

Uma Proposta para Automatização de Avaliação de Usabilidade/UX

Luciano A. Garcia¹, Marcelo Morandini¹, Edson Oliveira Jr²

¹Programa de Pós-Graduação em Sistema de Informação – Universidade Estadual de São Paulo (USP)
Rua Arlindo Bettio, 1000– São Paulo – SP– Brazil

²Departamento de Informática –Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Maringá-PR, Brazil.

{luciano.garcia,m.morandini}@usp.br, edson@din.uem.br

Abstract. *This article aims to present a software environment that improves the automation of usability and UX evaluation. Currently, this process is based on observations and impressions, almost exclusively, of the human element. Therefore, we seek a more self-sufficient evaluation process, reducing dependence on an experienced evaluator, which is not always possible in this process. To this end, we thought of an environment in which: 1) the application designer defines the tasks, metrics and questionnaires that will be applied;2) the user performs the tasks in the target application;3) using the Event Log technique, data is stored;4) questionnaires are answered by the user;5) the environment analyzes and issues an assessment diagnosis.*

Resumo. *Este artigo objetiva apresentar um ambiente de software que melhore a automatização da avaliação de usabilidade e UX. Atualmente, esse processo, baseia-se em observações e impressões, quase que exclusivamente, do elemento humano. Sendo assim, busca-se um processo de avaliação mais auto-suficiente, reduzindo a dependência de um avaliador experiente, que nem sempre é possível nesse processo. Para tal, pensou-se em um ambiente em que: 1) o projetista da aplicação define as tarefas, métricas e questionários que serão aplicados;2)o usuário execute as tarefas na aplicação alvo;3)usando-se da técnica de Log de eventos os dados são armazenados;4) questionários são respondidos pelo usuário;5)o ambiente analisa e emite um diagnóstico da avaliação.*

1. Introdução

Uma crescente demanda por softwares e aplicações, tem exigido uma maior qualidade desses artefatos. Um dos principais critérios de qualidade em Interação Humano-Computador (IHC), é a sua usabilidade, que estabelece o quanto os sistemas são projetados de forma fácil de usar e aprender [ISO-9241-11 2018]. Já o conceito de Experiência do Usuário (User Experience - UX) está relacionado às percepções, sensações e reações resultantes da utilização ou da antecipação do uso de um software ou produto [Rodden et al. 2010, ISO-9241-11 2018].

As recomendações e os benefícios aos usuários advindos da usabilidade/UX, tem-se colocado em evidência no projeto de software [Ferreira et al. 2022]. Contudo, ainda se percebe dificuldades para abordar as questões de usabilidade e UX durante o desenvolvimento do software. Tais dificuldades concentram-se em: restrições de recursos(tempo,

dinheiro), compreensão limitada do conceito e métodos de usabilidade e resistência do desenvolvedor em adotar práticas de usabilidade [Bruun and Stage 2015]. Além disso, a maioria de técnicas e métodos para avaliação de usabilidade/UX necessitam da presença de um especialista experiente para conduzir e orientar o processo de avaliação, o que nem sempre é possível, isso atribui um certo grau de subjetividade ao processo de avaliação [Castro et al. 2022]. Nesse contexto observa-se que a automatização parcial ou total do processo de avaliação pode apresentar uma solução. Apesar de ser uma realidade na avaliação de usabilidade, ainda apresenta alguns problemas, como apontado por [Castro et al. 2022]: (i) problemas na detecção eventos gerados pelo usuário, quando ocorrem; (ii) validação de métricas – dificuldades para escolher métricas e padrões de qualidade que auxiliem na detecção de problemas de usabilidade; (iii) a necessidade de um especialista em usabilidade ainda é um desafio a ser vencido; e (iv) limitações gerais com relação ao desempenho das ferramentas.

Portanto, existe a oportunidade de pesquisa e de contribuição para melhora da automatização do processo de avaliação da usabilidade/UX. Neste artigo é apresentada a concepção para atingir tal objetivo. O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta os principais conceitos para desenvolver a ideia; A Seção 3 apresenta os passos aplicados para desenvolver o trabalho; A seção 4 discute os principais aspectos da proposta; e A Seção 5 apresentada as conclusões.

2. Fundamentação Teórica

Nesta seção apresentaremos os principais conceitos envolvidos para a concepção da proposta.

2.1. Relação Usabilidade /UX

Existe uma profusão de estudos e discussões acerca da relação entre usabilidade e UX. O estudo de [Hassan and Galal-Edeen 2017] faz um apanhado dessas relações e as classifica de três formas: (i) usabilidade é uma parte da experiência do usuário; (ii) a usabilidade é uma medida da experiência do usuário; e (iii) a usabilidade e experiência do usuário se completam.

2.2. Tarefas

Uma tarefa descreve um conjunto de atividades bem como a descrição de meios para alcançar um determinado objetivo [ISO-9241-11 2018]. Para [Rosala 2020], uma tarefa é uma atividade que pode ser observável, possui um início e fim e um design que não considere as tarefas que o usuário executa, não cumprirá o seu objetivo, mesmo que possua uma boa interface do usuário. De acordo com [Moran 2018], estudos de usabilidade, na maioria das vezes, requerer que os participantes executem um certo conjunto de tarefas. A pesquisadora ainda menciona que um conjunto de tarefa deve ser adequado ao tipo de estudo de usabilidade que se está realizando, podendo eles serem qualitativos ou quantitativos. Outro aspecto importante relacionado as tarefas é o que se define como Análise de Tarefas. A análise de tarefas é uma forma sistemática de compreender como os usuários estruturam e fazem a suas tarefas para atingir os seus objetivos [Rosala 2020]. Assim, a análise de tarefa tem impacto direto no projeto de desenvolvimento de software, fazendo o software tenham uma maior adequação as necessidades dos usuários. Dentre os métodos de análises de tarefas mais usuais pode-se evidenciar: HTA (*Hierarchical Task*

Analysis); GOMS(*Goals, Operators, Methods, and Selection Rules*); e CTT (*Concur Task Trees*). O uso desses métodos podem ser constatados nos estudos [de Maya et al. 2022], [Wang et al. 2021] e [Atanasova and Malinova 2017].

2.3. Métodos de Avaliação

De acordo com [Lewis and Sauro 2021] os métodos de avaliação de usabilidade e UX dividem-se duas classificações: (i) métodos de avaliação baseados no usuário; (ii) métodos de inspeção. A seguir são mencionados os principais métodos de avaliação.

Métodos Baseados em Usuários:

Analytics - baseado em ferramentas e/ou serviços que são capazes de registrar os caminhos percorridos pelo usuários em uma aplicação ou software [Sauro 2015]. O *Google Analytics*¹ é um exemplo deste tipo de serviço; **Teste A/B** - caracteriza-se por ser um experimento, utilizado por designers de interfaces e pesquisadores de UX desde de 1960. Baseado no método científico, uma hipótese é formulada e testada por meio de apresentação de variações de design aos usuários [Young 2014]; **Teste de Usabilidade** - é um método no qual um ou mais usuários, um de cada vez, executam tarefas ou descrevem o que pretendem fazer sob observação. Esse método possui quatro fases: 1) Concepção e preparação do teste; 2) Condução das sessões de testes; 3) Análise dos resultados; e 4) Comunicação dos resultados [Riihiho 2018]; e **Questionários** - de acordo com [Lewis and Sauro 2021], questionários padronizados são a forma mais imediata de se quantificar a usabilidade observada. Esses questionários se utilizam de medidas padronizadas, que possibilitam muitas vantagens aos avaliadores, tais como: objetividade, replicabilidade, quantificação, economia, comunicação e generalização científica. Em seu trabalho anterior, [Lewis and Sauro 2012], classificam os questionários em: pós-estudo, pós-tarefa, *website* e outros.

Métodos de Inspeção:

Avaliação Heurística - De acordo com [Nielsen and Molich 1990], esse é um método de avaliação informal para análise de usabilidade. O método é executado por avaliadores que são especialistas nos princípios de usabilidade. As heurísticas são um conjunto pequenos de regras para usabilidade que foram incorporadas ao longo do tempo, com base na experiência de identificação de problemas de usabilidade; **Revisão de Diretrizes** - esse método baseia-se na aplicação de instruções para avaliar usabilidade em um contexto específico. Avaliadores utilizam-se dessas diretrizes para identificar a existência ou não de consistências relacionadas a elas. A diferença em relação a heurísticas está na sua amplitude, sendo as diretrizes mais restritivas a uma contexto [Lewis and Sauro 2021]; **Percorso Cognitivo** - proposto por [Polson et al. 1993], esse método tem o objetivo de avaliar a usabilidade logo no início do processo de design, focando-se na facilidade de aprendizagem. Para [Lewis and Sauro 2021] esse método se concentrar em cenários e tarefas que podem ser executados pelos usuários; e **Inspeção Semiótica** - o uso do termo “semiótica” remonta a década de 1960. A semiótica é descrita como a disciplina que estuda os signos e a sua utilização na comunicação [Jorna and van Heusden 1993]. Um exemplo recente deste método por ser constatado em [Baldez et al. 2019], onde se avalia a semiótica aplicada na interação homem-robô em um processo de soldagem.

¹<https://analytics.google.com> > analytics > web

2.4. Método de Co-Inspeção Avaliativa e a *Co-Inspect Tool*

O emprego da ferramenta *Co-Inspect Tool* está fortemente baseada no Método de Co-Inspeção Avaliativa [Morandini et al. 2005]. A hipótese deste método se refere às possibilidades das verificações da usabilidade de interfaces de *websites* das quais o usuário/avaliador e o projetista participam diretamente. Nesse contexto, o responsável pela avaliação descreve as tarefas a serem avaliadas, suas páginas e os componentes das mesmas. A participação de usuários e projetistas em conjunto proporciona ao método um caráter fortemente participativo e, por isso, foi batizado por Co-Inspeção Avaliativa [Morandini et al. 2005].

2.5. Métricas

Observando-se a definição de usabilidade da norma ISO 9241-11, por meio de seus objetivos específicos, pode-se então entender que a aplicação de métricas para atender a usabilidade devem avaliar 3 aspectos: eficácia, eficiência e satisfação [ISO-9241-11 2018].

Métricas para Eficácia. De acordo com [ISO-9241-11 2018], a eficácia é a exatidão e completude com que os usuários desempenha suas tarefas em uma aplicação e/ou sistema para atingir seus objetivos específicos. De maneira geral a medição da eficácia está relacionada com o sucesso da execução da tarefas pelo usuário. Em seu estudo [Ferreira et al. 2020], mostram que a eficácia da tarefa pode ser medida pelo percentual de conclusão da tarefa por um usuário.

Métricas para Eficiência. A eficiência está relacionada aos recursos utilizados para que os objetivos do usuário sejam alcançados. Os recursos que tipicamente estão envolvidos são: tempo, esforço humano, custos e materiais [ISO-9241-11 2018]. Dessa forma, as métricas aplicadas para mensurar a eficiência precisam contemplar a quantificação dos recursos empregados na execução de tarefas que foram concluídas com êxito. No estudo proposto por [Ferreira et al. 2020], a eficiência é medida por meio das seguintes métricas: **velocidade** - é o tempo medido em segundos que um usuário leva para completar a tarefa, incluindo a releitura de instruções para a execução da tarefa; **Interatividade** - é a contagem do número de cliques efetuado pelo usuário para concluir uma tarefa. Um clique duplo é contado como dois cliques. O estudo proposto por [Alrawi 2021] também corrobora com a ideia proposta por [Ferreira et al. 2020], mencionando que a eficiência pode ser medida pela duração da tarefa e que isso exercer influência sobre ela.

Métricas para Satisfação. De acordo [ISO-9241-11 2018], a definição de satisfação do usuário é a intensidade das respostas físicas, cognitivas e emocionais apresentadas pelo usuário e que são resultantes do uso de um sistema, produto ou serviço com o objetivo de atender as suas necessidades e expectativas. Ainda em uma de suas notas [ISO-9241-11 2018], menciona que o uso antecipado pode influenciar a satisfação no uso real de um sistema, produto ou serviço. Observando ainda definição para experiência de usuário em [ISO-9241-11 2018] verifica-se que a satisfação do usuário permeia o espaço da usabilidade e da experiência do usuário. Segundo [Bevan 2008], embora UX trate da experiência real do uso, ela é difícil de ser medida diretamente, mas é possível medi-la por meio das consequências do desempenho do usuário e da satisfação em atingir os objetivos pragmáticos e hedônicos. Dessa forma, a UX pode ser medida pela satisfação conforme definido em [ISO/IEC-25010 2011]. Além disso os estudos

de [Ferreira et al. 2020, Alrawi 2021] utilizam-se respectivamente da questionários pós-tarefa e pós-estudo para avaliarem a satisfação.

Métricas para Webistes. [Şengel and Öncü 2010] mencionam que o *website* que tem uma usabilidade ruim pode ser trocado por outro. Desta forma, medir a qualidade da usabilidade torna-se um fator importante, observando a eficiência, eficácia e satisfação [ISO-9241-11 2018]. Ainda, segundo [Şengel and Öncü 2010], as medidas de desempenho ou objetivas estão relacionadas a eficiência e eficácia, já as medidas de atitude ou subjetivas são utilizadas para avaliar as opiniões positivas e negativas para as aplicações, esses tipos de medidas se complementam para expressar uma medida de usabilidade geral. [Albert and Tullis 2013] também corroboram com as medidas de desempenho, e apresentam cinco tipos básicos de métricas para isso: sucesso da tarefa, tempo da tarefa, erros cometidos, eficiência, aprendizagem. Contudo, eles mencionam que as métricas de desempenho apontam os problemas mais não as suas causas e que é necessário complementar com dados observacionais e/ou de autorrelatados para entender a ocorrência de problemas e como corrigi-los. Nesse sentido o uso de questionários pós-tarefa e pós-estudos, são relevantes.

2.6. Log de Eventos

A definição de *log* de eventos está relacionada aos registros dos eventos na execução de um processo. Sendo assim o evento é a unidade básica de um *log* de eventos, que representa uma ação no vida real, possuindo vários atributos [Guo et al. 2016]. Entres os atributos de um evento que devem obrigatoriamente serem registrados em um *log* estão o nome da atividade e o tempo em que o evento ocorre, os demais atributos são opcionais [Huser 2012]. Entende-se que *log* de eventos de ser constituído de eventos que: (i) se refiram a uma atividade do processo; (ii) se refiram a um *case*, ou seja, uma instância do processo e (iii) estejam totalmente ordenados.

2.7. Redes de Petri

As Redes de Petri tem aplicações em muitas áreas diferentes, como em sistemas de manufatura, desenvolvimento de software e sistemas administrativos. De acordo [Theis and Darabi 2019], Redes de Petri é uma técnica bastante comum utilizada em modelagem de processos. [Van Der Aalst 2016], descrevem uma Rede de Petri como sendo uma estrutura dinâmica e que é composta por três elementos básicos: conjunto de Transições, conjunto de Lugares, e conjunto de Arcos. Um caso particular de Rede de Petri, que é muito utilizado para modelar processos de negócios são as chamadas *Work-Flow Nets (WF-Nets)*. Esse subtipo de rede tem um lugar indicado para início e um lugar indicado para o término do processo, contendo todos os nós da rede entre o seu início e o término [Van Der Aalst 2016].

2.8. Processing Mining

De acordo com [Van Der Aalst 2016], *process mining* é o elo de ligação entre a ciência de dados e a ciência de processos. Ainda menciona que existem três tipos de *process mining* que são baseados em *logs* de eventos: **1) Descoberta de Processo** - usa *log* de eventos como entrada e produz um modelo de processo sem usar nenhuma informação anterior, usando um algoritmo, por exemplo, o algoritmo α ; **2) Conformidade** - compara um modelo de processo existente (normativo), com o que está registrado no *log* de eventos, utilizando

um algoritmo verificador; **3)** Aprimoramento - esse tipo visa estender ou melhorar um modelo de processo já existente.

2.9. Trabalhos Relacionados

O trabalho de [Robal et al. 2017] aborda avaliação automática da interface do usuário da *web*, por meio de uma ontologia para capturar o conhecimento do domínio da usabilidade *web*. A proposta está centrada na aplicação das diretrizes (*Web Content Accessibility Guidelines* - WCAG 1.0, WCAG 2.0 e *Section 508*). Esse estudo se diferencia desta proposta nos seguintes aspectos:(i) não inclui a participação do usuário na avaliação;(ii) a proposta dá mais ênfase na avaliação da interface do que na funcionalidade da aplicação;(iii) não executa tarefas, métricas e questionários para avaliar a eficiência, eficácia e satisfação;(iv) não se utiliza de *log* de eventos e nem de técnicas de *process mining* para registrar o conhecimento. Tem semelhanças ao abordar a avaliação de usabilidade durante a produção da aplicação *web*, também por propor uma estrutura de gerenciamento da avaliação.

No trabalho de [Theis and Darabi 2019], é proposto um método para identificar interações não eficientes do comportamento do usuário em um ambiente multi-instância e multi-aplicativo assumindo que se conhece uma forma ótima de interação. Este trabalho se diferencia desta proposta em dois aspectos:(i) o momento da avaliação que se dá com aplicação já desenvolvido, em pleno funcionamento;(ii) a tecnologia empregada nos aplicativos/software avaliados é *desktop* e não o ambiente *web*. Porém, [Theis and Darabi 2019] apresentam ideias relevantes para esta proposta, apontando o caminho no uso das técnicas de *process mining* e como estruturar o *log* de eventos para extrair o comportamento do usuário.

O trabalho de [Bačíková et al. 2021], aborda avaliação automatizada da usabilidade. Porém, o enfoque é dado nos aspectos de usabilidade de domínio. Ou seja, o foco é garantir que a interface do usuário esteja adequada aos dicionários de termos, relações e propriedades pertinentes ao domínio da aplicação. O método proposto pode ser aplicado no ambiente de desenvolvimento de software, mas não menciona a participação do usuário. Contudo, o trabalho fornece dicas para a especificação e implementação de tarefas para atender o domínio da aplicação alvo. Pode auxiliar na estrutura de armazenamento de conhecimento adquirido nas avaliações de usabilidade/UX agrupando-as por domínios de aplicação.

3. Metodologia

A metodologia que possibilitará a consecução desta proposta é composta de 3 etapas: Definição, Implementação e Avaliação.

A etapa de **Definição** envolve as seguintes atividades: **1)** Definição do Método de avaliação - entre os métodos apresentados na seção 2.3; **2)** Definição do Domínio - trata-se do domínio ao qual pertence a aplicação a ser avaliada, se é uma aplicação destinada a área de saúde, financeira, etc; **3)** Definição das Tarefas - nesta atividade busca-se definir a forma como serão estruturadas as tarefas, de acordo com tipo de tarefa e método de análise, conforme apresentado na seção 2.2; **4)** Definição de Métricas - a observar o que está definido na seção 2.5. Deve-se prever uma forma para seja possível inserir métricas personalizadas para o domínio de avaliação de acordo com a necessidade; **5)** Definição Questionários - está relacionado a um estudo detalhado que foi feito de questionários para definir os que melhor se adaptam as necessidades da proposta. Além disso,

observar os tipos de questionários pós-estudo ou pós-tarefa; **6)** Definição da Estrutura de Automatização - está relacionada com a descrição da abordagem e utilização de elementos que irão compor a aplicação automatizada de métricas e do diagnóstico da usabilidade/UX em relação a aplicação avaliada.

Na etapa de **Implementação** tem-se as seguintes atividades: **1)** Novas funcionalidades para o ambiente de avaliação - tem haver com os ajustes na ferramenta na *Co-Inspect Tool*. O relacionamento entre os elementos de uma avaliação garantindo a vinculação da seguinte forma: avaliação, domínio, tarefas e/ou (métricas, questionários); **2)** Inclusão da automatização para aplicação de métricas e diagnóstico - trata da incorporação da automatização da aplicação de métricas e de diagnóstico no processo de avaliação. A ferramenta *Co-Inspect Tool* deve ser alterada para disponibilizar as definições propostas na etapa de definição.

Por fim, na etapa de **Avaliação**, serão abordadas as seguintes atividades: **1)** Verificação definições/implementações - verificar se a estrutura teórica que foi definida e implementada produzem resultados efetivos quando comparados com métodos “tradicionais” como, por exemplo, uma avaliação heurística; **2)** Verificação da usabilidade da *Co-Inspect Tool* - pretende-se avaliar se o ambiente computacional da ferramenta *Co-Inspect Tool*, com as devidas alterações, produz um nível aceitável de usabilidade.

4. Discussão

Existe uma discussão acadêmica acalorada em torno da relação de usabilidade x UX, onde começa uma e termina outra. Nesta proposta será abordada a relação entre usabilidade e UX conforme definida em [Hassan and Galal-Edeen 2017], em que menciona a usabilidade como uma medida da experiência do usuário. Já com relação as tarefas o uso dos 2 tipos (qualitativa e quantitativo) [Moran 2018]. Como forma de guiar a definição da tarefa pelo projetista na ferramenta, será construído um mecanismo para especificar a tarefa passo a passo, acredita-se que o método HTA (*Hierarchical Task Analysis*) [de Maya et al. 2022], possa contribuir com essa construção.

Tendo como primícia a alteração do ambiente, já existente da ferramenta *Co-Inspect Tool*, que aborda o método da Co-Inspeção Avaliativa (seção 2.4), que tem como características principais a participação do usuário e a possibilidade do caráter formativo, os métodos baseados em usuários, definidos também na seção 2.3 nos parecem serem os mais atrativos para contribuir na estrutura de avaliação que será elaborada.

Com relação as métricas, não existe uma receita pronta para uso. Há entendimento de que aplicação de métricas depende do que se quer avaliar e do tipo de aplicação que será avaliada. Portanto as métricas exposta na seção 2.5 podem contribuir na construção de um mecanismo que auxilie a personalização de métricas pelo projetista abordando a tríade eficácia, eficiência e satisfação. Também a utilização de questionários é dependente do contexto da avaliação. [Lewis and Sauro 2012] e [Hodrien et al. 2021] abordam uma gama de questionários e suas características para avaliação, nesta proposta faremos uso daqueles questionários que sobretudo tem direito de uso sem custo e se adaptem à aplicações web.

A estrutura de automação proposta para o ambiente está alicerçada no *Log* de Eventos, Redes de Petri e *Processing Mining*. O *Log* de Eventos, será definida conforme [Van Der Aalst 2016], um *script* hospedeiro na aplicação alvo fará a captura das

informações, utilizando a linguagem Javascript. Com relação a Rede Petri será utilizado seu caso particular *WorkFlow Nets (WF-Nets)* pois se abordará cada tarefa como sendo um processo, conforme o trabalho de [Theis and Darabi 2019]. Uma vez que a *WorkFlow Nets (WF-Nets)* esteja implementada será possível trabalhar com as questões envolvidas em processing mining no caso o interesse é na medida de conformidade, que terá um algoritmo definido para ela, mostrando a aderência entre a tarefa definida pelo projetista e o que foi executado pelo usuário.

Como parte do ambiente para avaliação, será implementada uma base de dados que armazenará todas as informações vindas de arquivos de *log* de eventos, possibilitando: aplicação de métricas de forma automatizada, a disponibilização de questionários ao usuário, emissão de diagnóstico da avaliação e uma base de conhecimento para avaliações futuras.

Para verificar a efetividade do ambiente proposto, optou-se por aplicações de monitoramento climático e biodiversidade por serem domínios de significativa expressão para o contexto brasileiro e mesmo internacional e da análise dos relacionamentos das condições climáticas e doenças sazonais [Drucker 2011, Reichman et al. 2011]. Esta escolha se deu pela facilidade no acesso a esses tipos de aplicação, a forma de verificação se dará no formato de estudo de caso.

5. Conclusões

Portanto, existe espaço para contribuir na melhora do processo de automação da avaliação de usabilidade/UX, conforme descrito no estudo de mapeamento feito por [Castro et al. 2022]. O ambiente proposto será capaz de proporcionar forte interação entre o projetista e as necessidades do usuário. Dificuldades de uso que poderiam se propagadas para aplicação já pronta, tem a oportunidade de serem tratadas ainda no desenvolvimento da aplicação. É esperado que o ambiente possa contribuir: (i) no enfrentamento de problemas na avaliação de usabilidade e UX durante desenvolvimento de software; (ii) enriquecer a prática de conhecimento de avaliação de usabilidade e UX para desenvolvedores e interessados; (iii) o ambiente proposto será útil para que pequenas empresas de desenvolvimento de software possam adotar mais consistentemente a prática de avaliação de usabilidade/UX; (iv) formar uma base de conhecimento sobre avaliação de usabilidade/UX, no emprego de métricas, tarefas e questionários que podem ser úteis para pesquisa na área; e (v) será útil ao ensino para mostrar de forma sistemática a avaliação de usabilidade/UX.

Referências

- Albert, B. and Tullis, T. (2013). *Measuring the user experience: collecting, analyzing, and presenting usability metrics*. Newnes, 2nd edition.
- Alrawi, L. N. (2021). Understanding the relation between system usability and end user performance. *2nd International Informatics and Software Engineering Conference, IISEC 2021*, pages 1–6.
- Atanasova, M. and Malinova, A. (2017). Transforming concurrent task trees model into an abstract user interface. In *CBU international conference proceedings*, volume 5, pages 1036–1041.
- Bačíková, M., Porubán, J., Sulír, M., Chodarev, S., Steingartner, W., and Madeja, M. (2021). Domain usability evaluation. *Electronics*, 10(16):1963.

- Baldez, P., Schot, M., Espíndola, D., Botelho, S. S., Guterres, B., and Soares, L. B. (2019). Semiotics applied to human-robot interaction in welding processes. In *2019 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2019 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2019 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, pages 269–274. IEEE.
- Bevan, N. (2008). Classifying and selecting ux and usability measures. In *International Workshop on Meaningful Measures: Valid Useful User Experience Measurement*, volume 11, pages 13–18.
- Bruun, A. and Stage, J. (2015). New approaches to usability evaluation in software development: Barefoot and crowdsourcing. *Journal of Systems and Software*, 105:40–53.
- Castro, J. W., Garnica, I., and Rojas, L. A. (2022). Automated tools for usability evaluation: A systematic mapping study. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 28–46. Springer.
- de Maya, B. N., Komianos, A., Wood, B., de Wolff, L., Kurt, R. E., and Turan, O. (2022). A practical application of the hierarchical task analysis (hta) and human error assessment and reduction technique (heart) to identify the major errors with mitigating actions taken after fire detection onboard passenger vessels. *Ocean Engineering*, 253:111339.
- Drucker, D. P. (2011). Avanços na integração e gerenciamento de dados ecológicos. *Natureza & Conservação*, 9(1):115–120.
- Ferreira, J. M., Acuña, S. T., Dieste, O., Vegas, S., Santos, A., Rodríguez, F., and Juristo, N. (2020). Impact of usability mechanisms: An experiment on efficiency, effectiveness and user satisfaction. *Information and Software Technology*, 117:106195.
- Ferreira, J. M., Rodríguez, F., Santos, A., Dieste, O., Acuña, S. T., and Juristo, N. (2022). Impact of usability mechanisms: A family of experiments on efficiency, effectiveness and user satisfaction. *IEEE Transactions on Software Engineering*, pages 1–1.
- Guo, Q., Wen, L., Wang, J., Yan, Z., and Yu, P. S. (2016). Mining invisible tasks in non-free-choice constructs. In *International Conference on Business Process Management*, pages 109–125. Springer.
- Hassan, H. M. and Galal-Edeen, G. H. (2017). From usability to user experience. In *2017 International Conference on Intelligent Informatics and Biomedical Sciences (ICIIBMS)*, pages 216–222. IEEE.
- Hodrien, A., Fernando, T., et al. (2021). A review of post-study and post-task subjective questionnaires to guide assessment of system usability. *Journal of Usability Studies*, 16(3):203–232.
- Huser, V. (2012). Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes.
- ISO-9241-11 (2018). Ergonomics of human-system interaction — part 11: Usability: Definitions and concepts.
- ISO/IEC-25010 (2011). Systems and software engineering — systems and software quality requirements and evaluation (square) — system and software quality models.
- Jorna, R. J. and van Heusden, B. (1993). *Signs, search and communication: semiotic aspects of artificial intelligence*. Walter de Gruyter, 1st edition.

- Lewis, J. R. and Sauro, J. (2012). *Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research*. Morgan Kaufmann.
- Lewis, J. R. and Sauro, J. (2021). Usability and user experience: Design and evaluation. *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, pages 972–1015.
- Moran, K. (2018). Writing tasks for quantitative and qualitative usability studies.
- Morandini, M., Cybis, W., and Scapin, D. (2005). Ergomanager: a uims for monitoring and revising user interfaces for web sites. *Webist, Miami, USA*.
- Nielsen, J. and Molich, R. (1990). Heuristic evaluation of user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 249–256.
- Polson, P. G., Lewis, C., Rieman, J., and Wharton, C. (1993). Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces. *International Journal of man-machine studies*, 36(5):741–773.
- Reichman, O. J., Jones, M. B., and Schildhauer, M. P. (2011). Challenges and opportunities of open data in ecology. *Science*, 331(6018):703–705.
- Riihiahho, S. (2018). Usability testing. *The Wiley Handbook of Human Computer Interaction*, 1:255–275.
- Robal, T., Marenkov, J., and Kalja, A. (2017). Ontology design for automatic evaluation of web user interface usability. In *2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*, pages 1–8. IEEE.
- Rodden, K., Hutchinson, H., and Fu, X. (2010). Measuring the user experience on a large scale: user-centered metrics for web applications. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pages 2395–2398.
- Rosala, M. (2020). Task analysis: Support users in achieving their goals.
- Sauro, J. (2015). *Customer analytics for dummies*. John Wiley & Sons.
- Şengel, E. and Öncü, S. (2010). Conducting preliminary steps to usability testing: investigating the website of uludağ university. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2):890–894.
- Theis, J. and Darabi, H. (2019). Behavioral petri net mining and automated analysis for human-computer interaction recommendations in multi-application environments. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 3(EICS):1–16.
- Van Der Aalst, W. (2016). *Process mining: data science in action*. Springer, 2nd edition.
- Wang, K., Li, K., Gao, J., Liu, B., Fang, Z., and Ke, W. (2021). A quantitative evaluation method of software usability based on improved goms model. In *2021 IEEE 21st International Conference on Software Quality, Reliability and Security Companion (QRS-C)*, pages 691–697. IEEE.
- Young, S. W. (2014). Improving library user experience with a/b testing: Principles and process. *Weave: Journal of Library User Experience*, 1(1).