 Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs)

Os MEAPs substituem perfis estáticos e genéricos por uma estrutura dinâmica, versionável e iterativa, derivada de análises empíricas e da matriz técnico-científica de 12 dimensões do FCIA-OT. Sua concepção integra variáveis técnicas, comportamentais e contextuais, permitindo a criação de personas especializadas, desde perfis técnicos e especialistas setoriais até agentes com foco em acessibilidade, sustentabilidade e avaliação de PCD.

O valor central do MEAPs está na capacidade de converter dados estruturados do agente (coletados em cenários reais, em ambientes laboratoriais e em estudos de caso) em representações funcionais e rastreáveis, constituindo um “persona avançado” que reflete fielmente o conhecimento, a experiência e as interações do agente. Esses perfis não apenas descrevem, mas também operam como vetores analíticos e estratégicos, orientando ajustes de projeto, validação técnica e evolução de soluções.

Além de caracterizar perfis, o modelo estabelece uma ruptura com abordagens tradicionais ao incorporar mecanismos iterativos, rastreabilidade e controle de versões, assegurando que cada persona possa evoluir em sincronia com as transformações comportamentais e demandas emergentes. Essa adaptabilidade confere aos MEAPs um papel decisivo em cenários de alta complexidade tecnológica, em que representações estáticas não atendem aos requisitos de precisão e responsividade.

Os perfis estruturados atuam como vetores técnico-científicos, articulando dados empíricos com parâmetros de análise e decisão. Nessa perspectiva, ultrapassam a função descritiva e se tornam componentes operacionais de diagnóstico, planejamento e inovação, permitindo alinhamento contínuo entre requisitos projetuais e realidade de uso.

O MEAPs incorpora ainda um escopo inclusivo e responsivo, evidenciado pela presença de personas especializadas em acessibilidade e interação de pessoas com deficiência (PCD), capazes de antecipar barreiras invisíveis e propor soluções compatíveis com diretrizes de equidade e de design universal. Essa dimensão reforça o papel do modelo como recurso para ampliar a representatividade e a usabilidade de produtos e serviços tecnológicos. Outro diferencial metodológico está no vínculo direto entre dados observacionais e a tomada de decisão. Cada perfil é fundamentado em resultados de avaliações empíricas, garantindo rastreabilidade e legitimidade técnica, e oferecendo uma base sólida para decisões críticas no ciclo de desenvolvimento.

No âmbito prático, o MEAPs oferece precisão projetual e alto grau de personalização, atuando como ferramenta de validação cruzada entre constructos tecnológicos e perfis reais. Sua aplicação estratégica abrange desde diagnósticos de usabilidade e de desempenho até a antecipação de barreiras invisíveis, contribuindo para a criação de soluções inclusivas, responsivas e adaptadas a ambientes complexos e dinâmicos.

Com essa abordagem, o MEAPs consolida-se como recurso sistêmico de engenharia da usabilidade e design centrado no agente, promovendo um ciclo contínuo de adaptação e inovação, capaz de responder a demandas emergentes e elevar o patamar de maturidade funcional dos objetos tecnológicos. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Structured and advanced model of personas (MEAPs). In

5.9 Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP)

O SIDyCP estabelece uma infraestrutura teórico-computacional, desenvolvida originalmente neste estudo, para a modelagem da percepção técnica, construindo-a como processo inferencial dinâmico, distribuído e sensível ao contexto. Integrado à plataforma epistêmica ATI do FCIA-OT, formaliza matematicamente as Três Leis da *Affordance*, transformando propriedades perceptivas em variáveis computáveis, auditáveis e adaptáveis. Seu núcleo conceitual se ancora na noção de campo perceptivo não-local (Ψ), no qual acoplamentos entre agentes e ambientes emergem de coeficientes historicamente situados (α_i), articulados às métricas de Entropia de Interação ($U(t)$) e à Equação Dinâmica ($\partial\Psi/\partial t$).

O modelo, diferentemente dos paradigmas clássicos, concebe *affordances* não como atributos fixos, mas como vetores emergentes de correlações não locais, superando a dicotomia natureza–cultura e integrando dimensões físicas, simbólicas e contextuais em um formalismo único. Essa perspectiva redefine as bases da IHC, permitindo previsibilidade e reengenharia de padrões perceptivos em sistemas complexos.

A Equação do Campo Perceptivo (Ψ) descreve o entrelaçamento dinâmico entre agente e ambiente, ponderado por coeficientes α_i que codificam disposições cognitivas, culturais e históricas, sustentando a previsibilidade *affordancial*. A Equação de Usabilidade ($U(t)$) reinterpreta a entropia como indicador de ambiguidade inferencial, quantificando a clareza ou a instabilidade das *affordances*. Por sua vez, a Equação Dinâmica ($\partial\Psi/\partial t$) formaliza a Reconfiguração Necessária, diagnosticando colapsos perceptivos quando a taxa de variação supera o limiar da Constante de Acoplamento Perceptivo (κ_p).

No estudo de caso aplicado a uma interface de cadastro de clientes, o SIDyCP evidenciou zonas críticas de instabilidade perceptiva. Esses resultados caracterizaram o colapso estrutural da percepção técnica, a perda extrema de estabilidade inferencial e a ruptura imediata do acoplamento agente–ambiente. A análise demonstra que, mesmo em interfaces funcionalmente declarativas, padrões perceptivos críticos emergem de interações cumulativas entre dimensões de efetividade, atributos, requisitos de objetos, acessibilidade e gravidade dos erros.

A aplicação do SIDyCP permitiu identificar rapidamente essas instabilidades e fornecer suporte à reconfiguração dinâmica do campo perceptivo, alinhando inferências técnicas à tomada de decisão fundamentada. Ao articular formalização matemática, princípios epistêmicos e métricas de entropia de interação, o sistema comprovou sua capacidade de modelar a percepção técnica como processo inferencial distribuído e sensível ao contexto, evidenciando relevância metodológica e potencial de aplicação em cenários complexos de alta criticidade.

Ao unificar fundamentos epistêmicos, formalização matemática e aplicabilidade em cenários reais de alta complexidade, o SIDyCP apresenta-se como contribuição distinta no campo da IHC–ATI e da modelagem perceptiva técnica. Sua capacidade de romper paradigmas consolidados, de integrar dimensões históricas e contextuais na previsão *affordancial* e de oferecer diagnósticos quantitativos, operando sobre dados analíticos provenientes da matriz epistêmica do FCIA-OT, bem como sobre fluxos interacionais e variáveis processadas em tempo real, demonstra potencial para contribuir ao avanço acadêmico e tecnológico de alto nível, projetando-o como referência pela sua contribuição metodológica em sistemas interativos avançados. Esta seção foi elaborada

com base em Salomão, M. B. (2025). Dynamic inference system of perceptual fields (SIDyCP). In M. B. Salomão (Ed.), FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects (pp. 215–241). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529086>

5.10 Sistema de Modularização e Recursos (SMR)

No FCIA-OT, um sistema de modularização é implementado para permitir a configuração flexível e personalizada das dimensões e dos recursos que compõem o framework. Cada módulo pode ser ativado ou desativado conforme a necessidade, facilitando a adaptação da análise e da avaliação a diferentes contextos e requisitos de objetos tecnológicos. Essa estrutura modular aumenta a eficiência e a precisão, pois permite que sejam carregados apenas os módulos pertinentes durante o processo de avaliação. A Tabela 4 apresenta as dimensões e os recursos disponíveis no FCIA-OT (configuração padrão) e detalha a funcionalidade de ativação. Quando configurado como “1”, o módulo ou recurso está ativo e será incluído na análise e na avaliação; quando configurado como “0”, o módulo é desativado e, portanto, não será utilizado. Esse controle modular permite uma abordagem mais focada e eficaz na avaliação de objetos tecnológicos, promovendo a adaptabilidade do framework a diversas aplicações.

TABELA 4: SISTEMA DE MODULARIZAÇÃO E RECURSOS (SMR)

M/R	Dimensões	Ativo	Descrição
M1	Conhec./ Experiências	1	Avaliar como o conhecimento e a experiência do agente influenciam a utilização, o desempenho e o aproveitamento do artefato do objeto em análise.
M2	Requisitos de Objetos e de Artefatos	1	Estabelecer, mensurar e avaliar requisitos técnicos e operacionais específicos para a análise dos objetos e artefatos em questão.
M3	<i>Affordance</i>	1	Examinar as <i>affordances</i> percebidas e físicas do artefato do objeto, identificando como estas impactam a interação do agente e refletem a eficácia do design.
M4	Percepção	1	Analisar a percepção do agente sobre o artefato do objeto, verificando como suas impressões cognitivas e sensoriais afetam a interação e o desempenho.
M5	Afetividade	1	Mensurar as reações emocionais do agente durante a interação com o artefato do objeto tecnológico, considerando aspectos como satisfação emocional e envolvimento.
M6	Satisfação	1	Avaliar a satisfação do agente com o uso do artefato do objeto, integrando dimensões funcionais, emocionais e de usabilidade.
M7	Efetividade	1	Mensurar a capacidade do artefato do objeto em atingir os objetivos definidos, avaliando a eficácia e o impacto funcional da interação.
M8	Gravidade de Erros	1	Mensurar a severidade e o impacto de erros ocorridos durante o uso do artefato do objeto, considerando suas implicações na experiência e nos resultados.
M9	Graus de Risco	1	Avaliar os riscos associados ao uso do artefato do objeto, considerando segurança, confiabilidade e possíveis consequências adversas.
M10	Atributos	1	Avaliar as propriedades físicas, funcionais e técnicas essenciais do artefato do objeto, verificando sua adequação e conformidade com os parâmetros estabelecidos.
M11	Acessibilidade	1	Mensurar o nível de acessibilidade do artefato do objeto, avaliando se atende a

			critérios de usabilidade universal e se é inclusivo para agentes com diferentes necessidades.
M12	Tecnologia QRSUER	1	Avaliar os aspectos de sustentabilidade, impacto ambiental e ecológico do artefato do objeto, promovendo a conformidade com práticas sustentáveis e normas relevantes.
M13	SPMI Inteiro	1	Sistema avançado de pontuação com números inteiros. Permite a aplicação de pontos para cada elemento (critério) na análise e avaliação.
M14	SPMI Decimal	0	Sistema avançado de pontuação com números inteiros e decimais. Permite a aplicação de pontos para cada elemento (critério) na análise e avaliação.
M15	SCDMIC	1	Sistema avançado de classificação e categorização de pontuação, métricas e scores por cores. Permite a aplicação de pesquisas através de suas cores estabelecidas nas faixas de pontuação.
M16	SGUI	1	Sistema avançado para definir a abrangência, classificação e posicionamento do objeto tecnológico em níveis de métricas relacionadas às faixas de pontuação baseadas em padrões técnicos. Essa estrutura possibilita a realização de análises quantitativas sistemáticas, permitindo a avaliação objetiva e comparativa dos elementos considerados.
M17	SCMI	1	Mensurar a criticidade técnica proporcional dos elementos avaliados em cada dimensão, considerando sua gravidade, impacto funcional e valor operacional. Permite identificar artefatos de baixa frequência e alta relevância.
M18	SIDyCP	1	Realizar inferência dinâmica de campos perceptivos a partir dos dados analíticos gerados durante a interação, identificando padrões sensorio-cognitivos em tempo real. Permite detectar variações perceptuais e gerar campos vetoriais que representam o comportamento interativo do agente frente ao objeto tecnológico.
M19	MEAPs	1	Sistema avançado para construir e gerenciar perfis de personas com base nos dados extraídos das 12 dimensões avaliativas, possibilitando a definição de diferentes perfis para análises direcionadas e aplicação prática.
R20	Relato	1	Permitir a criação de descrições específicas sobre o desempenho e as características do artefato do objeto, sintetizando os resultados das análises realizadas.
R21	Descrição/Sugestão	1	Proporcionar a criação de descrições abrangentes e sugestões técnicas baseadas nas análises realizadas, visando aprimoramentos no artefato do objeto.
R22	Assistida	1	Proporcionar ao agente a possibilidade de uma análise assistida, detalhando etapas críticas e fornecendo suporte técnico durante a interação.
R23	PCD	1	Identificar se o agente apresenta necessidades, restrições ou deficiências que influenciem a interação com o artefato do objeto.
R24	Imagem	1	Permitir a anexação de imagens como recurso complementar à análise e à avaliação. Esse recurso amplia a descrição dos dados e informações ao incorporar representações visuais do artefato do objeto, favorecendo a documentação detalhada e a contextualização visual da interação. As imagens agregam evidências empíricas que enriquecem a interpretação dos resultados e aumentam a precisão da análise técnica.
R25	Áudio	0	Viabilizar o registro e a incorporação de informações sonoras durante a análise do artefato do objeto. Esse recurso possibilita captar descrições verbais, <i>feedbacks</i> auditivos ou registros de interações que envolvem dimensões sonoras. Sua utilização contribui para documentar nuances da experiência e ampliar a confiabilidade dos dados coletados, fornecendo uma camada complementar de evidências na avaliação.
R26	Vídeo	0	Permitir a gravação e anexação de vídeos como recurso analítico avançado. Esse recurso assegura a captura integral das interações do agente com o artefato do objeto, registrando tanto aspectos comportamentais quanto contextuais da experiência. O uso de vídeos proporciona uma análise multimodal mais precisa, permitindo revisões posteriores, triangulação de dados e maior robustez na avaliação comparativa.
R27	SEA	1	Sistema de Estratificação Analítica (SEA). Habilita três camadas distintas de análise e avaliação tecnológica, classificadas como Análise e Avaliação do Agente Final (AA-AF) , Análise e Avaliação Assistida por Técnico ou Espe-

		<p>cialista (AA-AE) e Laudo Técnico Analítico por Engenheiro (LT-AE). Cada camada representa um nível específico de escopo, profundidade e responsabilidade técnica, permitindo ao framework ajustar dinamicamente seus instrumentos e relatórios de acordo com a finalidade e a natureza da investigação. Essa estratificação rompe com as limitações das escalas tradicionais e frameworks híbridos recentes, oferecendo adaptabilidade, rigor científico e comparabilidade entre níveis de avaliação. Permite a produção de análises precisas e configuradas por nível de exigência técnica, permitindo reprodutibilidade científica, comparabilidade entre análises e aplicação em contextos de uso, normativos ou periciais.</p>
--	--	--

M: Módulo. **R:** Recurso.

Fonte: Autor.

6 DIRETRIZES TÉCNICAS: MODOS DE APLICAÇÃO DO FCIA-OT EM CENÁRIOS AVALIATIVOS MULTIPLATAFORMA

A aplicação técnico-operacional do FCIA-OT exige diretrizes metodológicas que contemplem a complexidade das configurações avaliativas, os arranjos entre os agentes envolvidos e a diversidade funcional dos objetos tecnológicos em análise. Esta seção estabelece os fundamentos técnicos para a implementação do framework em cenários estruturados em diferentes níveis, considerando a variabilidade técnico-funcional dos ambientes, as tipologias formais de agentes (final, técnico, especialista e não humano) e os múltiplos esquemas de interações tecnológicas observáveis.

A lógica de aplicação segue os requisitos estabelecidos por desenvolvedores, fabricantes ou responsáveis técnicos da tecnologia-alvo, mas expande sua capacidade operativa por meio da articulação sistemática entre os Requisitos de Objetos e os Requisitos de Artefatos de Objetos, que constituem a base inteligente e adaptável do framework.

Esse conjunto de diretrizes assegura que o FCIA-OT mantenha sua integridade metodológica e máxima consistência técnico-científica, adaptando-se, com rigor e precisão, a distintas demandas avaliativas, conforme as exigências operacionais, contextuais e interacionais que caracterizam cada cenário de aplicação.

A seguir, são descritos os principais modos técnico-operacionais de aplicação do FCIA-OT, detalhados conforme as particularidades dos contextos avaliativos, dos perfis dos agentes envolvidos e dos arranjos de interação tecnológica. O **Caso 1** constitui a **estrutura processual de referência**, aplicável como base aos demais modos, que variam conforme a natureza da avaliação (técnica, assistida, observacional, especializada, adaptativa ou voltada a agentes não humanos).

6.1 Caso 1 – Aplicação Técnica Direta com Base no Modelo de Lançamentos Estruturados

O agente avaliador (final, técnico ou especialista) inicia o processo definindo seu nível de conhecimento em relação à tecnologia-alvo conforme a natureza do item tecnológico em análise. O fluxo técnico do FCIA-OT neste modo envolve as seguintes etapas:

- 1 Definição do Tipo de Análise, conforme o objetivo definido pelo fabricante/desenvolvedor (uma única vez no início da análise e avaliação).
- 2 Definição do nível de conhecimentos/experiências com o artefato, conforme a dimensão Conhecimentos/Experiências;
- 3 Seleção dos requisitos estruturais nas dimensões Requisitos de Objetos e Requisitos de Artefatos de Objetos;
- 4 Escolha da pontuação técnica inicial para o artefato analisado;
- 5 Registro descritivo estruturado, contendo o Relato técnico inicial sobre o artefato, ocorrência, uso ou condição observada;
- 6 Seleção de elementos nas Dimensões Analíticas, *Affordance*, Percepção, Afetividade, Satisfação, Efetividade, Gravidade de Erros e Graus de Risco, com base em critérios validados na literatura técnico-científica;
- 7 Indicação de requisitos condicionais ou necessidades especiais em relação ao artefato “Pessoa com Deficiência (PCD)”, quando aplicável;
- 8 Complementação do relato técnico, com descrições e/ou sugestões, identificando tipos de necessidade especial e de readequações ou melhorias na tecnologia;
- 9 Atribuição de pontuações adicionais, conforme aplicável, nas dimensões Atributos, Acessibilidade e Tecnologia QRSUER.

Todas as dimensões do framework utilizam o SPMI e o SCDMIC, o que assegura a uniformidade na avaliação e a visualização graduada das ocorrências.

O processo pode ser replicado para o mesmo artefato em diferentes momentos, contextos ou sob distintos requisitos de análise, ampliando a profundidade e a rastreabilidade técnica das avaliações. Esse modo constitui a forma mais completa, estruturada e extensiva de uso do FCIA-OT, servindo de base para os demais.

6.2 Caso 2 – Aplicações Técnicas Específicas

Avaliação Técnica Especializada: O agente técnico conduz a avaliação direta da tecnologia-alvo por meio de testes controlados e procedimentos sistemáticos, voltados à análise de variáveis como desempenho, desgaste, robustez funcional, eficiência, eficácia, ocorrência de falhas, gravidade de erros e riscos operacionais. Os registros seguem a estrutura do Caso 1, com ênfase em critérios objetivos e mensuráveis.

6.3 Caso 3 – Aplicações Assistidas de Uso

Avaliação Assistida com Agente(s) Final(is): O agente especialista atua de forma assistida, observando, mediando ou facilitando a interação entre o(s) agente(s) final(is) e o artefato tecnológico. Os dados são registrados conforme o fluxo técnico do Caso 1, com adaptações específicas ao cenário observado.

Avaliação Assistida com Agente(s) Final(is) com Necessidades Especiais ou Deficiência (PCD): Similar ao caso anterior, porém com foco em agentes com limitações motoras, sensoriais, cognitivas ou múltiplas. A análise incorpora marcadores específicos de acessibilidade e requisitos diferenciados, contribuindo para ajustes funcionais e inclusão tecnológica, sempre com base nas 12 dimensões do FCIA-OT.

6.4 Caso 4 – Aplicações Sistêmicas de Monitoramento

Avaliação Sistêmica Adaptativa: Aplicações voltadas ao monitoramento periódico ou contínuo de tecnologias com características adaptativas, de ambientes reconfiguráveis ou de ajustes sensíveis ao perfil do agente. O agente técnico ou especialista observa e registra o desempenho adaptativo do sistema, com base nos elementos técnicos das 12 dimensões e nos critérios do Caso 1.

6.5 Caso 5 – Aplicações Voltadas a Agentes Não Humanos

Avaliação Assistida com Robôs (Individuais ou em Grupo): A avaliação assistida com robôs, conduzida por agente técnico ou especialista, fundamenta-se na observação sistemática e no registro analítico das interações estabelecidas entre o(s) sistema(s) robótico(s), operando de forma autônoma, semi-autônoma ou remotamente controlada, e o artefato tecnológico-alvo. A aplicação pode ser realizada de forma individual (com um único robô) ou em configuração coletiva (com múltiplos robôs interagindo simultaneamente), exigindo delineamentos avaliativos compatíveis com a complexidade operacional envolvida. A estrutura técnico-processual segue o modelo estabelecido no Caso 1, com adaptações voltadas às particularidades funcionais, sensoriais e computacionais dos sistemas robóticos.

Avaliação Assistida com Animais (Individuais ou em Grupo): O agente técnico ou especialista realiza a avaliação com base na observação da interação entre os animais e o artefato tecnológico, identificando respostas comportamentais, padrões de uso, níveis de aceitação ou rejeição. Substituições experimentais de artefatos (variações de materiais, formas, cores ou texturas) podem ser empregadas para ampliar a análise. Os dados são lançados com base nos elementos técnicos das 12 dimensões e nos critérios do Caso 1. Este modo visa apoiar o desenvolvimento de tecnologias voltadas

ao bem-estar, à segurança e à funcionalidade específicas para espécies ou grupos de animais.

A amplitude metodológica e a precisão operacional dos modos de uso do FCIA-OT refletem o rigor metodológico e a aplicabilidade técnica avançada do framework em múltiplos cenários avaliativos. Cada configuração descrita traduz o compromisso do modelo com a adaptação inteligente às especificidades dos contextos, à tipologia formal dos agentes e às exigências funcionais e interacionais dos objetos tecnológicos. A estrutura articulada à flexibilidade analítica proporcionada pelas 12 dimensões e integrada aos sistemas SPMI, SCDMIC, SGUI, SCMI, MEAPs e SIDyCP, confere ao FCIA-OT uma posição original e diferenciada como instrumento técnico-científico para avaliação, auditoria, diagnóstico, classificação e reengenharia de artefatos tecnológicos em ambientes reais, híbridos ou assistidos.

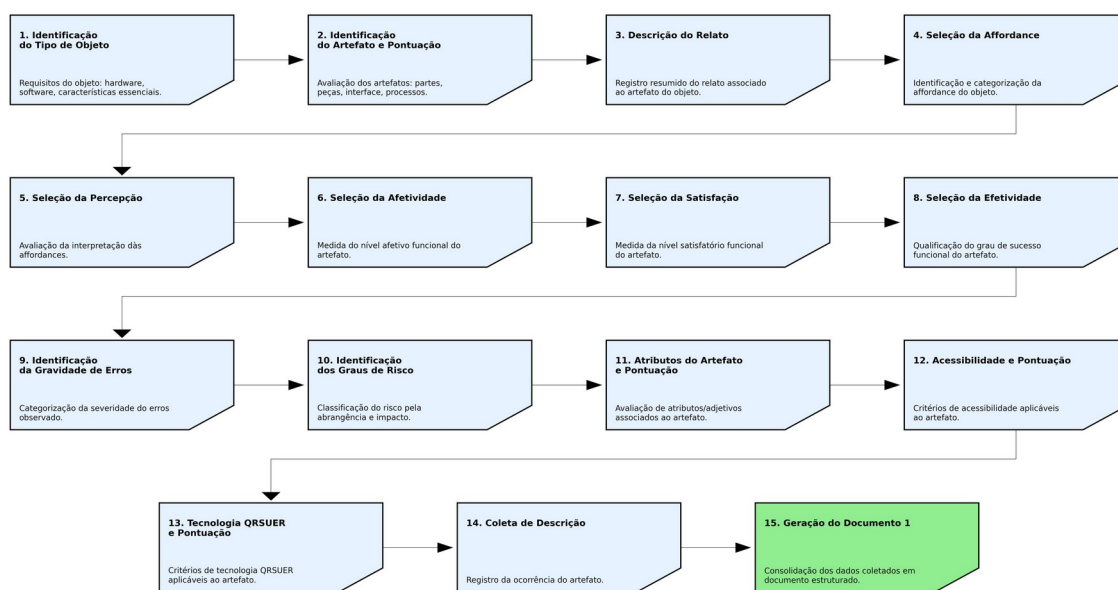
7 ESTUDOS DE CASO: APLICABILIDADE DO FCIA-OT

A aplicabilidade do FCIA-OT foi analisada em um estudo de caso envolvendo sistemas de complexidade diversa, incluindo um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de arquitetura multicomponente. O estudo de caso conduzido apresenta natureza técnico-analítica, voltada à avaliação de artefatos sob as perspectivas arquiteturais, funcionais e operacionais.

Os dados analisados correspondem a registros de desempenho e ocorrências operacionais derivados de processos estruturais, funcionais e contextuais do artefato. Esses registros foram encaminhados por um responsável técnico, seguindo as diretrizes e o formato de apontamentos estabelecidos pela estrutura analítica do framework para fins de verificação e validação metodológica. O método adotado baseia-se em uma estrutura analítica de caráter técnico e sistemático, na qual cada registro de ocorrência é tratado como uma instância de avaliação do artefato em contexto de uso.

As pontuações atribuídas expressam a aplicação dos critérios definidos pela matriz de análise, garantindo consistência, rastreabilidade e uniformidade entre o evento observado e o valor registrado. Essa configuração assegura que a interpretação dos dados seja fundamentada em parâmetros mensuráveis e replicáveis, com foco no desempenho, nos efeitos e nas propriedades do objeto tecnológico. A Figura 7 apresenta a sequência das etapas dos lançamentos técnicos em conformidade com a lógica estrutural e inferencial do FCIA-OT, o que resulta em fidelidade metodológica, consistência analítica e uniformidade na aplicação do framework aos diferentes sistemas avaliados.

FIGURA 7: FLUXO SEQUENCIAL DAS ETAPAS DE APONTAMENTOS/LANÇAMENTOS DO FCIA-OT



Encadeamento das operações que estruturam o processo de Análise e Avaliação no âmbito do FCIA-OT, desde a coleta de informações sobre os objetos de análise, passando pela classificação e qualificação das interações e dos artefatos, até a avaliação técnica de atributos, erros, riscos e critérios de acessibilidade e tecnologia. Os dados são consolidados em um Documento 1, o que encerra o ciclo analítico-avaliativo. A sequência evidencia o princípio metodológico de continuidade e rigor operacional, permitindo a rastreabilidade entre as instâncias empírica, analítica e documental do processo.

A estrutura consolidada de um lançamento técnico, cujas etapas são apresentadas na Figura 7, é exemplificada na Figura 8, que representa a unificação das variáveis avaliativas em um único vetor encapsulado criptograficamente. Esse vetor sintetiza os resultados parciais das dimensões técnicas, de usabilidade, interacionais e operacionais, possibilitando o envio seguro dos dados ao núcleo analítico do framework.

FIGURA 8: REPRESENTAÇÃO VETORIAL DO LANÇAMENTO TÉCNICO (VANT)

```

15 {
|#SEC|#SEC|#SEC|
|1,2:Estrutura
|3:Chassi não projetado para pouso com carga; RQA:-5|4
|4:-5|4
|5:-5|4
|6:-3|4
|7:-1|3
|8:-3|3
|9:3|3
|10:5|4
|11:ATB01:-4|4|;ATB04:-3|4
|13:-3|4|;-2|4
|14:Estrutura precisa suportar operações com carga útil;
ausência compromete segurança operacional|
|#SEC|#SEC|#SEC|
}

```

Apresenta o modelo consolidado de dados no formato criptograficamente encapsulado, com os marcadores #SEC indicando as zonas de segurança do protocolo FCIA-OT. Cada identificador de etapa reflete o resultado numérico de um módulo avaliativo, reunindo suas dimensões estruturais. A última sequência numérica refere-se ao código numérico da representação cromática da pontuação.

A representação vetorial descrita constitui a base de cálculo do sistema de pontuação do FCIA-OT. Cada vetor é processado pelo mecanismo analítico que pondera as inter-relações entre dimensões, atributos e variáveis de criticidade, gerando valores consolidados de desempenho e risco. Essa estrutura permite a quantificação precisa da maturidade técnica e operacional, convertendo informações empíricas em dados numéricos interpretáveis com rigor científico.

A partir dessa base, aplicam-se as equações analíticas que estruturam o processo de cálculo, integrando as ponderações entre dimensões e variáveis de criticidade para derivar os índices consolidados de desempenho e maturidade. O processo avaliativo foi concebido de forma multiescalar e iterativa, articulando métricas por meio dos sistemas SPMI, SGUI e SCMI, com representação cromática gerada pelo SCDMIC. Essa integração operacional permite interpretar o desempenho técnico, perceptivo e operacional de forma holística, assegurando rastreabilidade e comparabilidade entre os casos avaliados.

Para demonstrar a aplicação prática das equações de cálculo, foi selecionado um recorte (Tabela 5) da base empírica do estudo do sistema VANT, utilizado originalmente no artigo de referência. Esse recorte contempla as ocorrências associadas aos Atributos (ATB), constituindo o conjunto necessário para exemplificar a operacionalização dos cálculos e a derivação dos índices SGUI e SCMI.

TABELA 5: ANÁLISE SISTÊMICA E CRÍTICA POR ELEMENTO DO VANT (RECORTE ATB)

ATB	Vetor/Elemento	Ocorrências (SPMI)	SGUI %	SCMI %
ATB01	Usabilidade	3 [-4, -4, -4 = -12]	3/48 = 6,25%	-12/-54 = 22,22%
ATB03	Eficiência	3 [-3, -3, -3 = -9]	3/48 = 6,25%	-9/-54 = 16,67%
ATB04	Funcionalidade	5 [-2, -3, -3, -3, -5 = -16]	5/48 = 10,42%	-16/-54 = 29,63%
ATB07	Controlabilidade	1 [-2]	1/48 = 2,08%	-2/-54 = 3,70%
ATB10	Conformidade	3 [-3, -5, -5 = -13]	3/48 = 6,25%	-13/-54 = 24,07%
ATB11	Estabilidade	1 [-2]	1/48 = 2,08%	-2/-54 = 3,70%
Total	6 ATB	16 lanç. / -54	33,33%	100%

Nota: Ocorrências indicam o número de registros do elemento entre os 48 lançamentos do estudo de caso. **SPMI** representa a soma dos pesos críticos atribuídos ao elemento (escala de -5 a 10).

SGUI = (Frequência_elemento / \sum Frequências_todos) \times 100.

SCMI = (SPMI_elemento / \sum SPMI_todos) \times 100.

Os valores negativos do SPMI indicam impacto adverso; o SCMI é expresso em módulo percentual para representar a proporção relativa da criticidade.

O cálculo **SGUI (ATB4) = 5/48 \times 100 = 10,42%** indica que a funcionalidade representa 10,42% das ocorrências totais no universo analisado. O cálculo **SCMI (ATB4) = -16/-54 \times 100 = 29,63%**, evidencia que esse atributo concentra 29,63% do peso crítico agregado no conjunto ATB, caracterizando-se como um vetor de alta influência sistêmica na estrutura de maturidade técnica do VANT. Esse resultado demonstra que, embora sua frequência relativa seja moderada, a intensidade dos valores atribuídos confere à funcionalidade um papel determinante na composição global do desempenho técnico-operacional do sistema.

Observa-se que os módulos SGUI e SCMI operam de forma complementar, permitindo a correlação direta entre a frequência de ocorrência e o peso crítico relativo. Essa interação métrica amplia a capacidade inferencial do FCIA-OT, possibilitando identificar não apenas a representatividade estatística, mas também a densidade técnica dos elementos avaliados. Assim, o modelo não se limita a quantificar a recorrência de funcionalidades ou falhas, mas também traduz a intensidade de seus impactos sobre o desempenho e a maturidade sistêmica do artefato analisado.

Cada sistema desempenha funções complementares dentro dessa arquitetura analítica: o SPMI fornece uma avaliação detalhada das dimensões interacionais e dos atributos técnicos; o SGUI qualifica aspectos de usabilidade e experiência; o SCMI apoia a interpretação da criticidade operacional; e o SCDMIC traduz os resultados em codificação cromática, evidenciando áreas de risco, excelência ou fragilidade, sem necessidade de representações externas. Essa integração metodológica consolida um ecossistema avaliativo autossuficiente, de natureza técnico-interpretativa, capaz de produzir diagnósticos consistentes e comparáveis entre sistemas heterogêneos.

A integração entre análise sistêmica e modular demonstrou amplitude e precisão diagnóstica, permitindo a classificação de zonas de excelência, instabilidade e criticidade em diferentes contextos tecnológicos. A validação empírica do framework, conduzida por meio dos lançamentos técnicos, revelou falhas, vulnerabilidades e padrões de criticidade em aplicações reais, confirmando a robustez analítica e a confiabilidade inferencial do modelo. Os resultados obtidos demonstram que o FCIA-OT oferece diagnósticos precisos e promove a transferência de conhecimento do campo real para o ambiente de desenvolvimento, fortalecendo a engenharia corretiva e preventiva com base em evidências quantitativas e rastreáveis.

Os resultados consolidados evidenciam que o FCIA-OT estabelece um padrão elevado de avaliação e de diagnóstico técnico, combinando amplitude metodológica,

precisão quantitativa e profundidade interpretativa. Sua arquitetura modular multiescalar possibilita análises consistentes de sistemas heterogêneos, desde interfaces de software até plataformas de alta complexidade operacional. Os resultados dos três estudos de caso confirmam a capacidade do framework de identificar falhas críticas, antecipar riscos e orientar intervenções de reengenharia, com auditabilidade. Isso o posiciona como um instrumento para a adoção de boas práticas, a padronização técnica e os avanços aplicados em ambientes complexos. Esta seção foi elaborada com base em Salomão, M. B. (2025). Application of the integrated and advanced core framework for the analysis and evaluation of technological objects (FCIA-OT). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 149–203). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529084>

8 DIRETRIZES: GERENCIAMENTO DAS ANÁLISES E AVALIAÇÕES

O gerenciamento das análises e avaliações no escopo do FCIA-OT constitui uma etapa estratégica do ciclo metodológico, voltada à recepção estruturada de dados, à interpretação qualificada e à aplicação sistemática de soluções. Essa fase fundamenta-se em procedimentos metodológicos estruturados que viabilizam a identificação precoce de falhas, a análise criteriosa de eventos críticos e a orientação de decisões projetuais sustentadas por evidências.

A antecipação do processo avaliativo, conforme Neal & Simons (1984), permite que protótipos, mesmo rudimentares, sejam testados em ambientes controlados, desde que acompanhados de métricas adaptadas a agentes não especializados. Landauer (1988) complementa ao afirmar que a avaliação formativa deve integrar-se às fases iniciais do desenvolvimento, com objetivos claros, delineamentos experimentais robustos e análises estatísticas consistentes, prevenindo retrabalho e ineficiências. Nesse sentido, Perlman (1990) destaca a relevância da prototipação iterativa, associada a avaliações empíricas e preditivas contínuas, o que assegura o refinamento progressivo do artefato.

O foco na análise de comportamentos críticos é reforçado por Wright & Monk (1991), que identificam o valor dos comentários espontâneos dos usuários como reveladores de intenções não realizadas e de falhas não detectadas por métodos formais. Em cenários de alta complexidade projetual, Barnard & May (1999) defendem que a avaliação deve integrar fenômenos perceptivos, motores, afetivos e cognitivos, dada a interdependência desses fatores na experiência interativa.

Do ponto de vista operacional, Gabbard et al. (2003) apontam que a engenharia de usabilidade, quando aplicada de forma sistemática, amplia a eficácia, a eficiência e a segurança dos sistemas, além de reduzir custos por evitar intervenções tardias. Khalid (2006) amplia essa perspectiva ao incluir variáveis afetivas, ressaltando que a mensuração de respostas emocionais é metodologicamente desafiadora, mas essencial para um design integral. Rosenbaum (2008) acrescenta que a gestão estruturada do conhecimento avaliativo maximiza o retorno sobre investimentos em usabilidade por meio da reutilização e recuperação de dados qualificados, otimizando decisões técnicas e estratégicas.

Aspectos perceptivos também influenciam julgamentos funcionais, como mostram Hassenzahl & Monk (2010), ao evidenciar que, na ausência de contato físico com o produto, atributos como estética e proporção visual orientam inferências sobre usabilidade. Weichbroth (2020), por sua vez, alerta para a necessidade de distinguir o desempenho do sistema do desempenho do usuário, evitando medições ambíguas que comprometam a validade dos resultados.

O processo no FCIA-OT adota um fluxo iterativo, no qual análises individuais e coletivas resultam em relatórios técnicos direcionados a equipes multidisciplinares especializadas, abrangendo o desenvolvimento de hardware e software, a acessibilidade e a integração com agentes. A partir dessas análises, é elaborado um conjunto estruturado de procedimentos técnicos, que define os planos de ação destinados à mitigação de erros, redução de riscos, implementação de melhorias e resolução de problemas físicos e lógicos. Esse documento, desenvolvido segundo critérios técnicos e normativos elevados, assegura que as soluções estruturais priorizem eficiência, eficácia e conformidade, enquanto as soluções funcionais observem padrões consolidados de engenharia, modularização e escalabilidade.

O alinhamento contínuo entre equipes, gestores e stakeholders, somado à execução paralela de ações e análises, reforça a capacidade do FCIA-OT de integrar diferentes áreas de especialidade e promover melhorias substanciais em produtos e

serviços. Essa abordagem multidimensional garante que os objetos tecnológicos apresentem alto desempenho, confiabilidade e aderência às demandas do mercado, consolidando o gerenciamento das análises e avaliações como o núcleo decisório e operacional do framework. Este capítulo foi elaborado com base em Salomão, M. B. (2025). FCIA-OT architecture: Advanced operational management and multidimensional control of usability and interaction. In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 262–285). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529088>

9 DISCUSSÃO

O gerenciamento contínuo da usabilidade e da interação no FCIA-OT contribui para a consolidação de um aparato técnico-científico complexo, com foco na precisão metodológica. Estruturado como uma plataforma centralizada de integração, o framework combina módulos e submódulos operacionais para avaliar, diagnosticar, priorizar e reconfigurar objetos tecnológicos de forma responsiva, iterativa e orientada por critérios normativos.

A formulação de métodos de avaliação robustos fundamenta-se nos critérios de validade, *thoroughness* e confiabilidade descritos por Andre, Williges & Hartson (1999), que asseguram a identificação precisa e consistente de problemas relevantes, com abrangência suficiente para capturar falhas reais. A ausência de um Método de Avaliação de Usabilidade (UEM) estruturado limita a comparabilidade dos resultados, ao passo que sua *thoroughness* possibilita a detecção de um amplo espectro de problemas. Essa preocupação com a organização metodológica é reforçada por Andre et al. (2001), que alertam para os riscos da desestruturação dos registros, especialmente em contextos de mudança de equipes, e destacam a necessidade de categorização sistemática para diagnósticos precisos.

No início do processo projetual, Grinstein et al. (2003) defendem que a usabilidade deve ser incorporada como requisito fundador, pois a utilidade de uma ferramenta decorre diretamente da compreensão das necessidades do usuário. Em alinhamento, Liljegren (2006) aponta que a função central da avaliação de usabilidade é localizar, em situações de uso real, os problemas que comprometem a eficiência, a efetividade e a satisfação, sendo a frequência desses problemas um indicador da distância entre a interface e os princípios estabelecidos.

A integração de medidas objetivas e subjetivas proposta por Hornbæk (2006) amplia o alcance analítico, permitindo a captura de dados quantitativos, como tempo e taxa de erro, e de dados qualitativos relacionados à experiência do usuário. No campo da ação projetual, Wixon (2011) argumenta que métricas devem ser funcionalmente acionáveis, orientando ajustes específicos com base em evidências observacionais. Essa integração fortalece a convergência entre intenção de design e experiência final.

A dimensão comunicacional do processo é enfatizada por Tullis & Albert (2013), que atribuem à clareza na apresentação dos resultados a capacidade de guiar decisões de design de forma estratégica. O uso criterioso de métricas permite não apenas indicar problemas, mas também priorizá-los conforme o impacto e o custo da intervenção, estabelecendo um ciclo cumulativo de aprendizagem técnica.

A arquitetura do FCIA-OT operacionaliza esses princípios por meio de uma matriz integrada de 12 dimensões, que analisa aspectos técnicos, funcionais e contextuais de forma articulada. Essa matriz é complementada por sistemas de pontuação, escalas cromáticas, índices globais e críticos, análise por personas e dispositivos visuais que ampliam a interpretação dos resultados. A configuração confere ao framework *thoroughness* inédita no campo, possibilitando a identificação, hierarquização e tratamento de falhas tanto em nível microestrutural (atributos e componentes) quanto em nível macroestrutural (impactos éticos, sociais e ambientais).

O FCIA-OT propõe um avanço em relação às abordagens meramente descritivas, assumindo uma natureza diagnóstica, explicativa e prognóstica ao integrar variáveis de diferentes domínios, conforme demonstrado nos estudos de caso analisados, o que favorece sua aplicação em contextos transdisciplinares. Sua lógica modular e adaptável possibilita replicabilidade, escalabilidade e sustentabilidade operacional, posicionando o FCIA-OT como uma plataforma estratégica para inovação e suporte à decisão.

Com validade estrutural, consistência interna e generalização apresentadas nos estudos de caso, o FCIA-OT demonstra plena funcionalidade em cenários diversos, do ambiente digital ao físico, do uso individual a ecossistemas sociotécnicos complexos. A robustez de sua arquitetura sustenta intervenções precisas e auditáveis, configurando o FCIA-OT como avanço metodológico no gerenciamento contínuo da usabilidade e interação, com potencial para integração futura a sistemas de inteligência artificial aplicada, engenharia cognitiva e tecnologias autoadaptativas. Este capítulo foi elaborado com base em Salomão, M. B. (2025). FCIA-OT architecture: Advanced operational management and multidimensional control of usability and interaction. In M. B. Salomão (Ed.), FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects (pp. 262–285). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529088>

10 CONTRIBUIÇÕES CIENTÍFICAS, TECNOLÓGICAS E ESTRUTURAIS DA PESQUISA

Ao articular um sistema avançado de análise orientado por 12 dimensões operacionais, argumenta-se que o FCIA-OT é uma inovação estrutural e metodológica de ordem superior. Por fundamentar-se na MSDVI, o FCIA-OT organiza os elementos avaliativos em uma estrutura capaz de superar as limitações das abordagens tradicionais. Esse arranjo não apenas oferece soluções práticas e robustas, mas também contribui para a inauguração de uma nova forma de pensar, projetar e validar a interação entre agentes e objetos tecnológicos. A seguir, apresentam-se os principais eixos que sustentam as contribuições centrais deste trabalho.

10.1 Núcleo Estrutural do FCIA-OT

Abordagem Computacional Avançada: O FCIA-OT possibilita a construção de uma arquitetura computacional capaz de processar grandes volumes de dados em tempo real. Essa configuração supera os métodos fragmentados predominantes, ainda baseados em entrevistas pontuais, questionários isolados ou testes restritos. O framework possibilita rastreabilidade contínua, integração de dados em múltiplos níveis e visualizações analíticas acopladas a sistemas inteligentes, oferecendo suporte ao controle técnico e científico do processo avaliativo.

Integração de Múltiplas Dimensões: Diferentemente de modelos que focalizam apenas aspectos isolados da experiência ou da eficiência, o FCIA-OT adota uma perspectiva holística com 12 dimensões interdependentes: Conhecimentos/Experiência (CEX), Requisitos de Objetos (RQO) e de Artefatos (RQA), *Affordance* (AFF), Percepção (PRC), Afetividade (AFV), Satisfação (STSF), Efetividade (EFT), Gravidade de Erros (GVE), Graus de Risco (GSR), Atributos (ATB), Acessibilidade (ACB) e Tecnologia QRSUER. Essa abordagem possibilita uma análise complexa, adaptável e multiescalar, adequada à realidade de objetos tecnológicos contemporâneos, sejam físicos ou digitais.

Aplicabilidade e Praticidade: O FCIA-OT foi construído para responder à carência de métodos replicáveis e operacionalmente aplicáveis, integrando análises laboratoriais e de campo de forma adaptativa. Ajusta-se tanto à simplicidade quanto à alta complexidade dos objetos avaliados, mantendo coerência entre o rigor técnico e a flexibilidade operacional, atributos raramente observados em abordagens convencionais.

Validação Científica e Prática: A estrutura metodológica do FCIA-OT foi concebida para promover a validade, a confiabilidade e a rastreabilidade em múltiplos contextos. Fundamenta-se em requisitos formalizados, escalas técnicas e métricas objetivas que favorecem a replicabilidade e o controle dos resultados. A integração equilibrada de dados qualitativos e quantitativos, sustentada pela arquitetura dimensional, contribui para maior precisão nas análises e diagnósticos produzidos.

Estrutura Modular e Diagnóstica: O FCIA-OT não é apenas uma técnica pontual, mas um framework formal com capacidade diagnóstica. Aplica-se a todas as fases do desenvolvimento, do conceito inicial ao descarte final do produto, e pode ser validado com base em requisitos, artefatos e atributos técnicos. Seu núcleo atua como infraestrutura para análises sistemáticas, laudos técnicos, emissão de scores e avaliações contínuas, consolidando-o como uma ferramenta estratégica para a Engenharia da Usabilidade e Interação, com potencial normativo e científico.

10.2 Sistemas Técnicos Integrados

Sistema Estruturado das 12 Dimensões (MSDVI): Produz uma síntese técnica, derivada de múltiplos critérios, que gera indicadores quantitativos e qualitativos normatizados, aplicáveis a auditorias, validações e comparações técnicas.

Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado (SPMI): Atribui pontuações objetivas e escaláveis às dimensões do framework, com suporte a valores inteiros e decimais, considerando pesos, criticidade e faixas de aceitabilidade. Produz análises comparativas e estatísticas de alta acurácia.

Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores (SCDMIC): Vinculado ao SPMI, traduz os resultados em codificações cromáticas padronizadas, oferecendo visualização crítica do desempenho e de falhas.

Score Global de Usabilidade e Interação (SGUI): Consolida a presença relativa das 12 dimensões em métricas percentuais. O Score estruturado das 12 Dimensões é um padrão global, sistemático e rigoroso de classificação, posicionamento e definição do desempenho do constructo e de sua abrangência em faixas ou níveis de porcentagem, além de uma camada visual interativa que traduz os dados avaliativos em níveis e em representações dos valores (em gradações cromáticas para facilitar a interpretação).

Score Crítico Modular Integrado (SCMI): Identifica níveis críticos de falhas, erros ou riscos sistêmicos. Atribui pesos diferenciados às ocorrências, gera alertas classificatórios e orienta as priorizações corretivas ou preventivas, em sinergia com o SCDMIC.

Flexibilidade Técnica de Escalas: As tabelas de requisitos e artefatos são configuráveis conforme a complexidade do objeto analisado, preservando a coerência metodológica e garantindo a interoperabilidade entre os subsistemas.

10.3 Instrumentos Avançados de Avaliação e Interação

Documentação e Análise Avançada: Integra métricas objetivas e técnicas, gerando relatórios robustos, auditáveis e confiáveis.

Evolução Contínua e Longitudinal: Permite acompanhar o desempenho de um objeto ao longo do tempo, identificando melhorias ou falhas em diferentes versões e contextos, bem como no perfil do agente.

Feedback Qualitativo Integrado: Capta percepções e sugestões espontâneas de agentes avaliadores e incorpora dados não estruturados ao núcleo analítico.

Análise Assistida com Especialistas: Possibilita observação técnica em tempo real por profissionais especializados, ampliando a validade analítica em contextos críticos.

10.4 Inovações Educacionais e Teóricas Aplicadas

Modelo Estruturado e Avançado de Personas (MEAPs): Gera perfis dinâmicos a partir de dados objetivos e subjetivos, compatíveis com as 12 dimensões, aplicáveis em pesquisas e desenvolvimento tecnológico.

Proposta de Graduação em Engenharia da Usabilidade e Interação (EUSIN): Estrutura um curso superior inédito, formalizando a área como campo científico e profissional, com base nos fundamentos da ATI e do FCIA-OT, conforme Apêndice II.

Diretrizes Técnicas para Criação e Avaliação de Objetos Tecnológicos: Conjunto de princípios derivados do framework que orienta o design, a validação e a manutenção de sistemas centrados no agente.

10.5 Inovação Científica Emergente

Formalização das Três Leis da *Affordance*: Definidas no núcleo do FCIA-OT, as Três Leis, Acoplabilidade Algorítmica, Dependência de Trajetória e Reconfiguração Necessária, constituem fundamentos epistêmicos inéditos que explicam a emergência, a estabilidade e a reconfiguração das *affordances* como vetores diagnósticos e preditivos da interação técnico-agencial.

Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos (SIDyCP): Estruturado por equações diferenciais, o SIDyCP considera Campo Perceptivo (Ψ), Usabilidade ($U(t)$) e Dinâmica ($\partial\Psi/\partial t$), e traduz formalmente as Três Leis em variáveis computáveis, permitindo inferência contínua, quantificação empírica e reorganização adaptativa de padrões perceptivos. Essa articulação entre fundamentos epistêmicos e modelagem matemática inaugura uma base científica inédita para a avaliação e a simulação de sistemas interativos complexos.

10.6 Síntese e Consolidação das Inovações

A articulação dos cinco eixos demonstra que o FCIA-OT não é apenas um método avaliativo, mas também uma plataforma científica, técnica e operacional que integra fundamentos teóricos, sistemas computacionais, lógica interacional e modelos analíticos. Bem como, esta dissertação contribui a apresentar paralelamente uma proposta educacional concebida a partir dos princípios do FCIA-OT.

O estudo da ATI, estruturado pelo framework, consolida uma abordagem científica interdisciplinar com rigor técnico e aplicabilidade prática. Com a inclusão do SIDyCP, o FCIA-OT expande sua dimensão científica, formalizando a interação como um sistema dinâmico vetorial e estabelecendo bases para uma ciência matemática da usabilidade e da experiência interativa.

Assim, o FCIA-OT contribui em direção à definição de um novo padrão técnico e científico para a avaliação de objetos tecnológicos que devem ser: validados cientificamente, estruturados tecnicamente, aplicáveis profissionalmente, computacionalmente viáveis, formativos e teoricamente inovadores. Espera-se que, com a evolução desse novo padrão, seja possível responder às exigências contemporâneas de precisão, transparência e adaptabilidade, inaugurando um novo paradigma para a Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos e para a própria constituição da ATI como campo científico emergente e autônomo.

11 CONCLUSÃO

Ampliar a capacidade de análise, avaliação e síntese de sistemas tecnológicos complexos requer uma abordagem metodológica que transcenda os limites das ferramentas convencionais. A proposta do FCIA-OT representa um avanço técnico-científico rumo à transformação da forma como interações, usabilidades e utilidades são compreendidas, avaliadas e refinadas. Não se trata apenas de mapear elementos isolados, mas de integrar múltiplas dimensões, métricas e processos em uma arquitetura interoperável, modular e expansiva.

Sob essa perspectiva, Engelbart (1962) reconhece que a capacidade de resolver problemas é um dos recursos mais estratégicos para o desenvolvimento social. Qualquer possibilidade de ampliá-la demanda ação coordenada. O avanço do conhecimento e das tecnologias deve ser articulado à criação de sistemas que ampliem as capacidades intelectuais humanas. Iniciar esses esforços logo favorece o direcionamento da pesquisa e fortalece os meios para enfrentar problemas complexos com maior eficácia. A prioridade deve ser o desenvolvimento de métodos e sistemas que aprofundem a compreensão dos desafios e aprimorem as respostas a eles.

Ao reconhecer essa premissa, o FCIA-OT fundamenta-se na convicção de que aprimorar a inteligência coletiva e a ação técnica requer a criação de sistemas que ampliem diretamente as capacidades cognitivas e operacionais dos agentes. Ao integrar análise avançada a modelagens modulares e pontuações críticas, o framework permite interpretar fenômenos tecnológicos de maneira sistêmica e refinada. A Tabela 6 apresenta uma síntese técnico-epistemológica das inovações discutidas nesta pesquisa, organizando de forma estruturada os elementos que compõem a arquitetura do sistema FCIA-OT. Ao classificar os tipos de inovação e descrever tecnicamente cada componente, a tabela consolida os fundamentos conceituais, operacionais e sistêmicos do sistema proposto.

TABELA 6: INOVAÇÕES ESTRUTURANTES E EPISTEMOLÓGICAS DO SISTEMA FCIA-OT

Sistema	Elemento	Tipo de Inovação	Descrição Técnica
FCIA-OT	ATI – Interação Agente-Tecnologia	Conceitual, Epistemológica e Paradigmática	Transposição conceitual e paradigmática de IHC (Interação Humano-computador) para ATI (Agente-Tecnologia Interação), configurando uma abordagem mais ampla, relacional e tecnicamente ajustada. Propõe a renomeação do campo, deslocando o foco da relação humano-computador para uma ecologia sistêmica entre agentes e tecnologias. Fundamenta-se teoricamente no FCIA-OT e em sua estrutura integrada de análise e validação.
FCIA-OT	Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos	Conceitual, Arquitetural e Sistêmico	Framework Core Integrador. Núcleo articulador que integra todos os sistemas de análise e avaliação. Opera como base técnico-científica para organizar, processar e gerar diagnósticos sobre objetos tecnológicos, articulando métricas, escalas e perfis de forma modular, escalável e interoperável. Permite síntese avançada de dados.
FCIA-OT	Matriz Sistêmica de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI)	Metodológica e Estrutural. Subjetivo-Objetiva	Estrutura multidimensional com 12 dimensões independentes e integráveis, cada uma com seus próprios elementos e métricas. Oferece base analítica rigorosa para avaliação de artefatos e interações. Permite personalização, recombinação e ampliação sistemática das análises.

FCIA-OT	Três Leis da <i>Affordance</i> (Acoplabilidade e Algorítmica, Dependência de Trajetória e Reconfiguração ou Necessária)	Epistêmica e Teórico-Fundacional	Formalização inédita de princípios que explicam a emergência, a estabilidade e a reconfiguração das <i>affordances</i> em sistemas interativos. Estruturam a base teórica do FCIA-OT, orientando tanto a modelagem matemática (SIDyCP) quanto a aplicação metodológica das métricas. Fundamentam a interpretação crítica da interação agente-tecnologia em termos dinâmicos e adaptativos.
FCIA-OT	SPMI – Sistema de Pontuação Multidimensional Modular Integrado	Métrica Escalar	Escala técnica de -5 a 10 que capta valência subjetiva e objetiva atribuída a elementos por agentes. Permite representar efeitos positivos e negativos em análises. Mede impacto modular ao associar pesos à ocorrência, sendo versátil e aplicável a múltiplos contextos.
FCIA-OT	SGUI – Score Global de Usabilidade e Interação	Métrica Aplicada e Classificatória	Métrica percentual de presença relativa de elementos. Calculada com base em frequência absoluta nas dimensões. Não admite valores negativos. Atua como classificação leve, visual, que revela maturidade ou ausência de interação/usabilidade, sem atribuir peso crítico.
FCIA-OT	SCMI – Score Crítico Modular Integrado	Métrica Ponderada Crítica e Diagnóstica	Score percentual calculado sobre o SPMI. Indica a contribuição crítica de cada elemento ao total da dimensão, com peso técnico por gravidade ou importância. Aceita valores negativos. É um refinamento diagnóstico para mensurar riscos, falhas e relevâncias.
FCIA-OT	SCDMIC – Sistema de Classificação e Definição Modular Integrado de Cores	Métrica Visual e Diagnóstico Volumétrico	Escala cromática interpretativa que classifica níveis críticos (verde, amarelo, laranja e vermelho, e o azul condicional). Mede volume e intensidade diagnóstica por cor. Não é puramente visual: traduz dados complexos em visualizações críticas com forte impacto interpretativo para decisões.
FCIA-OT	MEAPs – Modelo Estruturado e Avançado de Personas	Computacional, Analítico, Estrutural	Modelo computacional que gera perfis digitais completos a partir dos dados da Matriz 12D e métricas integradas. Produz personas técnicas, rastreáveis e dinâmicas com base em dados reais. Estrutura-se com base em interações, pesos, frequências e avaliações.
FCIA-OT	SIDyCP – Sistema de Inferência Dinâmica de Campos Perceptivos	Matemática Epistêmica da Interação Técnica e Inferência Computacional	Sistema técnico-matemático que formaliza a interação agente-tecnologia como campo dinâmico vetorial. Estruturado por equações diferenciais (Ψ , $U(t)$, $\partial\Psi/\partial t$), permite inferência contínua sobre dados coletados e avaliação em tempo real, unificando <i>affordances</i> físicas, culturais e computacionais. Opera sobre logs e padrões de interação, promovendo auditoria, análise de colapsos perceptivos e reconfiguração adaptativa em sistemas inteligentes e multiagente, consolidando base teórico-computacional inédita para percepção técnica distribuída.
FCIA-OT	EUSIN – Engenharia da Usabilidade e Interação	Educacional, Profissional, Institucional	Proposta de graduação inovadora para formar engenheiros especializados em usabilidade e interação. Estrutura currículo técnico e normativo baseado no FCIA-OT, preparando profissionais para criar, avaliar e auditar sistemas interativos de forma avançada. Formaliza um novo campo de atuação.

Síntese das inovações que compõem o Sistema FCIA-OT, evidenciando seus elementos técnico-conceituais, estruturais e métricos. Cada inovação representa um avanço metodológico, epistemológico ou sistêmico, consolidando uma arquitetura integrada, escalável e crítica para análise e avaliação de objetos tecnológicos e suas interações. O sistema articula 11 inovações estruturantes, cada uma com subcomponentes e mecanismos inéditos interligados.

Fonte: Autor.

A arquitetura do sistema proposto vai além dos modelos tradicionais de avaliação ao propor uma lógica de engenharia epistêmica aplicada, na qual cada componente se alinha a uma finalidade operacional e analítica específica. A contribuição

do FCIA-OT não reside apenas na sofisticação técnica, mas também na capacidade de transformar dados em decisões, diagnósticos e sínteses adaptativas. Ao estabelecer terminologia técnica própria para a análise de objetos tecnológicos, o sistema, sustentado em uma matriz multidimensional de 12 eixos analíticos, contribui para uma perspectiva mais crítica e aplicável, voltada ao presente e aos desafios projetivos das próximas gerações tecnológicas.

11.1 Trabalhos Futuros

O desenvolvimento futuro do Framework Core FCIA-OT concentra-se na consolidação de sua aplicabilidade e na ampliação de suas capacidades operacionais. Essa projeção estratégica busca fortalecer a estrutura com funcionalidades avançadas, integração a abordagens emergentes e adaptação a ecossistemas tecnológicos complexos e heterogêneos.

Aplicação Sistemática em Domínios Estratégicos:

O FCIA-OT oferece uma base estruturada para novas frentes de pesquisa em diversos contextos tecnológicos e ambientais. Sua aplicação visa análises rigorosas em áreas como políticas públicas (projetos, segurança, saúde, saneamento, combate à corrupção, educação), medicina do trabalho (saúde ocupacional, segurança, processos laborais), produção, agronegócio, energia, medicina e ciência da computação. Com ênfase em tecnologia intensiva e em requisitos setoriais específicos, o framework adapta-se a subdomínios técnicos para diagnósticos precisos e decisões críticas.

Desenvolvimento como Sistema ou API Modular:

A estrutura modular, com requisitos funcionais e não funcionais formalizados, permite a modelagem computacional escalável e a integração com ferramentas tecnológicas existentes ou em desenvolvimento. Essa arquitetura técnica viabiliza sua adoção ampla e aplicação prática em ambientes reais, mantendo interoperabilidade, flexibilidade e rastreabilidade.

Automatização das Análises e Avaliações de Objetos Tecnológicos:

A próxima etapa prevê a implementação de um módulo dedicado à captura automatizada de dados das interações do agente, por meio de estruturas e elementos específicos para esse fim. Esse módulo alimentará a base de dados do Framework Core de forma contínua, reduzindo a dependência da inserção manual realizada por especialistas e agentes finais. Como parte dessa evolução, o FCIA-OT já possui uma arquitetura compatível com a integração de dados provenientes de sistemas automatizados, respeitando requisitos técnicos e operacionais.

Análise de Tarefas:

O desenvolvimento de um módulo avançado dedicado à análise e avaliação de tarefas permitirá ao FCIA-OT expandir seu escopo para além dos objetos tecnológicos em si, abrangendo também os processos, rotinas, sequências operacionais e aspectos funcionais das tarefas realizadas pelos agentes. A estrutura proposta avaliará tipos de tarefas, níveis de repetição, propósitos operacionais, carga cognitiva, carga de trabalho e coerência funcional, viabilizando diagnósticos mais completos e sistêmicos. O módulo será projetado para captar a lógica e a estrutura interna das tarefas a partir de suas finalidades técnicas, de sua distribuição cognitiva e de seus efeitos práticos sobre o desempenho do agente.

12 PRODUÇÃO CIENTÍFICA DERIVADA E VINCULADA À PESQUISA

A presente pesquisa materializa-se não apenas em sua contribuição textual e analítica, mas também em um conjunto consistente de publicações científicas que consolidam e expandem seu escopo. Como resultado direto do aprofundamento teórico, metodológico e aplicado desenvolvido ao longo do trabalho, foram publicados oito artigos científicos reunidos em um e-book temático, cada um registrado com seu respectivo DOI, incluindo o próprio volume. Esse corpus de publicações reflete a relevância técnica e científica do projeto, sua aderência às demandas contemporâneas da área e sua capacidade de promover avanços concretos no campo IHC–ATI. Um registro de direitos autorais foi realizado para o sistema proposto nesta dissertação, abrangendo o FCIA-OT e seus módulos, componentes e recursos associados. Esta medida visa garantir a proteção jurídica e técnica da propriedade intelectual decorrente do presente trabalho. A seguir, apresenta-se a relação dessas publicações, que constituem expressões tangíveis da contribuição desta pesquisa.

Salomão, M. B. (Ed.). (2025). *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects*. Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.423252908>

Salomão, M. B. & Bonacin, R. (2025). Integrated and advanced core framework for the analysis and evaluation of technological objects (FCIA-OT). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 1–84). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529081>

Salomão, M. B. (2025). Integrated modular multidimensional scoring system (SPMI) and integrated modular system for color-based classification and definition (SCDMIC). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 85–107). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529082>

Salomão, M. B. (2025). Global usability and interaction score (SGUI) and integrated modular critical score (SCMI). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 108–148). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529083>

Salomão, M. B. (2025). Application of the integrated and advanced core framework for the analysis and evaluation of technological objects (FCIA-OT). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 149–203). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529084>

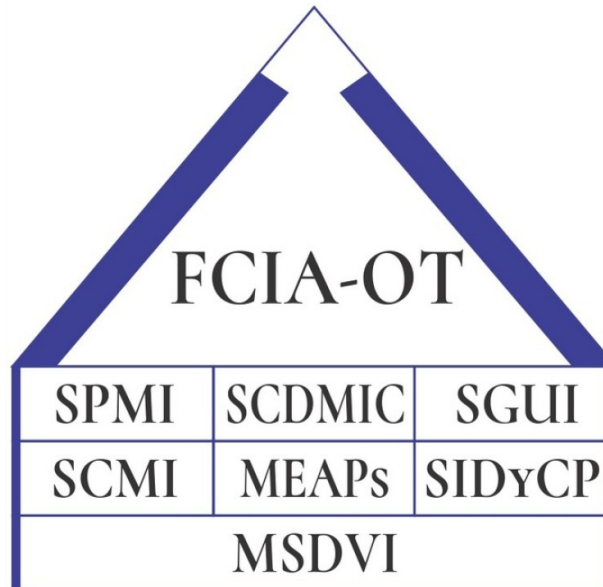
Salomão, M. B. (2025). Structured and advanced model of personas (MEAPs). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 204–214). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529085>

Salomão, M. B. (2025). Dynamic inference system of perceptual fields (SIDyCP). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 215–241). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529086>

Salomão, M. B. (2025). Bachelor's degree in usability and interaction engineering (EUSIN). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 242–261). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529087>

Salomão, M. B. (2025). FCIA-OT architecture: Advanced operational management and multidimensional control of usability and interaction. In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 262–285). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529088>

FIGURA 9: IDENTIDADE VISUAL DO FCIA-OT



O Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos (FCIA-OT), incluindo todos os seus subsistemas, metodologias, códigos-fonte, conceitos, modelos, conteúdos, e-book e quaisquer materiais relacionados, constitui propriedade intelectual exclusiva do autor desta pesquisa. Todos os direitos são reservados. (CC BY-NC-ND 4.0).

Fonte: Autor.

13 GLOSSÁRIO

Abordagem Estruturante – Estratégia que organiza conceitos, dimensões e técnicas de forma integrada para analisar objetos tecnológicos complexos de maneira sistemática e crítica.

Abordagens experienciadas de usabilidade – Valorizam experiências positivas e memoráveis, considerando fatores emocionais, sociais e contextuais.

Affordance – Propriedade de um objeto que sugere ou permite ações específicas ao agente, considerando capacidades perceptivo-motoras e contexto.

Agentes – Entidades humanas ou não humanas que interagem com sistemas tecnológicos, influenciando operação, experiência e usabilidade.

Alinhamento ação–resultado – Correlação entre intenções do agente e efeitos concretos observáveis no sistema.

Alta complexidade interacional – Cenário em que sistemas apresentam múltiplas dimensões, atores e variáveis interdependentes, exigindo métodos sofisticados de avaliação.

Análise técnico-informacional – Integra aspectos técnicos e informacionais para compreender e avaliar objetos tecnológicos.

Análise de Componentes Principais (PCA) – Técnica estatística que identifica fatores relevantes em conjuntos de dados complexos, destacando funcionalidades e estética.

Arquitetura epistêmica, computacional e aplicada – Estrutura que combina fundamentos epistemológicos, capacidades computacionais e aplicação prática em frameworks analíticos.

Arquiteturas interativas – Estruturas que organizam fluxos de interação entre agentes e objetos tecnológicos, promovendo adaptação e desempenho eficiente.

Artefato de fronteira – Objeto ou recurso que media a interação entre agente e sistema, servindo de ponto de convergência entre intenção, ação e interpretação.

Articulação DA-DS – Integra a distância articulatória e semântica para conectar percepção visual, interpretação e resposta motora, favorecendo interfaces cognitivamente sustentáveis.

Assistência adaptativa em sistemas ciberfísicos – Suporte físico ou digital ativado em tempo real conforme necessidades cognitivas do operador.

AttrakDiff – Instrumento que mede qualidades pragmáticas e hedonísticas da experiência do agente.

Autoeficácia do agente – Confiança na própria capacidade de realizar tarefas interativas.

APIs (Application Programming Interfaces) – Conjuntos de instruções que permitem interação entre sistemas ou componentes de software.

Articulação DA-DS – Conexão entre percepção, interpretação e ação motora, fundamental para interfaces cognitivamente sustentáveis.

Bloat – Excesso de funcionalidades que pode prejudicar a usabilidade, percebido objetivamente ou subjetivamente.

Bogus factuais – Problemas detectados que não refletem erros reais do sistema, mas interpretações equivocadas de funcionalidades ou fatos percebidos incorretamente.

Bogus lógicos – Problemas apontados que não são defeitos reais, surgindo de raciocínios ou deduções incorretas do avaliador.

Caminhada Cognitiva (*Cognitive Walkthrough*) – Método de inspeção que simula tarefas para identificar dificuldades de aprendizado e uso.

Caminhada Pluralista (*Pluralistic Walkthrough*) – Avaliação envolvendo múltiplas perspectivas para identificar problemas de design.

Carga cognitiva – Esforço mental necessário para operar ou compreender sistemas complexos.

Carga hedônica – Influência de qualidades sensoriais e emocionais sobre a experiência subjetiva.

Ciclos de vida sustentáveis – Considera todas as etapas do ciclo de vida do sistema, incluindo produção, uso e descarte.

Ciclos interdependentes de insustentabilidade – Relação sistêmica entre degradação ecológica e colapsos sociopolíticos.

Ciclo (*human-in-the-loop*) – Processo de avaliação ou decisão em que humanos intervêm ativamente para complementar a automação do sistema.

Cognição situada – Processamento que integra percepção, ação e contexto na interação contínua entre agente e ambiente.

Computer-Supported Cooperative Work (CSCW) – Estudo de tecnologias que suportam trabalho colaborativo e cooperativo.

Concept-based Analysis of Surface and Structural Misfits (CASSM) – Método que analisa lacunas entre modelos mentais de agentes e estruturas conceituais do sistema.

Constructo dinâmico – Conceito que representa entidades ou relações em constante transformação.

Contextual Design – Metodologia que transforma dados de campo em decisões de projeto práticas.

Contextualidade e variabilidade – Considera mudanças de desempenho e percepção de sistemas dependendo do ambiente, agentes e condições.

DA e desempenho operacional – Reduz articulação perceptivo-motora e melhora tempo de resposta, integrando ergonomia e fluidez da interação.

Decision Adaptation Model (ADM) – Framework baseado na tomada de decisão adaptativa para avaliar percepção de qualidade.

Design centrado no agente – Estratégia que prioriza perspectiva, necessidades e limitações do agente no design de sistemas.

Design centrado na conservação de recursos – Planejamento de interfaces visando reduzir consumo de energia, materiais e poluentes.

Design de Tarefas – Estruturação das ações do agente em sistemas, focando em fluidez, adaptabilidade e redução de carga cognitiva.

Design Universal (DU) – Paradigma que visa equidade no acesso e uso de tecnologias, considerando diversidade funcional e previsibilidade de comportamento.

Dimensões clássicas de usabilidade – Facilidade de aprendizado, eficiência de uso, memorização, tolerância a erros e satisfação.

Dimensões cognitivas – Aspectos relacionados a memória, atenção e tomada de decisão durante a interação.

Dimensões interacionais – Elementos que descrevem como agentes interagem com objetos tecnológicos.

Distância Articulatoria (DA) – Diferença entre forma física de um símbolo/comando e seu significado funcional.

Distância Semântica (DS) – Grau de proximidade conceitual entre um signo e o conteúdo funcional que representa.

DUXAIT-NG – Ferramenta acadêmica que automatiza avaliação integrada, com limitações herdadas de métodos tradicionais.

Ecodesign – Abordagem de projeto que integra critérios ambientais, visando reduzir impactos ao longo do ciclo de vida do produto.

Eco-feedback – Estratégias que fornecem informações aos agentes sobre consumo de recursos ou impactos ambientais.

Engenharia Cognitiva (CE) – Modela interação entre agentes humanos e sistemas tecnológicos complexos, considerando limitações cognitivas e estruturas mentais.

Engenharia de Sistemas Cognitivos (CSE) – Perspectiva sistêmica que analisa funções cognitivas do operador e tarefas para design responsivo.

Engenharia da Usabilidade – Integra requisitos de usabilidade durante todo o ciclo de desenvolvimento, garantindo eficácia, eficiência e satisfação.

Engenharia Semiótica – Aplica princípios semióticos ao design de sistemas, mediando comunicação entre agentes e objetos tecnológicos.

Escala de Curved Grading (CGS) – Avaliação quantitativa que ajusta pontuação de acordo com distribuições específicas.

Escalabilidade computacional – Capacidade de operar eficientemente em diferentes volumes de dados ou complexidade operacional.

Esforço – Carga cognitiva e física exigida pelo sistema.

Efeito Avaliação – Variação nos resultados de avaliação causada por diferenças entre avaliadores.

Etnografia – Observação e interpretação de práticas sociais e interações em contextos reais.

Etnometodologia – Investigação de como práticas sociais são estruturadas e interpretadas pelos participantes.

Experiência do usuário (UX) – Conjunto de percepções, emoções e respostas de um usuário durante e após interação com um sistema.

Feedback – Informação fornecida ao agente sobre o efeito de suas ações, essencial para orientação e aprendizagem.

Framework computacional modular – Estrutura tecnológica que combina módulos independentes e integráveis para análise e adaptação de sistemas complexos.

Framework técnico-científico – Integra teoria, métodos e análise técnica para estudar e intervir em sistemas tecnológicos complexos.

Fundamentos teóricos da DS – Base conceitual que orienta proximidade semântica entre signos e objetos.

Goal, Attributes, and Metrics (GAM) – Modelo de avaliação de usabilidade móvel baseado em objetivos, atributos e métricas.

Graus de risco – Classificação da exposição a falhas ou eventos indesejáveis, considerando impacto, frequência e vulnerabilidade.

Gravidade de erros – Medida do impacto, persistência e severidade de falhas em sistemas interativos.

Grounded Theory – Método de pesquisa qualitativa que constrói teorias a partir de dados coletados de forma sistemática.

Heurísticas de Nielsen – Nove princípios de design de interfaces voltados à identificação de problemas recorrentes.

Hedonomics – Estudo da integração sistemática de emoções no design de sistemas.

Imagem e impressão geradas no usuário – Percepções provocadas por sistemas ou tecnologias.

Image schemas – Estruturas cognitivas básicas originadas de experiências sensorio-motoras, que orientam compreensão e ação.

Inclusão integral – Conceito que transcende acessibilidade física, incorporando adaptação a diferentes capacidades e contextos.

Índice – Signo que aponta diretamente para um objeto ou evento real.

Ícone – Signo que representa algo por semelhança ou analogia com o objeto.

Inferência automatizada – Processo em que sistemas computacionais extraem conclusões a partir de dados estruturados.

Integração explícita das dimensões afetivas – Consideração deliberada de fatores emocionais e hedônicos na avaliação e design de sistemas.

Integração de affordances cognitivas, físicas, sensoriais e funcionais – Estratégia projetual para assegurar fluidez e segurança na interação.

Interfaces inteligentes e adaptativas – Sistemas que ajustam comportamento e apresentação conforme perfil, contexto ou ação do agente.

Interfaces sensíveis ao agente – Ajustam interações considerando estados cognitivos, reduzindo sobrecarga informacional.

Interface humano-computador (IHC) – Superfície que permite comunicação entre agentes humanos e sistemas computacionais.

Inteligência artificial (IA) – Sistemas computacionais capazes de realizar tarefas que exigiriam inteligência humana.

Inteligibilidade funcional – Grau em que o agente compreende e antecipa a operação de um sistema.

Limites de métodos automáticos e formais – Insuficiências de procedimentos padronizados para capturar complexidade de interações humanas.

Logic Theory Machine – Marco histórico no processamento heurístico de problemas complexos.

Matriz de doze dimensões analíticas – Estrutura que organiza critérios, métricas e aspectos de avaliação em doze categorias.

Matriz sistemática e inter-relacionada – Ferramenta que organiza dimensões, critérios e métricas de forma coerente e integrada.

Materialidade funcional – Características tangíveis de um objeto tecnológico que impactam operação e interação.

Memória sensorial – Armazenamento transitório de informações perceptivas para recuperação rápida antes da consolidação.

Métodos de Avaliação de Usabilidade (UEMs) – Técnicas para identificar problemas em interfaces e otimizar eficácia, eficiência e satisfação.

Métodos de Campo – Avaliação em contexto real, oferecendo profundidade sobre comportamento e fatores ambientais.

Métodos robustos – Procedimentos avaliativos consistentes, capazes de gerar resultados confiáveis e reproduzíveis.

Modelo Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) – Modelo integrador de fatores de adoção tecnológica.

Modelos mentais do agente – Representações cognitivas que orientam decisões e ações durante interação com sistemas.

Neo-simbiose – Colaboração avançada entre humanos e sistemas computacionais, ampliando capacidades cognitivas e operacionais.

Neo-simbiose humano-máquina – Integração de capacidades humanas e tecnológicas, promovendo controle ativo do agente.

Operador humano como sistema ativo – Agente como processador heurístico e adaptativo capaz de construir modelos mentais e interagir reflexivamente.

Ontologia – Representação formal de conceitos e relações em um domínio específico.

PANAS – Instrumento para medir estados emocionais positivos e negativos.

Paradigma avaliativo – Modelo conceitual que orienta a avaliação de objetos tecnológicos.

Paradigma da engenharia da interação – Integra cognição, contexto operacional e requisitos específicos no design.

Percepção – Processo de captação, interpretação e organização de estímulos sensoriais.

Percepção funcional – Interpretação de um objeto tecnológico baseada em suas propriedades operacionais.

Perceptivo-motora – Relação entre percepção sensorial e execução motora na interação com sistemas ou objetos.

Perfis reflexivos e impulsivos – Diferenciação cognitiva que influencia execução de tarefas, verbalização e precisão operacional.

Post-Study System Usability Questionnaire (PSSUQ) – Questionário estruturado em três dimensões para avaliação retrospectiva da usabilidade.

Precisão funcional – Capacidade do sistema de executar tarefas corretamente, sem erros operacionais.

Prevenção e recuperação de erros – Estratégias que minimizam falhas e facilitam correções, reduzindo frustração.

Processador humano – Estrutura cognitiva segmentada em percepção, cognição e motricidade para prever comportamento em sistemas interativos.

Protocolo de avaliação – Procedimentos e normas que orientam execução de testes ou medições em sistemas tecnológicos.

Quality in Use Integrated Measurement (QUIM) – Estrutura consolidada para mensuração de usabilidade em múltiplas dimensões.

Qualidade percebida – Percepção sobre eficiência, confiabilidade, estética e funcionalidade de um sistema.

Qualidade de uso – Capacidade do sistema em permitir realização eficaz e satisfatória de tarefas.

Questionários de Usabilidade – Instrumentos padronizados para medir percepções e satisfação do agente.

RITE (Rapid Iterative Testing and Evaluation) – Método de testes iterativos com ajustes rápidos na interface.

Reconfiguração dinâmica de requisitos – Capacidade de adaptar critérios e métricas em resposta a mudanças nos sistemas.

Refundação técnico-científica – Reconstrução de bases teóricas e metodológicas incorporando avanços conceituais e tecnológicos.

Representação lógica do objeto – Modelagem estruturada de um objeto tecnológico, destacando propriedades e relações observáveis.

Revisão Sistemática da Literatura (SLR) – Procedimento de levantamento e análise de evidências científicas.

Redução da complexidade cognitiva – Estratégia de design que minimiza carga mental do agente.

SHCI (Sustainable Human-Computer Interaction) – Campo interdisciplinar que integra sustentabilidade ambiental, social e ética à IHC.

Semiótica – Estudo dos signos, seus significados e processos de significação.

Semiose – Processo contínuo de produção e interpretação de signos.

Sistema dorsal visual – Via neural voltada à orientação espacial e coordenação de ações motoras.

Sistemas Adaptativos – Sistemas que ajustam comportamento ou interface com base no agente ou contexto.

Sistemas híbridos – Tecnologias que combinam hardware e software de forma integrada.

Sistema ventral visual – Via neural responsável pela identificação e reconhecimento perceptual de objetos e padrões.

Software-User Interface Test (SUIT) – Avaliação histórica de interfaces baseada em atributos de usabilidade.

Símbolo – Signo cuja relação com o objeto é arbitrária ou convencional.

Significado indexical – Significado associado à localização ou relação espacial-temporal de um índice.

Tecnologia Verde – Abordagem voltada à minimização de impactos ambientais no ciclo de vida dos artefatos.

TI Verde (Green IT) – Aplicação de práticas sustentáveis em sistemas de informação.

Tecnologias regenerativas – Sistemas projetados para reduzir, recuperar ou neutralizar impactos ambientais.

Teste Laboratorial – Avaliação conduzida em ambiente controlado para coleta precisa de dados.

Thinking Aloud – Técnica em que agente verbalizam pensamentos durante a interação.

Transparência da interface – Capacidade de tornar operações compreensíveis e intuitivas, minimizando esforço cognitivo.

Técnica de esboços e probes – Ferramentas para explorar e compreender a experiência do agente.

Técnico-epistêmica – Combinação de conhecimento técnico e fundamentação epistemológica para análise crítica.

User Action Framework (UAF) – Estrutura para análise de problemas de usabilidade baseada no ciclo de interação do agente.

User Experience Questionnaire (UEQ) – Questionário que avalia experiência do agente em seis dimensões.

User Information Satisfaction (UIS) – Métrica subjetiva que avalia percepção do agente sobre atendimento de suas necessidades.

Usabilidade – Grau em que um sistema pode ser usado de forma eficiente, eficaz e satisfatória, considerando atributos objetivos e subjetivos.

Usability Perception and Emotion Enhancement Model (UPEEM) – Modelo que analisa percepção de usabilidade e qualidade afetiva em dispositivos móveis.

Validação psicométrica – Verificação da precisão, confiabilidade e consistência de instrumentos de avaliação.

Validade Construtiva – Grau em que uma medida reflete corretamente o conceito que se pretende avaliar.

Validade ecológica – Grau em que resultados refletem comportamento real dos agentes em contextos naturais.

Validade Externa – Extensão em que resultados podem ser generalizados para outros contextos ou populações.

Variabilidade contextual – Diferenças de desempenho ou percepção de objetos tecnológicos dependendo do contexto.

Zona ótima de carga cognitiva – Limite ideal de carga mental e consciência situacional para desempenho eficiente sem sobrecarga.

14 REFERÊNCIAS

- Abascal, J. (2002). Human-computer interaction in assistive technology: From “Patchwork” to “Universal Design.” *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 3, 6. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2002.1176076>
- Abbate, A. J. & Bass, E. J. (2018). A formal methods approach to semiotic engineering. *International Journal of Human-Computer Studies*. doi:10.1016/j.ijhcs.2018.02.001
- Abdelzad, V., Lethbridge, T. C. & Hosseini, M. (2016). The role of semiotic engineering in software engineering. *Proceedings of the 5th International Workshop on Theory-Oriented Software Engineering - TOSE '16*. <https://doi.org/10.1145/2897134.2897136>
- Agler, D. W. (2010). Peirce’s direct, non-reductive contextual theory of names. *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, 46(4), 611. <https://doi.org/10.2979/trancharpeirsoc.2010.46.4.611>
- Aguirre, J., Lecaros, A., Ramos, C., Falconi, F., Moquillaza, A. & Paz, F. (2024). DUXAIT NG: A software for the planning and execution of user experience evaluations and experiments. In P. H. Ruiz, V. Agredo-Delgado & A. Mon (Eds.), *Human-Computer Interaction. IHC-COLLAB 2023. Communications in Computer and Information Science* (Vol. 1877). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57982-0_12
- Ahlström, B., Lenman, S. & Marmolin, T. (1992). Overcoming touchscreen user fatigue by workplace design. *Posters and Short Talks of the 1992 SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '92*. <https://doi.org/10.1145/1125021.1125103>
- Alexander, P. A. (1992). Domain knowledge: Evolving themes and emerging concerns. *Educational Psychologist*, 27(1), 33–51. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2701_4
- Alshamari, M. & Mayhew, P. (2008). Task design: Its impact on usability testing. *2008 Third International Conference on Internet and Web Applications and Services*. <https://doi.org/10.1109/iciw.2008.20>
- Anderson, R. J. (1994). Representations and requirements: The value of ethnography in system design. *Human-Computer Interaction*, 9(2), 151–182. https://doi.org/10.1207/s15327051IHC0902_1
- Andre, T. S., Hartson, H. R., Belz, S. M. & McCreary, F. A. (2001). The user action framework: A reliable foundation for usability engineering support tools. *International Journal of Human-Computer Studies*, 54(1), 107–136. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2000.0441>

- Andre, T. S., Williges, R. C. & Hartson, H. R. (1999). The effectiveness of usability evaluation methods: Determining the appropriate criteria. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 43(20), 1090–1094. <https://doi.org/10.1177/154193129904302007>
- Andre, T. S., Hartson, H. R. & Williges, R. C. (2003). Determining the effectiveness of the usability problem inspector: A theory-based model and tool for finding usability problems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 45(3), 455–482. <https://doi.org/10.1518/hfes.45.3.455.27255>
- Appelle, S. (1972). Perception and discrimination as a function of stimulus orientation: The “oblique effect” in man and animals. *Psychological Bulletin*, 78(4), 266–278. <https://doi.org/10.1037/h0033117>
- Attneave, F. (1954). Some informational aspects of visual perception. *Psychological Review*, 61(3), 183–193. <https://doi.org/10.1037/h0054663>
- Aykin, N. M. (1989). Individual differences in human-computer interaction. *Computers & Industrial Engineering*, 17(1–4), 614–619. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(89\)90135-6](https://doi.org/10.1016/0360-8352(89)90135-6)
- Baecker, R. (1989). A vision of education in user-centered system and interface design. *ACM SIGCHI Bulletin*, 20(3), 10–13. <https://doi.org/10.1145/67900.67901>
- Bailey, J. E. & Pearson, S. W. (1983). Development of a Tool for Measuring and Analyzing Computer User Satisfaction. *Management Science*, 29(5), 530–545. <https://doi.org/10.1287/mnsc.29.5.530>
- Bargas-Avila, J. A. & Hornbæk, K. (2011). Old wine in new bottles or novel challenges. *Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '11*. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979336>
- Barnard, P. J. & May, J. (1999). Representing cognitive activity in complex tasks. *Human-Computer Interaction*, 14, 93–158. https://doi.org/10.1207/s15327051HHC1401%262_4
- Barnard, P., May, J., Duke, D. & Duce, D. (2000). Systems, interactions, and macrotheory. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(2), 222–262. <https://doi.org/10.1145/353485.353490>
- Barsalou, L. W. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22(4), 577–660. <https://doi.org/10.1017/s0140525x99002149>
- Bastien, J. M. C. (2010). Usability testing: a review of some methodological and technical aspects of the method. *International Journal of Medical Informatics*, 79(4), 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2008.12.004>

- Bayazit, N. (2004). Investigating Design: A Review of Forty Years of Design Research. *Design Issues*, 20(1), 16–29. <https://doi.org/10.1162/074793604772933739>
- Begnum, M. E. N. (2020). Universal Design of ICT: A Historical Journey from Specialized Adaptations Towards Designing for Diversity. In Antona, M., Stephanidis, C. (Eds.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Design Approaches and Supporting Technologies. IHCI 2020. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 12188). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49282-3_1
- Bevan, N. (1995a). Measuring usability as quality of use. *Software Quality Journal*, 4(2), 115–130. <https://doi.org/10.1007/BF00402715>
- Bevan, N. (1995b). Usability is Quality of Use. *Symbiosis of Human and Artifact - Future Computing and Design for Human-Computer Interaction, Proceedings of the Sixth International Conference on Human-Computer Interaction (IHC International '95)*, 349–354. [https://doi.org/10.1016/s0921-2647\(06\)80241-8](https://doi.org/10.1016/s0921-2647(06)80241-8)
- Bevan, N. (2001). International standards for IHC and usability. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55(4), 533–552. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0483>
- Beyer, H. & Holtzblatt, K. (1997). *Contextual design: Defining Customer-Centered Systems*. Morgan Kaufmann.
- Bhuie, A. K., Ogunseitan, O. A., Saphores, J.-D. M. & Shapiro, A. A. (2004). Environmental and economic trade-offs in consumer electronic products recycling: A case study of cell phones and computers. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 2004. Conference Record*. <https://doi.org/10.1109/ISEE.2004.1299691>
- Blandford, A., Green, T. R. G., Furniss, D. & Makri, S. (2008). Evaluating system utility and conceptual fit using CASSM. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(6), 393–409. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.11.005>
- Blankenberger, S. & Hahn, K. (1991). Effects of icon design on human-computer interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, 35(3), 363–377. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(05\)80133-6](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(05)80133-6)
- Bohnhoff, A., Brandt, D. & Henning, K. (1992). The dual design approach as a tool for the interdisciplinary design of human-centered systems. *International Journal of Human Factors in Manufacturing*, 2(3), 289–301. <https://doi.org/10.1002/hfm.4530020309>
- Bose, R. & Luo, X. (2011). Integrative framework for assessing firms' potential to undertake Green IT initiatives via virtualization – A theoretical perspective. *The Journal of Strategic Information Systems*, 20(1), 38–54. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.01.003>

- Brave, S. & Nass, C. (2009). Emotion in human-computer interaction. In A. Sears & J. A. Jacko (Eds.), *The human-computer interaction handbook* (pp. 103–118). CRC Press.
- Briggs, R. O., Reinig, B. A. & de Vreede, G.-J. (2008). The yield shift theory of satisfaction and its application to the IS/IT domain. *Journal of the Association for Information Systems*, 9(5), Article 1. <https://doi.org/10.17705/1jais.00160>
- Briggs, R. O. & Sindhav, B. (2015). The nostalgia effect: A field investigation of satisfaction among IS/IT professionals in India. *International Journal of Management Research*, 6(1), 5–17.
- Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Brown, D. C. & Blessing, L. (2005). The Relationship Between Function and Affordance. *Volume 5a: 17th International Conference on Design Theory and Methodology*. <https://doi.org/10.1115/detc2005-85017>
- Burks, A. W. (1949). Icon, Index, and Symbol. *Philosophy and Phenomenological Research*, 9(4), 673. <https://doi.org/10.2307/2103298>
- Burlamaqui, L. & Dong, A. (2015). The Use and Misuse of the Concept of Affordance. *Design Computing and Cognition '14*, 295–311. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14956-1_17
- Button, G. & Dourish, P. (1996). Technomethodology: Paradoxes and possibilities. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '96)*. Association for Computing Machinery, 19–26. <https://doi.org/10.1145/238386.238394>
- Card, S. K., Moran, T. P. & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. <https://doi.org/10.1201/9780203736166>
- Cecilio, A. (2022). Cognitive human factors in the artificial intelligence of things. *2022 IEEE International Conference on Services Computing (SCC)*, 351–352. <https://doi.org/10.1109/SCC55611.2022.00058>
- Chapman, D. W. (1932). Relative effects of determinate and indeterminate “Aufgaben.” *The American Journal of Psychology*, 44(1), 163. <https://doi.org/10.2307/1414962>
- Chilana, P. K., Wobbrock, J. O. & Ko, A. J. (2010). Understanding usability practices in complex domains. *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '10*. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753678>

- Chong, I. & Proctor, R. W. (2019). On the Evolution of a Radical Concept: *Affordances According to Gibson and Their Subsequent Use and Development*. *Perspectives on Psychological Science*, 15(1), 117-132. <https://doi.org/10.1177/1745691619868207>
- Clark, A. (1997). *Putting brain, body, and world together again*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/1552.001.0001>
- Cliff, N. (1959). Adverbs as multipliers. *Psychological Review*, 66(1), 27–44. <https://doi.org/10.1037/h0045660>
- Cockburn, A. & Bell, T. (1998). Extending IHC in the computer science curriculum. *Proceedings of the Third Australasian Conference on Computer Science Education - ACSE '98*. <https://doi.org/10.1145/289393.289411>
- Cockton, G. & Woolrych, A. (2001). Understanding inspection methods: Lessons from an assessment of heuristic evaluation. In A. Blandford, J. Vanderdonckt & P. Gray (Eds.), *People and computers XV—Interaction without frontiers*, 171–192. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-0353-0_11
- Cordes, R. E. (1980). Software-user interface evaluation: Methodology and tools. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 24(1), 395–399. <https://doi.org/10.1177/1071181380024001103>
- Creem, S. H. & Proffitt, D. R. (2001). Grasping objects by their handles: A necessary interaction between cognition and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1), 218–228. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.27.1.218>
- Cutting, J. E. (1982). Two ecological perspectives: Gibson vs. Shaw and Turvey. *The American Journal of Psychology*, 95(2), 199. <https://doi.org/10.2307/1422466>
- Cutting, J. E. (1993). Perceptual artifacts and phenomena: Gibson's role in the 20th century. *Advances in Psychology*, 231–260. [https://doi.org/10.1016/s0166-4115\(08\)62775-2](https://doi.org/10.1016/s0166-4115(08)62775-2)
- Cutting, J. E. (1998). Information from the world around us. In J. Hochberg (Ed.), *Handbook of perception and cognition* (2nd ed., pp. 69–93). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012301160-2/50006-X>
- Davis, F. D. (1985). A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results [Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology]. <https://hdl.handle.net/1721.1/15192>
- Dekker, A. (2010). Social software and interactions in web design. *Proceedings of the 22nd Conference of the Computer-Human Interaction Special Interest Group of*

- Drury, C. G. (1973). The effect of speed of working on industrial inspection accuracy. *Applied Ergonomics*, 4(1), 2–7. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(73\)90002-1](https://doi.org/10.1016/0003-6870(73)90002-1)
- Dumas, J. S. & Salzman, M. C. (2006). Usability assessment methods. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 2(1), 109–140. <https://doi.org/10.1177/1557234X0600200105>
- Dutt, A., Johnson, H., Johnson, P., Cockton, G., Draper, S. & Weir, G. R. S. (1994). Evaluating evaluation methods. In A. Monk & D. Diaper (Eds.), *People and computers IX* (pp. 109–122). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511600821.010>
- Ebling, M. R. & John, B. E. (2000). On the contributions of different empirical data in usability testing. *Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems Processes, Practices, Methods, and Techniques - DIS '00*. <https://doi.org/10.1145/347642.347766>
- Engelbart, D. C. (1962). *Augmenting human intellect: A conceptual framework* (Report No. 1). Stanford Research Institute.
- Engelbart, D. C. & English, W. K. (1968). A research center for augmenting human intellect. *Proceedings of the December 9–11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I on - AFIPS '68 (Fall, Part I)*. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476645>
- Faulkner, X. & Culwin, F. (2000). Enter the usability engineer: Integrating IHC and software engineering. In *Proceedings of the 5th annual SIGCSE/SIGCUE ITiCSE conference on Innovation and technology in computer science education (ITiCSE '00)*, 61–64. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/343048.343076>
- Feltovich, P. J., Hoffman, R. R., Woods, D. & Roesler, A. (2004). Keeping It Too Simple: How the Reductive Tendency Affects Cognitive Engineering. *IEEE Intelligent Systems*, 19(3), 90–94. <https://doi.org/10.1109/mis.2004.14>
- Fernandez, A., Insfran, E. & Abrahão, S. (2011). Usability evaluation methods for the web: A systematic mapping study. *Information and Software Technology*, 53(8), 789–817. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.02.007>
- Fernandez, A., Abrahão, S. & Insfran, E. (2012). A systematic review on the effectiveness of Web usability evaluation methods. *16th International Conference on Evaluation & Assessment in Software Engineering (EASE 2012)*. <https://doi.org/10.1049/ic.2012.0007>

- Ferreira, J. M., Acuña, S. T., Dieste, O., Vegas, S., Santos, A., Rodríguez, F. & Juristo, N. (2019). Impact of usability mechanisms: an experiment on efficiency, effectiveness and user satisfaction. *Information and Software Technology*, 106195. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2019.106195>
- Fermüller, C. & Aloimonos, Y. (1995). Vision and action. *Image and Vision Computing*, 13(10), 725–744. [https://doi.org/10.1016/0262-8856\(95\)98754-h](https://doi.org/10.1016/0262-8856(95)98754-h)
- Finkelstein, L. & Finkelstein, A. (1983). Review of design methodology. *Journal of the Institution of Production Engineers*, 130(4), 213–222. <https://doi.org/10.1049/IP-A-1:19830040>
- Fisher, D. L., Yungkurth, E. J. & Moss, S. M. (1990). Optimal Menu Hierarchy Design: Syntax and Semantics. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 32(6), 665–683. <https://doi.org/10.1177/001872089003200605>
- Fitts, P. M. & Switzer, G. (1962). Cognitive aspects of information processing: I. The familiarity of S-R sets and subsets. *Journal of Experimental Psychology*, 63(4), 321–329. <https://doi.org/10.1037/h0047838>
- Flower, J. C. (1929). Emotion, feeling, and religion. *Journal of Philosophical Studies*, 4(14), 192–204. <https://doi.org/10.1017/s0031819100031442>
- Fogli, D., Parasiliti Provenza, L. & Bernareggi, C. (2013). A universal design resource for rich Internet applications based on design patterns. *Universal Access in the Information Society*, 13(2), 205–226. <https://doi.org/10.1007/s10209-013-0291-6>
- Forlizzi, J. & Battarbee, K. (2004). Understanding experience in interactive systems. *Proceedings of the 2004 Conference on Designing Interactive Systems Processes, Practices, Methods, and Techniques - DIS '04*, (pp. 261–268). <https://doi.org/10.1145/1013115.1013152>
- Froehlich, J., Findlater, L. & Landay, J. (2010). The design of eco-feedback technology. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1999–2008. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1753326.1753629>
- Fuchs, C. & Obrist, M. (2010). IHC and Society: Towards a Typology of Universal Design Principles. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(6), 638–656. <https://doi.org/10.1080/10447311003781334>
- Gabbard, J. L., Hix, D., Swan II, J. E., Livingston, M. A., Höllerer, T. H., Julier, S. J., Brown, D. & Baillet, Y. (2003). Usability engineering for complex interactive systems development. In *Proceedings of the Human Systems Integration Symposium 2003: Engineering for Usability*. Vienna, VA, June 23–25.

- Gammulle, H., Ahmedt-Aristizabal, D., Denman, S., Tyhsen-Smith, L., Petersson, L. & Fookes, C. (2023). Continuous human action recognition for human-machine interaction: A review. *ACM Computing Surveys*, 55(13s). <https://doi.org/10.1145/3587931>
- Gaver, W. W. (1991). Technology affordances. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Reaching through Technology – CHI 91*, 79–84. <https://doi.org/10.1145/108844.108856>
- Gena, C. (2005). Methods and techniques for the evaluation of user-adaptive systems. *The Knowledge Engineering Review*, 20(01), 1. <https://doi.org/10.1017/s0269888905000299>
- Gentile, C., Spiller, N. & Noci, G. (2007). How to Sustain the Customer Experience. *European Management Journal*, 25(5), 395–410. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2007.08.005>
- Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin Harcourt (HMH), Boston.
- Glenberg, A. M. & Robertson, D. A. (2000). Symbol Grounding and Meaning: A Comparison of High-Dimensional and Embodied Theories of Meaning. *Journal of Memory and Language*, 43(3), 379–401. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2714>
- Good, M., Spine, T. M., Whiteside, J. & George, P. (1986). User-derived impact analysis as a tool for usability engineering. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '86*. <https://doi.org/10.1145/22627.22378>
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15(1), 20–25. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(92\)90344-8](https://doi.org/10.1016/0166-2236(92)90344-8)
- Goodwin, N. C. (1982). Effect of Interface Design on Usability of Message Handling Systems. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 26(1), 69–73. <https://doi.org/10.1177/154193128202600117>
- Gorlenko, L. & Englefield, P. (2006). Usability error classification: Qualitative data analysis for UX practitioners. In *Proceedings of the 2006 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '06)*, 291–298. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1125451.1125610>
- Gould, J. D. & Lewis, C. (1985). Designing for usability: key principles and what designers think. *Communications of the ACM*, 28(3), 300–311. <https://doi.org/10.1145/3166.3170>

- Green, T. R. G. & Petre, M. (1996). Usability analysis of visual programming environments: A 'cognitive dimensions' framework. *Journal of Visual Languages & Computing*, 7(2), 131–174. <https://doi.org/10.1006/jvlc.1996.0009>
- Greenberg, S. (2001). Context as a Dynamic Construct. *Human–Computer Interaction*, 16(2–4), 257–268. https://doi.org/10.1207/s15327051IHC16234_09
- Grether, E. T. (1969). Business Responsibility toward the Market. *California Management Review*, 12(1), 33–42. <https://doi.org/10.2307/41164203>
- Griffith, D. & Greitzer, F. L. (2007). Neo-Symbiosis. *International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence*, 1(1), 39–52. <https://doi.org/10.4018/jcini.2007010103>
- Griffiths, J. R., Johnson, F. & Hartley, R. J. (2007). User satisfaction as a measure of system performance. *Journal of Librarianship and Information Science*, 39(3), 142–152. <https://doi.org/10.1177/0961000607080417>
- Grill, T., Polacek, O. & Tscheligi, M. (2012). Methods towards API Usability: A Structural Analysis of Usability Problem Categories. In Winckler, M., Forbrig, P. & Bernhaupt, R. (Eds.), *Human-Centered Software Engineering. HCSE 2012*, Lecture Notes in Computer Science, vol 7623. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34347-6_10
- Grinstein, G., Kobsa, A., Plaisant, C. & Stasko, J. T. (2003). Which comes first, usability or utility? *IEEE Visualization, 2003. VIS 2003.*, Seattle, WA, USA, 605–606. <https://doi.org/10.1109/VISUAL.2003.1250426>
- Gruber, T. (2009). Ontology. In: Liu, L. & Özsu, M. T. (Eds.), *Encyclopedia of Database Systems*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_1318
- Guo, L., Lu, Z. & Yao, L. (2021). Human–machine interaction sensing technology based on hand gesture recognition: A review. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51(4), 300–309. <https://doi.org/10.1109/THMS.2021.3086003>
- Gulliksen, J. & Sandblad, B. (1995). Domain-specific design of user interfaces. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(2), 135–151. <https://doi.org/10.1080/10447319509526116>
- Gray, W. D. (2008). Cognitive modeling for cognitive engineering. In R. Sun (Ed.), *The Cambridge handbook of computational psychology*, 565–588. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816772.025>

- Gray, W. D. & Salzman, M. C. (1998). Damaged Merchandise? A Review of Experiments That Compare Usability Evaluation Methods. *Human-Computer Interaction*, 13(3), 203–261. https://doi.org/10.1207/s15327051IHC1303_2
- Ham, D.-H. (2013). A model-based framework for classifying and diagnosing usability problems. *Cognition, Technology & Work*, 16(3), 373–388. <https://doi.org/10.1007/s10111-013-0267-6>
- Han, S. H., Yun, M. H., Kwahk, J. & Hong, S. W. (2001). Usability of consumer electronic products. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 28(3-4), 143–151. [https://doi.org/10.1016/s0169-8141\(01\)00025-7](https://doi.org/10.1016/s0169-8141(01)00025-7)
- Hansen, W. J. (1971). User engineering principles for interactive systems. *Proceedings of the May 16-18, 1972, Spring Joint Computer Conference on - AFIPS '72 (Spring)*. <https://doi.org/10.1145/1479064.1479159>
- Hartmann, J., Sutcliffe, A. & Angeli, A. D. (2008). Towards a theory of user judgment of aesthetics and user interface quality. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 15(4), 1–30. <https://doi.org/10.1145/1460355.1460357>
- Hartson, H. R. (2003). Cognitive, physical, sensory, and functional *affordances* in interaction design. *Behaviour & Information Technology*, 22(5), 315–338. <https://doi.org/10.1080/01449290310001592587>
- Hartson, H. R., Andre, T. S. & Williges, R. C. (2003). Criteria For Evaluating Usability Evaluation Methods. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 15(1), 145–181. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1501_13
- Hartson, H. R. & Pyla, P. (2019). What Are UX and UX Design? *The UX Book, Elsevier*, 3–25. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805342-3.00001-1>
- Hassenzahl, M. (2001). The Effect of Perceived Hedonic Quality on Product Appealingness. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13(4), 481–499. https://doi.org/10.1207/S15327590IJHC1304_07
- Hassenzahl, M. (2003). The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product. In: Blythe, M.A., Overbeeke, K., Monk, A.F., Wright, P.C. (eds) *Funology. Human-Computer Interaction Series, vol 3*, 31–42. Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-2967-5_4
- Hassenzahl, M. (2004). The Interplay of Beauty, Goodness, and Usability in Interactive Products. *Human-Computer Interaction*, 19(4), 319–349. https://doi.org/10.1207/s15327051IHC1904_2

- Hassenzahl, M. (2018). The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product. In: Blythe, M., Monk, A. (eds) *Funology 2. Human-Computer Interaction Series*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68213-6_19
- Hassenzahl, M., Burmester, M. & Koller, F. (2003). AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. *Mensch & Computer 2003*, 187–196. https://doi.org/10.1007/978-3-322-80058-9_19
- Hassenzahl, M. & Monk, A. (2010). The Inference of Perceived Usability From Beauty. *Human-Computer Interaction*, 25(3), 235–260. <https://doi.org/10.1080/07370024.2010.500139>
- Hassenzahl, M. & Tractinsky, N. (2006). User Experience – A Research Agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/10.1080/01449290500330331>
- Hassenzahl, M. & Ullrich, D. (2007). To do or not to do: Differences in user experience and retrospective judgments depending on the presence or absence of instrumental goals. *Interacting with Computers*, 19(4), 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2007.05.001>
- Heersmink, R. (2014). The metaphysics of cognitive artefacts. *Philosophical Explorations*, 19(1), 78–93. <https://doi.org/10.1080/13869795.2014.910310>
- Hertzum, M. & Jacobsen, N. E. (2003). The Evaluator Effect: A Chilling Fact About Usability Evaluation Methods. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 15(1), 183–204. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1501_14
- Hochheiser, H. & Lazar, J. (2007). IHC and Societal Issues: A Framework for Engagement. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 23(3), 339–374. <https://doi.org/10.1080/10447310701702717>
- Hollingsed, T. & Novick, D. G. (2007). Usability inspection methods after 15 years of research and practice. *Proceedings of the 25th Annual ACM International Conference on Design of Communication - SIGDOC '07*. <https://doi.org/10.1145/1297144.1297200>
- Hollnagel, E. & Woods, D. D. (1982). *Cognitive systems engineering: New wine on new bottles (Risø-M-2330)*. Roskilde, Denmark: Risø National Laboratory.
- Hornbæk, K. (2006). Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(2), 79–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.06.002>

- Howarth, J., Smith-Jackson, T. & Hartson, R. (2009). Supporting novice usability practitioners with usability engineering tools. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(6), 533–549. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2009.02.003>
- Huang, S.-C., Bias, R. G. & Schnyer, D. (2014). How are icons processed by the brain? Neuroimaging measures of four types of visual stimuli used in information systems. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(4), 702–720. <https://doi.org/10.1002/asi.23210>
- Hughes, J., King, V., Rodden, T. & Andersen, H. (1994). Moving out from the control room: ethnography in system design. In *Proceedings of the 1994 ACM conference on Computer supported cooperative work (CSCW '94)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 429–439. <https://doi.org/10.1145/192844.193065>
- Hurtienne, J. (2011). *Image Schemas and Design for Intuitive Use. Exploring New Guidance for User Interface Design* (Doctoral thesis). Technische Universität, Berlin, Germany. <https://doi.org/10.14279/depositonce-2753>
- Hutchins, E. L., Hollan, J. D. & Norman, D. A. (1985). Direct Manipulation Interfaces. *Human-Computer Interaction*, 1(4), 311–338. https://doi.org/10.1207/s15327051IHC0104_2
- Ilmberger, W., Schrepp, M. & Held, T. (2008). Cognitive Processes Causing the Relationship between Aesthetics and Usability. In: Holzinger, A. (eds), *IHC and usability for education and work* (pp. 43–54). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_4
- Iqbal, R., James, A. & Gatward, R. (2005). Designing with ethnography: An integrative approach to CSCW design. *Advanced Engineering Informatics*, 19(2), 81–92. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2005.05.003>
- Issa, T. & Isaias, P. (2015). Usability and Human Computer Interaction (IHC). In *Sustainable Design*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6753-2_2
- Issa, T. & Isaias, P. (2022). Usability and Human-Computer Interaction (IHC). In *Sustainable Design*. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7513-1_2
- Ives, B., Olson, M. H. & Baroudi, J. J. (1983). The measurement of user information satisfaction. *Communications of the ACM*, 26(10), 785–793. <https://doi.org/10.1145/358413.358430>
- Ivory, M. Y. & Hearst, M. A. (2001). The state of the art in automating usability evaluation of user interfaces. *ACM Computing Surveys*, 33(4), 470–516. <https://doi.org/10.1145/503112.503114>

- Jain, R. & Wullert, J. (2002). Challenges: Environmental design for pervasive computing systems. In *Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, 263–270. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/570645.570678>
- Janlert, L.-E. & Stolterman, E. (2015). Faceless Interaction—A Conceptual Examination of the Notion of Interface: Past, Present, and Future. *Human–Computer Interaction*, 30(6), 507–539. <https://doi.org/10.1080/07370024.2014.944313>
- Jantsch, E. (1972). Inter- and transdisciplinary university: A systems approach to education and innovation. *Higher Education*, 1(1), 7–37. <https://doi.org/10.1007/bf01956879>
- Jeffries, R., Miller, J. R., Wharton, C. & Uyeda, K. (1991). User interface evaluation in the real world. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems Reaching through Technology - CHI '91*, 119–124. <https://doi.org/10.1145/108844.108862>
- Jeon, M. (2017). Emotions and Affect in Human Factors and Human–Computer Interaction: Taxonomy, Theories, Approaches, and Methods. In M. Jeon (eds), *Emotions and Affect in Human Factors and Human-Computer Interaction* (3–26). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801851-4.00001-x>
- John, B. E. & Marks, S. J. (1997). Tracking the effectiveness of usability evaluation methods. *Behaviour and Information Technology*, 16(4), 188–202.
- Kanis, H. (1998). Usage centred research for everyday product design. *Applied Ergonomics*, 29(1), 75–82. [https://doi.org/10.1016/s0003-6870\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/s0003-6870(97)00028-8)
- Kaptelinin, V. & Nardi, B. A. (2012). *Affordances* in IHC: Toward a mediated action perspective. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2012)* (pp. 967–976). <https://doi.org/10.1145/2207676.2208541>
- Kaufman, L. & Weed, B. (1998). Too much of a good thing? In *CHI 98 Conference Summary on Human Factors in Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/286498.286693>
- Keane, W. (2018). On semiotic ideology. *Signs and Society*, 6(1), 64–87. <https://doi.org/10.1086/695387>
- Keenan, S. L., Hartson, H. R., Kafura, D. G. & Schulman, R. S. (1999). The usability problem taxonomy: A framework for classification and analysis. *Empirical Software Engineering*, 4(1), 71–104. <https://doi.org/10.1023/A:1009855231530>

- Kendall, P. C., Hooke, J. F., Rymer, R. & Finch, Jr., A. J. (1980). Cognitive style in adults: Task alternatives, task strategy, and time estimation. *Journal of Personality Assessment*, 44(2), 175–181. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4402_8
- Keyson, D. V. (2008). The experience of intelligent products. In H. N. J. Schifferstein & P. Hekkert (eds.), *Product experience* (pp. 515–530). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008045089-6.50025-3>
- Khalid, H. M. (2006). Embracing diversity in user needs for affective design. *Applied Ergonomics*, 37(4), 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.005>
- Kim, H. J., Choi, J. K. & Ji, Y. (2008). Usability evaluation framework for ubiquitous computing device. In *2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*. <https://doi.org/10.1109/iccit.2008.265>
- Kleinginna Jr., P. R. & Kleinginna, A. M. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion*, 5(4), 345–379. <https://doi.org/10.1007/BF00992553>
- Komine, K., Sawahata, Y., Uratani, N., Yoshida, Y., Ishikawa, K. & Inoue, T. (2006). Evaluation of a prototype remote control for digital broadcasting receivers by using semantic differential method. In *2006 Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics* (pp. 27–28). <https://doi.org/10.1109/ICCE.2006.15982933>
- Kortum, P. & Peres, S. C. (2014). The relationship between system effectiveness and subjective usability scores using the System Usability Scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(7), 575–584. <https://doi.org/10.1080/10447318.2014.904177>
- Koupric, M. & Visser, F. S. (2009). A framework for empathy in design: Stepping into and out of the user's life. *Journal of Engineering Design*, 20(5), 437–448. <https://doi.org/10.1080/09544820902875033>
- Landauer, T. K. (1988). Research methods in human-computer interaction. In M. Helander (Ed.), *Handbook of human-computer interaction* (pp. 905–928). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-70536-5.50047-6>
- Laugwitz, B., Held, T. & Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. In A. Holzinger (Ed.), *IHC and usability for education and work. USAB 2008. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 5298, pp. 63–76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- Law, E. L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A. P. O. S. & Kort, J. (2009a). Understanding, scoping and defining user experience. In *Proceedings of the 27th*

International Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI 09.
<https://doi.org/10.1145/1518701.1518813>

- Law, E., Scapin, D., Cockton, G., Stary, M. & Winckler, M. (2009b). Maturation of usability evaluation methods: Retrospect and prospect. In *COST294-MAUSE Closing Conference Proceedings*.
<https://www.irit.fr/recherches/ICS/projects/cost294/upload/533.pdf>
- Lee, C. H. & Paz, N. M. (1991). Human-computer interfaces: Modelling and evaluation. *Computers & Industrial Engineering*, 21(1–4), 577–581.
[https://doi.org/10.1016/0360-8352\(91\)90155-y](https://doi.org/10.1016/0360-8352(91)90155-y)
- Lewis, C. & Mack, R. (1982). Learning to use a text processing system. In *Proceedings of the 1982 Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '82*.
<https://doi.org/10.1145/800049.801817>
- Lewis, J. R. (1995). IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 7(1), 57–78. <https://doi.org/10.1080/10447319509526110>
- Lewis, J. R. (2018). Measuring perceived usability: SUS, UMUX, and CSUQ ratings for four everyday products. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 35(15), 1404–1419. <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1533152>
- Lewis, J. R. & Sauro, J. (2021). Usability and user experience: Design and evaluation. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (5th ed., pp. 972–1015). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch38>
- Licklider, J. C. R. (1960). Man-computer symbiosis. *IRE Transactions on Human Factors in Electronics*, HFE-1(1), 4–11.
<https://doi.org/10.1109/THFE2.1960.4503259>
- Liljegren, E. (2006). Usability in a medical technology context: Assessment of methods for usability evaluation of medical equipment. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(4), 345–352. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.10.004>
- Lin, L., Qin, W. & Long, C. (2016). The analysis and practice of the human-computer interaction course system in Stanford University. In *2016 11th international conference on computer science & education (ICCSE)*.
<https://doi.org/10.1109/iccse.2016.7581695>
- Lin, L., Qiu, J. & Lao, J. (2019). Intelligent human-computer interaction: A perspective on software engineering. In *2019 14th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*. <https://doi.org/10.1109/iccse.2019.8845354>

- Lin Cheoh, J., Beigpourian, B., Wei, S., Ferguson, D. & Ohland, M. (2020). Examining the perceptions of people with disabilities on the use of accessibility standards in web interface design. In *2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FIE44824.2020.9274056>
- Lindgaard, G. & Dudek, C. (2003). What is this evasive beast we call user satisfaction? *Interacting with Computers*, *15*(3), 429–452. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(02\)00063-2](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(02)00063-2)
- Lodding, K. N. (1983). Iconic interfacing. *IEEE Computer Graphics and Applications*, *3*(2), 11–20. <https://doi.org/10.1109/mcg.1983.262982>
- Lohman, D. F. (1989). Human intelligence: An introduction to advances in theory and research. *Review of Educational Research*, *59*(4), 333. <https://doi.org/10.2307/1170203>
- Lou, X., Peng, R., Hansen, P. & Li, X. A. (2017). Effects of user's hand orientation and spatial movements on free hand interactions with large displays. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *34*(6), 519–532. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1370811>
- Maier, J. R. A. & Fadel, G. M. (2008). *Affordance* based design: A relational theory for design. *Research in Engineering Design*, *20*(1), 13–27. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0060-3>
- Maguire, M. (2001). Methods to support human-centred design. *International Journal of Human-Computer Studies*, *55*(4), 587–634. <https://doi.org/10.1006/ijhc.2001.0503>
- Mahrin, M. N., Strooper, P. & Carrington, D. (2009). Selecting usability evaluation methods for software process descriptions. In *2009 16th Asia-Pacific Software Engineering Conference* (pp. 451–458). IEEE. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2009.33>
- McClelland, T. (2019). The mental *affordance* hypothesis. *Mind*. <https://doi.org/10.1093/mind/fzz036>
- McDonald, S., Monahan, K. & Cockton, G. (2006). Modified contextual design as a field evaluation method. In *Proceedings of the 4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Changing Roles – NordiCHI '06* (pp. 437–440). ACM. <https://doi.org/10.1145/1182475.1182531>
- McDougall, S. J. P., Curry, M. B. & de Bruijn, O. (1999). Measuring symbol and icon characteristics: Norms for concreteness, complexity, meaningfulness, familiarity, and semantic distance for 239 symbols. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, *31*(3), 487–519. <https://doi.org/10.3758/bf03200730>

- McGreener, J. (2000). "Bloat": The objective and subject dimensions. In *CHI '00 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 337–338). ACM. <https://doi.org/10.1145/633292.633495>
- McGreener, J. & Ho, W. (2000). *Affordances: Clarifying and evolving a concept*. In *Proceedings of the Graphics Interface 2000 Conference* (pp. 179–186). Canadian Information Processing Society. <https://doi.org/10.20380/GI2000.24>
- McRoberts, S. (2005). Risk management of product safety. In *IEEE Symposium on Product Safety Engineering, 2005* (pp. 65–71). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PSES.2005.1529524>
- Miki, H. (2014). User experience evaluation framework for human-centered design. In S. Yamamoto (Ed.), *Human interface and the management of information. Information and knowledge design and evaluation. HIMI 2014. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 8521, pp. 599–610). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07731-4_59
- Mingers, J. & Willcocks, L. (2017). An integrative semiotic methodology for IS research. *Information and Organization*, 27(1), 17–36. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2016.12.001>
- Minor, F. J. & Revesman, S. L. (1962). Evaluation of input devices for a data setting task. *Journal of Applied Psychology*, 46(5), 332–336. <https://doi.org/10.1037/h0044176>
- Morris, C. (1938). *Foundations of the theory of signs*. In O. Neurath, R. Carnap & C. Morris (Eds.), *International encyclopedia of unified science* (Vol. 1, No. 2, pp. 1–59). University of Chicago Press.
- Murugesan, S. (2008). Harnessing green IT: Principles and practices. *IT Professional*, 10(1), 24–33. <https://doi.org/10.1109/MITP.2008.10>
- Nadin, M. (1988). Interface design: A semiotic paradigm. *Semiotica*, 69(3–4), 269–302. <https://doi.org/10.1515/semi.1988.69.3-4.269>
- Neal, A. S. & Simons, R. M. (1984). Playback: A method for evaluating the usability of software and its documentation. *IBM Systems Journal*, 23(1), 82–96. <https://doi.org/10.1147/sj.231.0082>
- Newell, A. (1980). Physical symbol systems. *Cognitive Science*, 4(2), 135–183. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(80\)80015-2](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(80)80015-2)
- Newell, A., Shaw, J. C. & Simon, H. A. (1957). Empirical explorations of the logic theory machine. In *Papers presented at the February 26–28, 1957, Western Joint*

- Computer Conference: Techniques for reliability (IRE-AIEE-ACM '57 (Western))* (pp. 218–230). <https://doi.org/10.1145/1455567.1455605>
- Nielsen, J. (1992). The usability engineering life cycle. *Computer*, 25(3), 12–22. <https://doi.org/10.1109/2.121503>
- Nielsen, J. (1993a). *Usability engineering*. Academic Press.
- Nielsen, J. (1993b). Iterative user-interface design. *Computer*, 26(11), 32–41. <https://doi.org/10.1109/2.241424>
- Nielsen, J. (1994a). Usability inspection methods. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems – CHI '94* (pp. 413–414). <https://doi.org/10.1145/259963.260531>
- Nielsen, J. (1994b). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: Celebrating interdependence* (pp. 152–158). <https://doi.org/10.1145/191666.191729>
- Nielsen, J. (1995). Applying discount usability engineering. *IEEE Software*, 12(1), 98–100. <https://doi.org/10.1109/52.363161>
- Nisbett, R. E. & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review*, 84(3), 231–259. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.3.231>
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. Basic Books.
- Norman, D. A. (1999). Affordance, conventions, and design. *Interactions*, 6(3), 38–43. <https://doi.org/10.1145/301153.301168>
- Norman, D. A. (2004). *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. Basic Books.
- Norman, D., Miller, J. & Henderson, A. (1995). What you see, some of what's in the future, and how we go about doing it. In *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems – CHI '95* (pp. 155–156). <https://doi.org/10.1145/223355.223477>
- Osgood, C. E. (1952). The nature and measurement of meaning. *Psychological Bulletin*, 49(3), 197–237. <https://doi.org/10.1037/h0055737>
- Pargman, D. & Raghavan, B. (2014). Rethinking sustainability in computing: From buzzword to non-negotiable limits. In *Proceedings of the 2014 Conference on Designing Interactive Systems* (pp. 117–126). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2639189.2639228>

- Paz, F. & Pow-Sang, J. A. (2014). Current trends in usability evaluation methods: A systematic review. In *Proceedings of the 2014 7th International Conference on Advanced Software Engineering and Its Applications (ASEA)*. <https://doi.org/10.1109/ASEA.2014.10>
- Paz, F. & Pow-Sang, J. A. (2015). Usability evaluation methods for software development: A systematic mapping review. In *Proceedings of the 2015 8th International Conference on Advanced Software Engineering & Its Applications (ASEA)*. <https://doi.org/10.1109/ASEA.2015.8>
- Paz, F., Paz, F. A. & Pow-Sang, J. A. (2016). Evaluation of usability heuristics for transactional web sites: A comparative study. In *Information Technology: New Generations* (pp. 1063–1073). https://doi.org/10.1007/978-3-319-32467-8_92
- Pearson, S. W. & Bailey, J. E. (1980). Measurement of computer user satisfaction. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 9(1), 59–68. <https://doi.org/10.1145/1041872.1041881>
- Pelc, J. (2000). Semiosis and semiotics vs. semiotics. *Semiotica*, 128(3–4), 425–441. <https://doi.org/10.1515/semi.2000.128.3-4.425>
- Perlman, G. (1990). Teaching user interface development to software engineering and computer science majors. *ACM SIGCHI Bulletin*, 22(1), 61–66. <https://doi.org/10.1145/101288.101301>
- Platt, A.-B. (1999). The usability risk. In *Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Reliable Distributed Systems* (pp. 396–400). <https://doi.org/10.1109/RELDIS.1999.805130>
- Preussner, A., Sun, Y., Mathis, F. & Schöning, J. (2025). Exploring user perceptions on visual CO2 representations as eco-feedback in virtual reality. In *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Article N°. 255, pp. 1–8). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3706599.3720010>
- Qi, J., Ma, L., Cui, Z. & Yu, Y. (2024). Computer vision-based hand gesture recognition for human-robot interaction: A review. *Complex Intelligent Systems*, 10, 1581–1606. <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01173-6>
- Ramsey, H. R. & Atwood, M. E. (1980). Man-computer interface design guidance: State of the art. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 24(1), 85–89. <https://doi.org/10.1177/107118138002400125>
- Randall, D., Rouncefield, M. & Tolmie, P. (2021). Ethnography, CSCW and ethnomethodology. *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 30(2), 189–214. <https://doi.org/10.1007/s10606-020-09388-8>

- Randell, B. (1975). System structure for software fault tolerance. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 1(1), 220–232. <https://doi.org/10.1109/TSE.1975.6312842>
- Rauner, F., Rasmussen, L. & Corbett, J. M. (1988). The social shaping of technology and work: Human centred CIM systems. *AI & Society*, 2(1), 47–61. <https://doi.org/10.1007/bf01891442>
- Raskin, J. (1994). Intuitive equals familiar. *Communications of the ACM*, 37(9), 17–18. <https://doi.org/10.1145/182987.584629>
- Remy, C., Bates, O., Dix, A., Thomas, V., Hazas, M., Friday, A. & Huang, E. M. (2018). Evaluation beyond usability: Validating sustainable IHC research. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paper 216, 1–14. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3173574.3173790>
- Rogers, Y. (2004). New theoretical approaches for human-computer interaction. *Annual Review of Information Science and Technology*, 38(1), 87–143. <https://doi.org/10.1002/aris.1440380103>
- Romero, D., Bernus, P., Noran, O., Stahre, J. & Fast-Berglund, Å. (2016). The Operator 4.0: Human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems. In *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World* (pp. 677–686). https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_80
- Roseman, I. J. (2011). Emotional behaviors, emotivational goals, emotion strategies: Multiple levels of organization integrate variable and consistent responses. *Emotion Review*, 3(4), 434–443. <https://doi.org/10.1177/1754073911410744>
- Rosenbaum, S. (2008). The future of usability evaluation: Increasing impact on value. In *Human-Computer Interaction Series*, 344–378. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-941-5_15
- Rouse, W. B. (1977). Human-computer interaction in multitask situations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 7(5), 384–392. <https://doi.org/10.1109/tsmc.1977.4309727>
- Rusu, C., Rusu, V., Roncagliolo, S. & González, C. (2015). Usability and user experience. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, 8(2), 1–12. <https://doi.org/10.4018/ijitsa.2015070101>
- Sauer, J., Seibel, K. & Rüttinger, B. (2010). The influence of user expertise and prototype fidelity in usability tests. *Applied Ergonomics*, 41(1), 130–140. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2009.06.003>

- Sauro, J. & Kindlund, E. (2005). A method to standardize usability metrics into a single score. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '05* (pp. 401–409). <https://doi.org/10.1145/1054972.1055028>
- Scarlett, A. & Zeilinger, M. (2019). Rethinking *affordance*. *Media Theory*, 3(1), 1–48.
- Schwabish, S. D. & Drury, C. G. (1984). The influence of the reflective-impulsive cognitive style on visual inspection. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26(6), 641–647. <https://doi.org/10.1177/001872088402600603>
- Seffah, A., Donyaee, M., Kline, R. B. & Padda, H. K. (2006). Usability measurement and metrics: A consolidated model. *Software Quality Journal*, 14(2), 159–178. <https://doi.org/10.1007/s11219-006-7600-8>
- Seva, R. R., Gosiaco, K. G. T., Santos, M. C. E. D. & Pangilinan, D. M. L. (2011). Product design enhancement using apparent usability and affective quality. *Applied Ergonomics*, 42(3), 511–517. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.09.009>
- Shackel, B. (2009). Usability – Context, framework, definition, design and evaluation. *Interacting with Computers*, 21(5–6), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2009.04.007>
- Sharma, V., Kumar, N. & Nardi, B. (2023). Post-growth human–computer interaction. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 31(1), 1–37. <https://doi.org/10.1145/3624981>
- Shaw, R. E., Turvey, M. T. & Mace, W. M. (1982). Ecological psychology: The consequence of a commitment to realism. In W. Weimer & D. S. Palermo (Eds.), *Cognition and the symbolic processes* (Vol. 2, pp. 159–226). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shenbagam, J. & Salini, P. (2014). Vulnerability ontology for web applications to predict and classify attacks. In *2014 International Conference on Electronics, Communication and Computational Engineering (ICECCE)*. <https://doi.org/10.1109/ICECCE.2014.7086625>
- Shneiderman, B. (1982). The future of interactive systems and the emergence of direct manipulation. *Behaviour & Information Technology*, 1(3), 237–256. <https://doi.org/10.1080/01449298208914450>
- Shneiderman, B. (1986). Seven plus or minus two central issues in human-computer interaction. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '86)* (pp. 343–349). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/22627.22394>

- Shneiderman, B. (1990). Human values and the future of technology. *ACM SIGCHI Bulletin*, 23(1), 11–16. <https://doi.org/10.1145/122672.122674>
- Shneiderman, B. (1997). Direct manipulation for comprehensible, predictable and controllable user interfaces. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent User Interfaces - IUI '97*. <https://doi.org/10.1145/238218.238281>
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial* (3rd ed.). MIT Press.
- Simonsen, J. & Kensing, F. (1997). Using ethnography in contextual design. *Communications of the ACM*, 40(7), 82–88. <https://doi.org/10.1145/256175.256190>
- Siochi, A. C. & Hartson, H. R. (1989). Task-oriented representation of asynchronous user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems – Wings for the Mind - CHI '89*. <https://doi.org/10.1145/67449.67487>
- Smith, A. (2006). Cognitive empathy and emotional empathy in human behavior and evolution. *The Psychological Record*, 56(1), 3–21. <https://doi.org/10.1007/bf03395534>
- Sowa, J. F. (2015). Signs and reality. *Applied Ontology*, 10(3–4), 273–284. <https://doi.org/10.3233/AO-150159>
- Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11), 1–29. <https://doi.org/10.1037/h0093759>
- Stanton, N. A., Hedge, A., Brookhuis, K., Salas, E. & Hendrick, H. W. (Eds.). (2004). *Handbook of human factors and ergonomics methods* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203489925>
- Still, J. D. (2009). *Conceptualizing design affordances from a cognitive perspective* (Doctoral dissertation). Iowa State University, Ames, Iowa. <https://doi.org/10.31274/ETD-180810-2729>
- Stoffregen, T. A. (2000). Affordances and events. *Ecological Psychology*, 12(1), 1–28. https://doi.org/10.1207/s15326969eco1201_1
- Tractinsky, N. (1997). Aesthetics and apparent usability: Empirically assessing cultural and methodological issues. In *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '97)*, 115–122. Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/258549.258626>
- Tractinsky, N., Katz, A. S. & Ikar, D. (2000). What is beautiful is usable. *Interacting with Computers*, 13(2), 127–145. [https://doi.org/10.1016/S0953-5438\(00\)00031-X](https://doi.org/10.1016/S0953-5438(00)00031-X)

- Tractinsky, N. (2017). The Usability Construct: A Dead End? *Human-Computer Interaction*, 33(2), 131–177. <https://doi.org/10.1080/07370024.2017.1298038>
- Tullis, T. & Albert, B. (2013). *Measuring the user experience: Collecting, analyzing, and presenting usability metrics* (2nd ed.). Morgan Kaufmann. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-00016-9>
- Turner, P. (2005). Affordance as context. *Interacting with Computers*, 17(6), 787–800. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2005.04.003>
- Turvey, M. T. (1992). Affordances and Prospective Control: An Outline of the Ontology. *Ecological Psychology*, 4(3), 173–187. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0403_3
- Van der Bijl-Brouwer, M. & Dorst, K. (2017). Advancing the strategic impact of human-centred design. *Design Studies*, 53, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.003>
- Van Turnhout, K., Bakker, R., Bennis, A., Craenmehr, S., Holwerda, R., Jacobs, M., ... Lenior, D. (2014). Design patterns for mixed-method research in IHC. *Proceedings of the 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction Fun, Fast, Foundational - NordiCHI '14*. <https://doi.org/10.1145/2639189.2639220>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B. & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Vermeeren, A. P. O. S., Lai-Chong Law, E., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J. & Väänänen-Vainio-Mattila, K. (2010). User experience evaluation methods: Current state and development needs. In *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries: NordiCHI '10* (pp. 521–530). ACM. <https://doi.org/10.1145/1868914.1868973>
- Virzi, R. A., Sorce, J. F. & Herbert, L. B. (1993). A comparison of three usability evaluation methods: Heuristic, think-aloud, and performance testing. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 37(4), 309–313. <https://doi.org/10.1177/154193129303700412>
- Vyas, D., Chisalita, C. M. & van der Veer, G. C. (2006). Affordance in interaction. *Proceedings of the 13th European Conference on Cognitive Ergonomics: Trust and Control in Complex Socio-Technical Systems - ECCE '06*. <https://doi.org/10.1145/1274892.1274907>
- Wang, J. (2019). From self-efficacy to human-computer interaction design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1168, 032060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1168/3/032060>

- Watson, D., Clark, L. A. & Tellegen, A. (1988). Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 1063–1070. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.6.1063>
- Wegge, K. P. & Zimmermann, D. (2007). Accessibility, usability, safety, ergonomics: Concepts, models, and differences. In C. Stephanidis (Ed.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Coping with Diversity. UAIHC 2007. Lecture Notes in Computer Science* (Vol. 4554). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73279-2_33
- Weichbroth, P. (2020). Usability of mobile applications: A systematic literature study. *IEEE Access*, 8, 55563–55577. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2981892>
- Westland, J. C. (2002). The cost of errors in software development: Evidence from industry. *Journal of Systems and Software*, 62(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/s0164-1212\(01\)00130-3](https://doi.org/10.1016/s0164-1212(01)00130-3)
- Wichansky, A. M. (2000). Usability testing in 2000 and beyond. *Ergonomics*, 43(7), 998–1006. <https://doi.org/10.1080/001401300409170>
- Wittmann, W. W. & Hattrup, K. (2004). The relationship between performance in dynamic systems and intelligence. *Systems Research and Behavioral Science*, 21(4), 393–409. <https://doi.org/10.1002/sres.653>
- Wixon, D. (2011). Measuring fun, trust, confidence, and other ethereal constructs: It isn't that hard. *Interactions*, 18(6), 68–71. <https://doi.org/10.1145/2029976.2029995>
- Woods, D. D. & Roth, E. M. (1988). Cognitive systems engineering. *Handbook of Human-Computer Interaction*, 3–43. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-70536-5.50006-3>
- Wright, G. & Ayton, P. (1987). Eliciting and modelling expert knowledge. *Decision Support Systems*, 3(1), 13–26. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(87\)90032-7](https://doi.org/10.1016/0167-9236(87)90032-7)
- Wright, P. C. & Monk, A. F. (1991). A cost-effective evaluation method for use by designers. *International Journal of Man-Machine Studies*, 35(6), 891–912. [https://doi.org/10.1016/s0020-7373\(05\)80167-1](https://doi.org/10.1016/s0020-7373(05)80167-1)
- Yang, D. (2020). Research on the dynamic principle of visual perception in product design. In *2020 International Conference on Intelligent Design (ICID)*, 219–222. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICID52250.2020.00053>
- You, H. & Chen, K. (2007). Applications of *affordance* and semantics in product design. *Design Studies*, 28(1), 23–38. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.07.002>

- Yusop, N. S. M., Grundy, J. & Vasa, R. (2017). Reporting usability defects: A systematic literature review. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 43(9), 848–867. <https://doi.org/10.1109/TSE.2016.2638427>
- Zali, Z. (2016). An initial theoretical usability evaluation model for assessing defence mobile e-based application system. In *2016 International Conference on Information and Communication Technology (ICICTM)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICTM.2016.7890800>
- Zarour, M. & Alharbi, M. (2017). User experience framework that combines aspects, dimensions, and measurement methods. *Cogent Engineering*, 4(1), 1421006. <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1421006>
- Zhai, Q.-g., Smyth, R., Nielsen, I. & Luan, X.-y. (2009). The role of positive and negative affectivity on job satisfaction and life satisfaction. In *2009 International Conference on Management Science and Engineering*, 1184–1189. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICMSE.2009.5318066>
- Zhang, D. & Adipat, B. (2005). Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 18(3), 293–308. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1803_3
- Zhang, J. & Patel, V. L. (2006). Distributed cognition, representation, and affordance. *Pragmatics & Cognition*, 14(2), 333–341. <https://doi.org/10.1075/pc.14.2.12zha>
- Zhou, X., Jin, Y., Zhang, H., Li, S. & Huang, X. (2016). A map of threats to validity of systematic literature reviews in software engineering. In *2016 23rd Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, 153–160. <https://doi.org/10.1109/APSEC.2016.031>
- Zulfiandri, S., Putri, S. N. & Subiyakto, A. (2021). Evaluating user interface of a transport application using usability evaluation methods. In *2021 9th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, 1–7. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CITSM52892.2021.9589020>

15. APÊNDICE I: ESTRUTURAS VETORIAIS E ATRIBUTOS DIMENSIONAIS DO FCIA-OT

O presente apêndice consolida a síntese das estruturas vetoriais, atributos dimensionais e parâmetros de codificação que sustentam a arquitetura analítica do Framework Core Integrado e Avançado para Análise e Avaliação de Objetos Tecnológicos (FCIA-OT).

As informações aqui reunidas resultam de um processo inferencial cumulativo, desenvolvido ao longo das etapas metodológicas representadas nas Figuras 3 e 4 desta pesquisa, e originalmente detalhado nos artigos científicos que compõem o livro-base desta pesquisa.

Cada tabela apresentada a seguir representa uma síntese integrada dos resultados e análises consolidados nos artigos, estruturada de modo a evidenciar: Os vetores analíticos que compõem cada dimensão do modelo; A relação funcional desses elementos com os subsistemas métricos e computacionais; Os critérios de codificação cromática e ponderação utilizados na representação gráfica e na inferência de escores; e A correspondência epistemológica entre os vetores e os referenciais teóricos integrados.

Cada vetor foi derivado por inferência cruzada das análises comparativas descritas nos artigos correspondentes. As ponderações foram determinadas com base na média ponderada dos critérios de relevância teórico-empírica e aplicabilidade técnica, conferindo coerência com os mecanismos de pontuação definidos no subsistema SPMI.

Em um estudo seminal sobre a estrutura quantitativa da linguagem avaliativa, Cliff (1959) demonstrou que expressões formadas por adjetivos e advérbios se combinam de modo multiplicativo, produzindo gradientes de intensidade que podem ser representados em escalas psicofísicas contínuas. Essa formulação evidenciou que os julgamentos de favorabilidade ou desfavorabilidade se distribuem ao longo de um eixo de polaridade e magnitude, análogo a um vetor de valência, cuja densidade pode ser expressa numericamente. Esse princípio conceitual de multiplicação escalar e continuidade dimensional fundamenta a possibilidade de modelar sistemas de pontuação que associam valores e densidades representacionais, como na estrutura modular do SPMI e SCDMIC, em que os níveis de intensidade e direção são organizados em uma escala bidimensional contínua, dotada de coerência psicométrica e interpretativa.

Assim, esse Apêndice I não constitui material complementar, mas uma formalização consolidada e auditável do núcleo inferencial do FCIA-OT, permitindo transparência metodológica, reprodutibilidade e rastreabilidade dos dados estruturais do modelo.

TABELA 7.1: PERCEPÇÃO (PRC)

Vetores	Definições	SPMI
Instrutiva	Percepção imediata e direta do objeto.	10
Argumentativa (Analítica ou Reflexiva)	Percepção do artefato após análise.	5
Reativa	Percepção evolui com a clareza do artefato.	3
Indagativa	Percepção requer clareza ou instrução.	2
Exploratória	Percepção surge só pela experimentação.	-5

TABELA 7.2: AFFORDANCE (AFF)

Vetores	Definições	SPMI
Consolidada	Ação clara, imediata e correta.	10
Perceptível	Propriedade perceptível, fácil e identificável.	9
Interpretada	Exige clareza e contexto para ser usada.	8
Requer Informação	Necessita instruções ou aprendizado prévio.	2
Indutiva Positiva	Sugere múltiplas ações; ao menos uma correta.	-1
Dupla Interpretação	Ambígua; pode gerar erro ou falha.	-3
Indutiva Negativa	Induz a procedimentos de erro.	-4
Não Interpretada	O artefato não é reconhecido.	-5
Emergente	Descoberta durante o uso; função não projetada.	C
Finalística	Ação cumpre o objetivo funcional esperado.	C

As categorias “Emergente” e “Finalística” são Condicionais (C) sistêmicas (não pontuadas diretamente), pois dependem de inferência cruzada com outras dimensões (Efetividade, Atributos, Gravidade de Erro).

TABELA 7.3: EFETIVIDADE (EFT)

Vetores	Definições	SPMI
Efetiva	Completa, precisa e estável; alto desempenho e alinhamento funcional.	10
Considerável	Desempenho funcional satisfatório, com necessidade de ajustes parciais.	5
Razoável	Limitações técnicas e desvios que afetam parcialmente a eficiência.	-3
Não Razoável	Falhas e disfunções que comprometem completude e conformidade.	-5

TABELA 7.4: CONHECIMENTOS/EXPERIÊNCIA (CEX)

Vetores	Definições	SPMI
Iniciante	Executa funções básicas com apoio externo.	10
Operador Básico	Opera rotinas simples com instruções.	9
Agente Funcional	Utiliza funções padrão com autonomia parcial.	8
Técnico Operacional	Corrige falhas e ajusta parâmetros básicos.	7
Técnico Avançado I	Mantém e reconfigura sistemas controlados.	6
Técnico Avançado II	Integra tecnologias e adapta componentes.	5
Especialista em Integração	Compatibiliza múltiplas tecnologias.	4
Especialista em Arquitetura Tecnológica	Projeta e mantém sistemas complexos.	3
Profissional Sistêmico	Atua interdisciplinarmente em tecnologias avançadas.	2
Nível Estratégico/ Desenvolvedor	Cria e valida objetos tecnológicos.	1

TABELA 7.5: REQUISITOS DE OBJETOS (RQO)

Requisitos de Objetos	Descrição
Projeto	Concepção ou detalhamento técnico inicial do objeto.
Protótipo	Versão experimental ou inicial do objeto tecnológico.
Objeto	Entidade principal de análise (dispositivo, sistema ou solução).
Peças e Partes	Componentes individuais do objeto tecnológico.
Hardware	Elementos físicos que compõem a tecnologia.
Hardware: Equipamento	Máquinas e dispositivos gerais.
Hardware: Servidor	Equipamento para hospedagem de sistemas e dados.
Hardware: Computador (PC)	Computadores pessoais em diversos contextos.
Hardware: Dispositivo IoT	Sensores e atuadores conectados à Internet.
Hardware: Dispositivos Móveis	Smartphones, tablets e similares.
Hardware: Vestíveis (Wearables)	Dispositivos tecnológicos usados no corpo.
Materiais Avançados	Materiais com propriedades inovadoras para o objeto.
Hardware: Rede	Dispositivos de infraestrutura de rede.

Equipamento	Aparelhos para funções específicas.
Equipamentos: Eletroeletrônicos	Dispositivos elétricos domésticos ou industriais.
Sistema	Conjunto de componentes interconectados em sinergia.
Software	Programas que realizam funções específicas.
Software: Sistema Operacional	Plataforma que gerencia hardware e software.
Software: Aplicativo	Programas para tarefas específicas.
Sistema Integrado	Combinação de hardware, software e rede para soluções completas.
Software: Middleware	Software intermediário para integração de sistemas.
Ferramenta Digital	Hardware ou software que facilita tarefas.
Biotecnologia	Aplicações tecnológicas baseadas em organismos vivos.
Inteligência Artificial	Sistemas computacionais que simulam capacidades humanas.
Tecnologias Híbridas	Combinação de tecnologias para soluções inovadoras.
Design	Planejamento e estruturação do objeto.
Design: Objeto	Aspectos estéticos e funcionais globais.
Design: Hardware	Estética e funcionalidade do hardware.
Design: Software	Interface e usabilidade de softwares.
Design: Interface	Interação entre agente e sistema.
Design: Tela(s)/Formulários	Estruturas visuais apresentadas ao agente.
Processo	Conjunto de ações que produzem resultados.
Procedimento	Sequência de passos para execução de tarefas.
Algoritmo	Lógica computacional e sequência de passos.
API	Interface de programação que conecta sistemas e aplicações.

TABELA 7.6: REQUISITOS DE ARTEFATOS DE OBJETOS (RQA)

Requisitos de Artefatos de Objetos	Descrição	SPMI
Tamanho	Medidas gerais do objeto ou componente.	-5 a 10
Dimensão	Altura, largura e profundidade do artefato.	-5 a 10
Estrutura	Organização física ou funcional do artefato.	-5 a 10
Peso	Massa do objeto, considerando transporte e usabilidade.	-5 a 10
Altura/Espaço Interior	Dimensões internas ou altura útil do objeto.	-5 a 10
Massa	Quantidade de matéria presente no artefato.	-5 a 10
Superfície	Textura e acabamento externo.	-5 a 10
Elasticidade	Capacidade de retornar à forma original após deformação.	-5 a 10
Rigidez	Resistência à deformação sob esforço.	-5 a 10
Durabilidade	Capacidade de manter funcionalidade ao longo do tempo.	-5 a 10
Forma	Configuração geométrica ou contornos do artefato.	-5 a 10
Qualidade	Avaliação geral da excelência do artefato.	-5 a 10
Resistência	Suporte a esforços físicos ou ambientais.	-5 a 10
Mobilidade	Capacidade de deslocamento ou transporte.	-5 a 10
Aquecimento	Comportamento térmico durante o uso.	-5 a 10
Consumo	Eficiência no uso de energia ou recursos.	-5 a 10
Textura	Características táteis da superfície.	-5 a 10
Cor(es)	Paleta de cores do design.	-5 a 10
Luminosidade	Intensidade de luz emitida ou refletida.	-5 a 10
Opacidade	Grau de transparência ou visibilidade.	-5 a 10
Interface	Ponto de interação entre agente e sistema.	-5 a 10
Paginação	Organização de conteúdo visual.	-5 a 10
Movimentação	Capacidade de movimentação do artefato.	-5 a 10
Posição/Localização	Orientação ou posição espacial.	-5 a 10

Visualização/Visual	Clareza das representações visuais.	-5 a 10
Controles de Interface	Elementos usados para manipular o sistema.	-5 a 10
Símbolos/Ícones/Representação	Elementos gráficos de comunicação visual.	-5 a 10
Configuração	Ajustes e parâmetros configuráveis.	-5 a 10
Instalação	Facilidade de montagem ou preparação.	-5 a 10
Desinstalação	Simplicidade na remoção ou desmontagem.	-5 a 10
Complexidade	Grau de dificuldade de uso ou entendimento.	-5 a 10
Responsividade	Adaptação a diferentes condições de uso.	-5 a 10
Lógica de Interface	Organização e funcionamento da interface.	-5 a 10
Lógica Execução	Fluxo funcional do artefato.	-5 a 10
Lógica Procedimento	Métodos ou etapas de operação.	-5 a 10
Processamento Envio	Maneira de processar e enviar dados.	-5 a 10
Processamento Resposta	Tempo e qualidade de resposta.	-5 a 10
Interação	Capacidade de interagir com sistemas ou agentes.	-5 a 10
Compatibilidade	Funcionamento com diferentes sistemas ou padrões.	-5 a 10
Adaptabilidade	Ajuste a contextos ou agentes diversos.	-5 a 10
Inteligência Computacional	Uso de IA para funcionalidades aprimoradas.	-5 a 10
Biocompatibilidade	Compatibilidade com sistemas biológicos.	-5 a 10
Hibridização	Combinação de diferentes tecnologias.	-5 a 10
Personalização	Ajuste às preferências do agente.	-5 a 10
Armazenamento	Capacidade de armazenar dados ou informações.	-5 a 10
Velocidade/Frequência	Desempenho relacionado a tempo e ciclos.	-5 a 10
Interconexão	Conexão e integração entre componentes.	-5 a 10
Erro	Falhas operacionais menores.	-5 a 10
Instabilidade/Travamento	Congelamento temporário do objeto.	-5 a 10
Pane	Falha crítica que torna o objeto inoperante.	-5 a 10
Resiliência	Capacidade de recuperação após falhas.	-5 a 10
Instruções Técnicas	Disponibilidade e clareza de manuais e guias.	-5 a 10
Mantenabilidade	Facilidade de manutenção preventiva ou corretiva.	-5 a 10
Assistência Técnica	Suporte técnico disponível e qualificado.	-5 a 10

TABELA 7.7: GRAVIDADE DE ERROS (GVE)

Vetores	Definições	SPMI
Ausência de Erros	Todas as funções operam corretamente, sem falhas.	0
Insignificante	Erro sem impacto perceptível; não requer correção imediata.	1
Leve	Erro minimamente afeta a usabilidade; atenção em versões futuras.	2
Moderado	Erro limita funções e pode causar frustração ao agente.	3
Grave	Erro compromete funções importantes; correção prioritária.	4
Muito Grave	Falha crítica que impede uso ou causa perda de dados; correção urgente.	5

TABELA 7.8: GRAUS DE RISCO (GSR)

Vetores	Definições	SPMI
Ausência de Risco	Nenhum risco previsto; uso seguro e estável.	0
Baixíssimo	Risco quase inexistente; pequenos inconvenientes sem impacto grave.	1
Baixo	Risco limitado; possíveis problemas menores de usabilidade ou funcionamento.	2
Moderado	Risco que pode afetar uso e segurança do agente; falhas repetitivas moderadas.	3
Alto	Risco sério; possibilidade de ferimentos, falhas críticas ou perda de dados.	4
Muito Alto	Risco extremo; acidentes graves ou falha completa do sistema.	5

TABELA 7.9: ATRIBUTOS (ATB)

Vetores	Definições	SPMI
Usabilidade	Facilidade de compreensão e uso eficiente do objeto.	-5 a 10
Utilidade	Capacidade do objeto de atender necessidades práticas da tarefa.	-5 a 10
Eficiência	Rapidez e otimização de recursos na execução de tarefas.	-5 a 10
Funcionalidade	Capacidade de realizar corretamente as operações previstas.	-5 a 10
Acessibilidade	Possibilidade de uso por agentes com diferentes capacidades.	-5 a 10
Flexibilidade	Adaptação do objeto a diferentes cenários e necessidades.	-5 a 10
Controlabilidade	Grau de ajuste e manipulação para resultados precisos.	-5 a 10
Interoperabilidade	Funcionamento integrado com outros sistemas e dispositivos.	-5 a 10
Portabilidade	Facilidade de transporte e uso em diferentes ambientes.	-5 a 10
Conformidade	Adequação a normas, regulamentos e padrões técnicos.	-5 a 10
Estabilidade	Consistência e confiabilidade do objeto ao longo do tempo.	-5 a 10
Estética	Apelo visual e design que influenciam aceitação e satisfação.	-5 a 10
Aceitabilidade	Disposição em adotar o objeto funcional.	-5 a 10
Inovação	Grau de incorporação de soluções ou tecnologias novas.	-5 a 10
Simplicidade	Clareza e objetividade na operação e interação do objeto.	-5 a 10

TABELA 7.10: ACESSIBILIDADE (ACB)

Vetores	Definições	SPMI
Alternativas de Texto (Texto Alt)	Descrições alternativas para elementos não textuais.	-5 a 10
Redundância de Informação	Informação essencial apresentada em múltiplos formatos.	-5 a 10
Interação com Conteúdos Multimídia	Controles acessíveis para vídeos, áudios e multimídia.	-5 a 10
Suporte a Conteúdos em Diversos Idiomas	Tradução acessível para múltiplos idiomas.	-5 a 10
Navegação por Teclado	Permite navegação completa via teclado.	-5 a 10
Consistência de Navegação	Estrutura e navegação previsível para reduzir carga cognitiva.	-5 a 10
Navegação por Categorias e Filtros	Acesso eficiente a menus e filtros acessíveis.	-5 a 10
Controle de Tempo e Interação	Ajuste de tempos para atividades e interações.	-5 a 10
Contraste de Cores	Contraste adequado para leitura por pessoas com deficiência visual.	-5 a 10
Tamanho e Ajustabilidade de Fonte	Ajuste do tamanho do texto sem perda de funcionalidade.	-5 a 10
Visibilidade e Legibilidade	Fontes claras, espaçamento e contraste adequados.	-5 a 10
Ajustes de Acessibilidade	Opções de personalização como aumentar texto ou contraste.	-5 a 10
Adaptação a Contextos de Uso	Ajustes para diferentes ambientes e condições.	-5 a 10
Formulários Acessíveis	Rótulos e instruções claros em formulários.	-5 a 10
Feedback de Erros e Sucesso	Comunicação clara de erros e confirmações.	-5 a 10
Erros de Entrada Claros	Indicação acessível de erros e sugestões de correção.	-5 a 10
Multimodalidade	Entrada e saída por múltiplos modos (texto, áudio, gestos).	-5 a 10
Acessibilidade em AR/VR	Interfaces adaptadas para realidade aumentada e virtual.	-5 a 10
Acessibilidade em IoT	Dispositivos IoT acessíveis via voz ou apps adaptados.	-5 a 10
Acessibilidade em	Interface móvel otimizada com gestos e voz.	-5 a 10

Aplicações Móveis		
Leitura de Tela	Compatibilidade com softwares de leitura de tela.	-5 a 10
Compatibilidade com Tecnologias Assistivas	Suporte a leitores, ampliadores e controles por voz.	-5 a 10
Acessibilidade em Interfaces de Voz	Interação por comandos de voz com feedback auditivo.	-5 a 10
Privacidade e Segurança Acessível	Configurações de privacidade claras e acessíveis.	-5 a 10
Acessibilidade Cognitiva	Navegação clara e instruções simples para dificuldades cognitivas.	-5 a 10
Tempo de Reação e Interatividade	Ajuste de tempo de resposta para agentes com limitações.	-5 a 10
Respostas e Transições Suaves	Animações e transições suaves para acessibilidade sensorial.	-5 a 10
Acessibilidade em Situações Temporárias	Suporte a limitações momentâneas do agente.	-5 a 10
Feedback Multimodal	Feedback visual, tátil e auditivo em todas as interações.	-5 a 10
Stress e Bem-Estar	Design que minimiza estresse e promove bem-estar.	-5 a 10

TABELA 7.11: TECNOLOGIA QRSUER

Vetores	Definições	SPMI
Utilidade e Eficiência de Recursos	Atende necessidades práticas, promovendo eficiência e uso responsável de recursos.	-5 a 10
Sustentabilidade de Recursos	Uso de materiais renováveis e gestão eficiente de insumos.	-5 a 10
Redução de Emissões	Minimiza emissões de poluentes durante o ciclo de vida.	-5 a 10
Gestão de Resíduos Sólidos	Minimiza geração de resíduos e promove reutilização adequada.	-5 a 10
Descarte Ativo	Estratégias para descarte responsável, reciclagem e reutilização.	-5 a 10
Neutralidade de Carbono	Compensa ou elimina emissões de carbono do produto/sistema.	-5 a 10
Impacto Regenerativo	Contribui para regeneração ambiental além da redução de impactos.	-5 a 10
Eficiência Hídrica	Otimiza consumo e reúso de água.	-5 a 10
Biodiversidade Protegida	Minimiza impactos em ecossistemas e protege espécies nativas.	-5 a 10
Reciclabilidade	Facilita reaproveitamento ou reciclagem de componentes.	-5 a 10
Reparação Facilitada	Facilidade para reparar ou substituir componentes.	-5 a 10
Adaptabilidade Modular	Permite modificação e atualização de componentes modulares.	-5 a 10
Design Circular	Promove durabilidade, reutilização e economia circular.	-5 a 10
Impacto Social e Equidade	Fomenta inclusão e redução de desigualdades sociais.	-5 a 10
Inclusão Tecnológica	Garante acesso equitativo a tecnologias.	-5 a 10
Impacto Econômico Local Positivo	Apoia cadeias locais e geração de empregos.	-5 a 10
Transparência e Privacidade	Comunicação clara e uso ético de dados.	-5 a 10
Transparência e Rastreabilidade	Divulgação verificável de informações ambientais e sociais.	-5 a 10
Conformidade Legal	Cumprimento de leis e regulamentos ambientais.	-5 a 10
Ética e Transparência em Sistemas de IA	Uso ético e responsável de IA, mitigando vieses.	-5 a 10
Segurança nos Materiais	Materiais não tóxicos e seguros para saúde e meio ambiente.	-5 a 10
Integração Sustentável	Equilíbrio entre desempenho e impacto ambiental positivo.	-5 a 10
Inovação Responsável	Tecnologias que beneficiam sociedade e meio ambiente.	-5 a 10
Uso Eficiente de Espaço	Otimização do espaço sem comprometer a funcionalidade.	-5 a 10
Preservação Ambiental	Conservação de ecossistemas e biodiversidade.	-5 a 10

Preservação de Recursos Hídricos e Subterrâneos	Proteção e uso sustentável da água superficial e subterrânea.	-5 a 10
Poluição do Ar e Proteção da Atmosfera	Minimiza emissões e protege a qualidade do ar.	-5 a 10
Contaminações Químicas, Radioativas e de Materiais Pesados	Mitiga riscos à saúde e ao meio ambiente por contaminantes.	-5 a 10
Poluição do Espaço e Impacto Ambiental	Previne poluição ambiental, incluindo resíduos espaciais e subprodutos nocivos.	-5 a 10

Dimensão Tecnologia QRSUER (Qualidade, Responsabilidade Social, Sustentabilidade, Utilidade, Ética e Razão)

16. APÊNDICE II: GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA USABILIDADE E INTERAÇÃO (EUSIN)

Neste apêndice, apresenta-se uma proposta de graduação em Engenharia da Usabilidade e Interação (EUSIN), construída como um desdobramento prospectivo das reflexões desenvolvidas ao longo da pesquisa, especialmente no que se refere às lacunas formativas e institucionais observadas no campo da Interação Humano-Computador. A proposição busca contextualizar implicações educacionais e profissionais associadas à crescente complexidade técnica, normativa e social dos sistemas interativos contemporâneos.

A ausência de regulamentação específica para a formação de profissionais especializados em usabilidade e interação compromete a consistência institucional e a confiabilidade das análises aplicadas a sistemas complexos, expondo agentes humanos e organizacionais a riscos funcionais, cognitivos, éticos e sociais. Nesse sentido, a proposta de graduação em EUSIN é apresentada como uma iniciativa conceitual e curricular, fundamentada em princípios epistemológicos sólidos e orientada à integração entre competências técnicas, científicas e éticas.

A proposta dialoga com a concepção de universidade interdisciplinar de Jantsch (1972), ao articular níveis hierárquicos de conhecimento e alinhar teoria e prática em um sistema integrado de inovação. Esse princípio contrasta com visões limitadas da IHC que, como apontado por Cockburn & Bell (1998), ainda são reduzidas a aspectos gráficos, ignorando sua natureza formal e estratégica. A formação almejada exige, conforme Baecker (1989), domínio de múltiplas disciplinas, da psicologia cognitiva à engenharia de software, associando sensibilidade observacional, pensamento conceitual avançado e competência prática. A ausência dessa integração, como criticada por Faulkner & Culwin (2000), resulta em currículos de engenharia de software isolados, o que compromete a plena habilitação do profissional. O reconhecimento formal da relevância da IHC em currículos de ciência da computação, registrado por Rusu et al. (2015), evidencia a necessidade de ampliar seu escopo e rigor na formação de engenheiros da interação.

A estrutura curricular do EUSIN combina fundamentos das ciências exatas, humanas e tecnológicas com a aplicação direta no projeto, na avaliação e na melhoria de sistemas interativos. É sustentada pelo FCIA-OT e por sua Matriz Sistemática de Dimensões Vetoriais Integradas (MSDVI), composta por 12 dimensões técnico-analíticas. Essa integração garante coerência epistemológica e alta complexidade na formação, permitindo que o egresso domine fatores técnicos, cognitivos, sociais, semióticos e computacionais que regem todo o ciclo de vida dos objetos tecnológicos interativos.

A prática formativa inclui estágios progressivos em laboratórios controlados, em ambientes de campo e em projetos aplicados, nos quais o estudante realiza avaliações de usabilidade com base em protocolos rigorosos e em ferramentas avançadas. A ênfase recai na elaboração de laudos técnicos estruturados, instrumentos decisórios normativos que avaliam múltiplas dimensões da interação, como a adequação das *affordances*, a gravidade dos erros, os riscos operacionais, a acessibilidade, a conformidade normativa e a ergonomia física e cognitiva. Esses laudos, emitidos pelo engenheiro EUSIN, são estruturados para oferecer suporte técnico e normativo à mensuração, à visualização crítica e à identificação de vulnerabilidades ou oportunidades de otimização.

A fundamentação metodológica da proposta acompanha a visão de Forlizzi & Battarbee (2004) e Lin, Qin & Long (2016) sobre a natureza interdisciplinar da IHC, combinando ciência da computação, psicologia, ergonomia e design industrial. Avança,

porém, ao estabelecer uma profissão regulamentada com autonomia legal e técnica para emitir pareceres conclusivos. Essa prerrogativa rompe com o cenário atual descrito por Faulkner & Culwin (2000), no qual a avaliação de usabilidade, isolada da engenharia de software, não configura habilitação plena.

O impacto dessa graduação transcende a esfera acadêmica: redefine parâmetros de validação e controle de qualidade em sistemas interativos, cria um marco institucional para a engenharia da interação e garante que decisões críticas sejam tomadas com base em critérios normativos, mensuráveis e replicáveis. A figura do engenheiro EUSIN representa, assim, uma instância decisória central na concepção, implementação e auditoria de sistemas complexos, inaugurando um paradigma de desenvolvimento e avaliação ancorado em integridade, segurança e experiência qualificada. Essa estrutura propõe avanços em relação ao cenário vigente, no qual a avaliação de usabilidade, dissociada da engenharia de software, ainda não configura habilitação plena, ao estabelecer uma formação estruturada, integrada, coerente e metodologicamente sólida. Este capítulo foi elaborado com base em Salomão, M. B. (2025). Bachelor's degree in usability and interaction engineering (EUSIN). In M. B. Salomão (Ed.), *FCIA-OT – Advanced system for the analysis and evaluation of technological objects* (pp. 242–261). Atena Editora. <https://doi.org/10.22533/at.ed.4232529087>