

Engenharia de Usabilidade Aplicada no Desenvolvimento da Interface Homem-Máquina para um Sistema Interativo de Soldagem Robotizada

(Usability Engineering Applied in Development of Human-Machine Interface for an Interactive System for Robotic Welding)

Marcelo Pompermaier Okuyama¹, Renon Steinbach Carvalho², Régis Henrique Gonçalves e Silva², Eugênio Merino¹

¹UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, PPGEP – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. (marcelo@labsolda.ufsc.br)

²UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, EMC - Departamento de Engenharia Mecânica / LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Resumo

O presente estudo aplicou conceitos e técnicas de engenharia de usabilidade no desenvolvimento do sistema de interação entre o operador e um equipamento robótico destinado a automação da soldagem. A versão do sistema foi desenvolvida aplicando-se técnicas fundamentadas no ciclo de desenvolvimento de engenharia de usabilidade, o qual pode ser dividido em quatro etapas: (1) análise do contexto de operação, (2) especificação das exigências, (3) produção de soluções e (4) avaliação do produto em relação às exigências. A concepção e avaliação apresentadas tiveram por objetivo promover melhorias na eficácia, eficiência e satisfação durante o processo de interação entre o operador e o equipamento robótico. Assim, este trabalho apresenta os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da interface e a descrição do ferramental teórico utilizado. Demonstra a montagem da bancada de testes e esclarece como foi feita a coleta dos dados durante o uso do equipamento em ambiente controlado. Como resultados obtiveram-se as medidas de tempo, desempenho e satisfação dos usuários ao realizarem algumas atividades típicas do equipamento, envolvendo a configuração de parâmetros e processos de soldagem. Dessa forma, foi possível diagnosticar características e elementos que representaram obstáculos para os usuários, assim como, os problemas existentes que dificultaram a realização das tarefas.

Palavras-chave: *Automação da soldagem; interação homem-máquina; design de interface; ergonomia.*

Abstract

This study applied concepts and techniques of usability engineering in the interaction system between the operator and a welding robotic. The system was developed by applying techniques based on the usability engineering life-cycle, which can be divided into four stages: (1) analysis of the operational context, (2) specification of requirements, (3) production solutions and (4) evaluation of product against requirements. The design and evaluation presented aimed to promote improvements in effectiveness, efficiency and satisfaction on the process of interaction between the operator and robotic equipment. This work presents the methodological procedures used in the interface developing and description of the theoretical instrument used. Shows the assembly of the bench tests and explains how it was made to collect data while using the equipment in a controlled environment. The results obtained were measures of time, performance and user satisfaction in performing some typical activities of the equipment, involving the setting of parameters and welding processes. Thus, it was possible to diagnose the characteristics and elements that represent obstacles for users, as well as the problems that interfere with the realization of the tasks.

Keywords: *Automation of welding; human-computer interaction, interface design, ergonomics.*

1. Introdução

A tecnologia da soldagem é um dos ramos da engenharia com maior interdisciplinaridade. Ela pode ser tratada sobre o enfoque de processos, equipamentos, metalurgia e física da soldagem, além de fatores econômicos e sociais. Neste contexto, o presente estudo aborda um novo componente que é a aplicação de conhecimentos de engenharia de usabilidade para promover melhorias na eficácia, eficiência e satisfação durante o processo de interação entre o operador e um equipamento robótico destinado a automação da soldagem em

posições e situações com elevado grau de dificuldade.

Este trabalho vem somar esforços para melhorar a tecnologia nacional relacionada à automação da soldagem, a qual já vem sendo desenvolvida por mais de 20 anos no laboratório de soldagem (LABSOLDA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Assim, a incorporação de aspectos ergonômicos e de usabilidade ainda na fase de projeto deve-se a grande revolução decorrente da incorporação de tecnologias computacionais e à conseqüente transformação das atividades executadas pelos soldadores.

Até o início desta pesquisa, os equipamentos destinados à automação da soldagem desenvolvidos no LABSOLDA como, por exemplo, os Tartílopes V1, V2 e V2F utilizavam interfaces com o usuário do tipo painel-teclado com mostradores digitais e botões analógicos o que possibilita a configuração do equipamento por meio de menus com limitações de espaço para texto e a ausência de recursos gráficos [1] [2] [3].

A necessidade de se incorporar novas funcionalidades e melhorar os fatores ergonômicos do equipamento Tartílope V4 fizeram com que se buscassem novas tecnologias para os componentes mecânico (*hardware*), lógico (*software*) e humano (*peopleware*). Essas novas tecnologias possibilitam o uso de sistemas interativos mais avançados como o uso de telas sensíveis ao toque (*touchscreen*) que possuem a capacidade de exibir e receber dados por meio da manipulação direta dos elementos na interface gráfica.

Diante da possibilidade de utilização dessas novas tecnologias, inicialmente, buscou-se identificar os conhecimentos necessários para se desenvolver o novo sistema de interação. Esta busca resultou na identificação de uma área de conhecimento que tem por objetivos especificar, projetar e avaliar sistemas interativos, segundo a lógica de operação, conhecida como engenharia de usabilidade.

A engenharia de usabilidade tem como propósito tornar o sistema intuitivo, fácil de aprender e de usar. Essa abordagem privilegia o desempenho do usuário em sua tarefa, concebendo sistemas adaptados a suas características e seus objetivos. Essencialmente, a estrutura de um projeto centrado no uso pode ser representada pelo ciclo sugerido pela norma ISO 13407 (Figura 1). Este esquema demonstra que o ciclo de desenvolvimento é baseado no envolvimento do usuário desde o início, como fonte de informação, tornando-se colaborador durante o desenvolvimento e por fim como avaliador do sistema [4] [5].

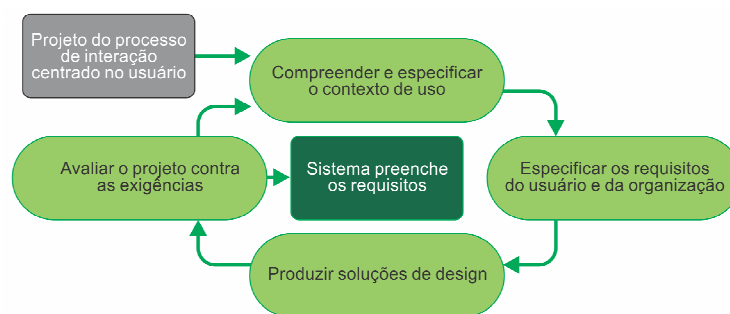


Figura 1 - Projeto centrado no usuário [4]

Desta forma, seguindo este modelo de gestão do projeto, o presente trabalho se caracteriza por aplicar métodos e técnicas de ergonomia e usabilidade nas diversas fases do ciclo no desenvolvimento de um sistema interativo. Essa abordagem não se limita à duração de um ciclo de desenvolvimento, mas para efeito de delimitação deste trabalho será apresentado um ciclo completo envolvendo análise de requisitos, projeto e implementação da interface, seguido da aplicação de testes de usabilidade, apresentação e discussão dos resultados.

1.1 Evolução dos Manipuladores Robóticos

Mundialmente, o que se verifica é a pequena variedade de fabricantes de equipamentos robustos e compactos destinados a soldagem em campo. Sendo assim, o LABSOLDA realiza pesquisas que buscam fornecer ao mercado produtos de qualidade e com avançada tecnologia. O primeiro dispositivo desenvolvido possuía um grau de liberdade e a finalidade de controlar a velocidade de deslocamento durante a trajetória de soldagem. Tal equipamento foi denominado de SDP. Entretanto, apresentava muitas limitações, em geral, relacionadas com a estrutura mecânica [6].

Visando solucionar os problemas do SDP, foi desenvolvido um novo equipamento, Tartílope V1, com uma concepção mecânica completamente nova, mas manteve-se basicamente a mesma unidade de controle. Com os conhecimentos adquiridos, tanto no SDP, quanto no Tartílope V1, o LABSOLDA iniciou a pesquisa de um sistema de deslocamento com dois graus de liberdade o Tartílope V2. O objetivo de tal desenvolvimento era a realização de soldas utilizando o movimento de tecimento, aliado a um sistema de seguimento de junta [6,7].

Atualmente, busca-se desenvolver equipamentos especificamente para a soldagem em campo, e estes manipuladores necessitam de uma concepção mecânica diferenciada com requisitos de robustez, facilidade de

transporte e instalação. Contudo, a maioria dos equipamentos voltados a uma determinada aplicação não apresentam flexibilidade de adaptação a outras tarefas além daquela para a qual foram projetados. Para resolver esse problema, foi desenvolvido no LABSOLDA um manipulador robótico versátil com quatro graus de liberdade, três prismáticos e um rotacional (Figura 2). Este equipamento pode ser facilmente adaptado com pequenas mudanças mecânicas para a realização de diferentes tarefas de soldagem [8].



Figura 2 - Tartilope V4, manipulador robótico com quatro graus de liberdade, três prismáticos e um rotacional [9]

No entanto, o sucesso de sistemas como os descritos acima é inferior ao esperado. Isto porque a integração de automação e computação industrial não tem sido acompanhada pela integração de pessoas e processos. Sendo um erro enorme, porque cria resistências desnecessárias e não potencializa a contribuição humana. Pois, com o avanço das novas tecnologias, transformam-se não só os meios e a organização do trabalho, mas também, os requisitos de formação dos operadores. No futuro, as fábricas não irão eliminar as pessoas, só lhes serão atribuídas tarefas diferentes mais adequadas às suas capacidades, isso significa utilizar as tecnologias para potencializar a intervenção humana [10] [11].

Assim, acredita-se que para agregar o potencial humano às novas tecnologias, torna-se necessário o desenvolvimento de Interfaces Homem-Máquina (IHM) fáceis de aprender, usar, seguras e agradáveis. Portanto, partindo da necessidade de resolver um problema real com aplicação prática, este trabalho contribui para o desenvolvimento da interface de uma nova geração de produtos destinados à automação da soldagem com tecnologia nacional.

1.2. Sistema Homem-Máquina-Ambiente

O estudo foi realizado em um sistema composto basicamente por três subsistemas: o homem, a máquina e o ambiente (Figura 3). Esses subsistemas interagem continuamente entre si, com intensa troca de informações. Por esse motivo, buscou-se tornar essa troca de informações mais evidentes e perceptíveis, facilitando o processo de interação entre o homem e a máquina.



Figura 3 - Cenário representando o contexto de uso do sistema robótico

Para atuar neste sistema, o usuário precisa das informações fornecidas pela máquina que são captadas por meio dos órgãos sensoriais, principalmente visão, audição, tato e senso cinestésico, então, as informações são processadas no sistema nervoso central gerando uma decisão. Esta se converte em movimentos musculares que se manifestam na forma de comandos que transmitem uma nova informação a máquina. Por fim, a máquina gera

uma reação atuando sobre o ambiente externo [10].

1.3. Ergonomia e Usabilidade

Ergonomia ou engenharia humana é uma ciência relativamente recente que estuda as relações entre o homem e seu ambiente de trabalho. Definida pela Organização Internacional do Trabalho como "A aplicação das ciências biológicas humanas em conjunto com os recursos e técnicas da engenharia para alcançar o ajustamento mútuo, ideal entre o homem e o seu trabalho, e cujos resultados se medem em termos de eficiência humana e bem-estar no trabalho" [12].

Ainda, ergonomia pode ser definida como o conjunto dos conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos, bem como o projeto do trabalho, que possam ser utilizados com o máximo de conforto, de segurança e eficácia. Resumidamente, ergonomia é uma tecnologia, cujo objetivo final é a melhoria do trabalho [13].

Tratando-se de trabalhos que envolvem sistemas computacionais interativos, soma-se à ergonomia uma medida da qualidade destes produtos chamada usabilidade. De acordo com a norma NBR 9241-11, usabilidade é definida como "a medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso" [14].

1.4. Design de interação Homem-Máquina

O design de interação tem por objetivo, projetar produtos interativos que forneçam suporte às atividades cotidianas das pessoas seja no lar ou no trabalho. Especificamente significa criar experiências que melhorem e estendam a maneira como as pessoas trabalham, se comunicam e interagem [15].

Para tanto, o elemento que proporciona o processo de interação homem-máquina é a interface de usuário (IU). É por meio da interface que os usuários têm acesso às funções da aplicação. Fatores de satisfação subjetiva, de eficiência, de segurança, de custo de treinamento, de retorno de investimento, todos, dependem de um bom design de interface [5].

Assim, na busca pela qualidade da interação homem-máquina diversos fatores são considerados na fase de design da interface. Um desses fatores é a escolha do método de concepção da interface. Sendo assim, para a concepção da interface gráfica do manipulador robótico foram consideradas duas abordagens destinadas para implementar a estrutura, o conteúdo e o comportamento da interface: *The Bridge* e *Usage-Centered Design*. Em essência, tais abordagens propõem um conjunto de etapas para a definição de elementos concretos, como as principais telas, componentes e caminhos da interface, partindo de elementos abstratos, como a especificação dos requisitos de usabilidade, da própria interface e do contexto de uso [16] [17].

2. Materiais e Métodos

O método proposto para o desenvolvimento da interface do manipulador robótico apresenta uma abordagem que visa atender as necessidades tanto dos usuários quanto da performance do equipamento, e seguiu a abordagem de projeto *Usage-Centered Design* proposta por Constantine e Lockwood [17] que privilegia o uso do sistema e o desempenho do usuário na tarefa. As decisões de projeto foram baseadas em análises objetivas de casos de uso, de tarefas e da arquitetura de informações.

Com o objetivo de sintetizar as etapas metodológicas aplicada no desenvolvimento, a Tabela 1 apresenta os fatores avaliados e os métodos utilizados para se obter os resultados referentes a cada uma das etapas que compõe um projeto centrado no usuário.

Tabela 1 - Etapas, fatores e métodos aplicados no desenvolvimento do trabalho

Etapa	Fatores	Métodos
Análise do contexto de operação	Usuários	A análise de perfil dos usuários
	Tarefas	A análise do fluxo de tarefas
	Equipamentos	Descrição de cenários de uso
Especificação das exigências	Requisitos de usabilidade	Questionário para determinar a prioridade dos requisitos de usabilidade
Produção de soluções	Arquitetura de informação	Análise hierárquica de tarefas
	Design da interface	Reuniões entre os projetistas
	Ergonomia de interface	Pesquisa bibliográfica Prototipação
Avaliação do produto em relação às exigências	Usabilidade	Ensaio de interação Medidas de eficácia Medidas de eficiência Medidas de satisfação

2.1. Local do estudo

O estudo foi realizado em Florianópolis – SC, no laboratório de soldagem da Universidade Federal de Santa Catarina. Este local foi selecionado por apresentar condições de infra-estrutura e pessoal necessários para realização da pesquisa. Por infra-estrutura entende-se um ambiente seguro e adequado para realização dos testes, com iluminação, ventilação e demais instalações necessárias para o funcionamento dos equipamentos. No local foi instalada uma bancada de ensaios de forma a facilitar o acesso ao equipamento (Figura 4) e, uma mesa pra que os participantes respondessem aos questionários após a realização das atividades. Ainda, foi instalada em um suporte móvel uma câmera digital para obtenção de dados fotográficos e filmagens durante a execução das tarefas.

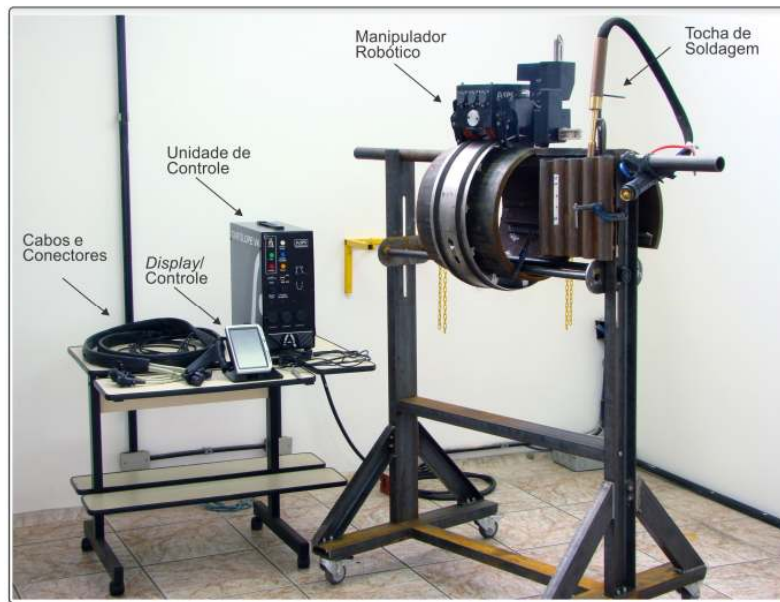


Figura 4 - Bancada para teste de usabilidade

2.2. Características da amostra

A amostra estudada constituiu-se de treze participantes do sexo masculino, composta em sua maioria por graduandos e pós-graduandos envolvidos em atividades de pesquisa na área de soldagem, com idades entre 19 e 37 anos. O principal divisor entre o grupo foi o fator experiência, sendo sete participantes sem experiência anterior e seis participantes com pequena experiência no uso de sistemas robóticos. Outras características da amostra foram:

Habilidade/conhecimento do sistema robotizado para soldagem: O grupo foi constituído buscando-se equilibrar o número de participantes que já utilizaram sistemas semelhantes como as versões anteriores do equipamento e usuários que nunca haviam utilizado sistemas automáticos para soldagem.

Experiência em atividades de soldagem: Em relação ao grau de conhecimentos em atividades envolvendo soldagem, apenas um dos usuários possuía conhecimentos em soldagem manual, os demais participantes que possuíam conhecimentos em soldagem utilizavam sistemas automáticos de deslocamento de tocha. O restante dos participantes, seis dos treze, eram novatos nessa área.

Habilidade/conhecimento em informática: Todos os participantes tinham experiência no uso de sistemas informatizados, sendo que 62% faziam uso freqüente e 38% usavam sistemas informatizados de forma intermitente.

2.3. Requisitos de usabilidade

Os requisitos de usabilidade foram definidos tanto pela equipe de desenvolvimento como por usuários do sistema. Entre os usuários foi definida uma lista de prioridades que eles consideravam mais importantes, sendo produtividade o principal requisito (Tabela 2). Já, a equipe de desenvolvimento definiu em reuniões que era fundamental que o sistema fosse intuitivo, ou seja, fácil de aprender e de usar.

Tabela 2 – Prioridade dos objetivos de usabilidade estabelecidos pelos usuários

Prioridade	Objetivos de Usabilidade
------------	--------------------------

1	Produtividade
2	Prevenção de erros
3	Satisfação
4	Aprendizado
5	Retenção-memória

2.4. Coleta de dados

A avaliação de usabilidade coletou tanto dados subjetivos como objetivos em um cenário realista de uso. Os dados subjetivos consistem nas avaliações dos participantes e seus comentários em relação usabilidade do equipamento. Já os dados objetivos consistem nas medidas de desempenho dos participantes (como o tempo necessário para realização e as taxas de completude das tarefas). Além disso, foram observados e descritos os problemas que os participantes tiveram ao realizar as tarefas propostas. A **Erro! Auto-referência de indicador não válida.** apresenta a tabulação dos elementos coletados para se medir a usabilidade global do sistema.

Tabela 3 - Medidas avaliadas para determinar a usabilidade global do sistema

Objetivos de Usabilidade	Medidas de Eficácia	Medidas de Eficiência	Medidas de Satisfação
Usabilidade global	<ul style="list-style-type: none"> Porcentagem de objetivos alcançados; Porcentagem de usuários completando a tarefa com sucesso; Média da acurácia de tarefas completadas 	<ul style="list-style-type: none"> Tempo para completar uma tarefa; Tarefas completadas por unidade de tempo 	<ul style="list-style-type: none"> Escala de satisfação Frequência de reclamações Elementos de reclamações

Inicialmente, os participantes do estudo foram recebidos com uma breve explicação sobre o equipamento e a natureza das atividades que seriam realizadas. Em seguida, receberam uma pauta descrevendo a finalidade e as condições do estudo. Aqueles que concordaram em participar do estudo assinaram um termo de consentimento autorizando a utilização dos dados obtidos. Ainda, na etapa inicial, os participantes preencheram um questionário para definir seu perfil em relação à idade, nível de instrução; habilidade/conhecimento de sistemas robotizados para soldagem; experiência em atividades de soldagem, e habilidade/conhecimento em informática.

Após a etapa inicial, os participantes receberam uma descrição dos cenários com as instruções para executar cada uma das quatro tarefas. Ao término de cada cenário responderam ao questionário *After-scenario questionnaire* (ASQ) adaptado de Lewis [18].

Durante a realização do cenário, um observador verificava com o auxílio de um *checklist* as etapas concluídas para completar a atividade. O observador também registrou o número e os tipos de problemas que os participantes encontraram. Se um participante indicou que um cenário estava completo, mas não completou corretamente a atividade, então o problema era de alto impacto. Se um participante teve dificuldade com uma parte do cenário, mas conseguiu resolver o problema, sem pedir ajuda, antes de indicar que o cenário estava completo, então o problema era de baixo impacto. Para um cenário ser concluído com êxito, o participante deveria completar o cenário sem pedidos de ajuda e sem apresentar problemas de alto impacto [19].

3. Resultados e Discussão

Este estudo de usabilidade foi fundamentado em cenários de uso, no qual os participantes usaram um equipamento para realizar uma série de tarefas. Para realização dos testes foi desenvolvido um protótipo funcional de alta fidelidade do Tartflope V4. Ainda, foi montada uma bancada para simular atividades típicas, envolvendo a configuração de parâmetros e processos de soldagem (Figura 4). As tarefas realizadas representam as principais possibilidades de uso do equipamento.

- Tarefa 01 - Preparar o equipamento para uso
- Tarefa 02 - Executar trajetória linear simples
- Tarefa 03 - Carregar e executar um arquivo contendo uma programação pré-definida
- Tarefa 04 - Programar e executar uma trajetória complexa

A seguir são apresentados os resultados obtidos, evidenciando aqueles de maior relevância e aqueles que se destacaram. Para cada tarefa são apresentadas as instruções fornecidas aos participantes bem como os resultados obtidos em relação a eficácia, eficiência e satisfação. O tempo médio para conclusão do estudo foi aproximadamente 40 minutos por participante.

3.1. Tarefa 01 - Preparar o equipamento para uso

Os participantes receberam um documento contendo as seguintes instruções para execução da tarefa 01:

1. Conectar tocha, controle de parada de emergência, display (alimentação, USB e vídeo) e cabos do robô (Figura 5)
2. Ligar o sistema

Outras informações sobre o contexto de uso foram fornecidas:

- Inicie com o equipamento desconectado e desligado
- Nenhum suporte ou ferramenta serão fornecidos



Figura 5 - Estado do sistema no início da atividade (a), e durante a atividade (b)

Em relação ao desempenho, um total de 3,57 minutos em média (DP = 0,46 min; intervalo 2,54 - 5,07 min) foram necessários para montagem e inicialização do sistema entre os usuários com experiência e 5,2 minutos em média (DP = 1,17 min; intervalo 3,0 - 6,29 min) entre os usuários sem experiência (Figura 6).

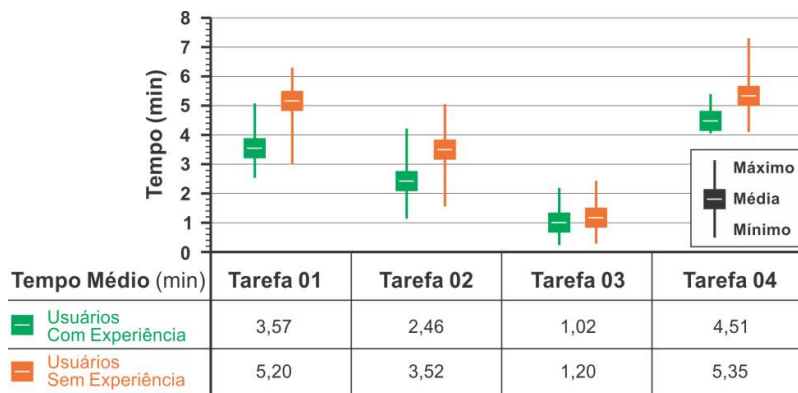


Figura 6 - Tempos médios necessários para concluir as tarefas, diferenciando usuários com e sem experiência no uso de sistemas robóticos

Já na avaliação de completude 100% dos usuários completaram a tarefa. Sendo que, entre aqueles com experiência 100% completaram a tarefa sem erros ou correções e, entre os usuários sem experiência essa taxa foi de 71,43% (Figura 7).

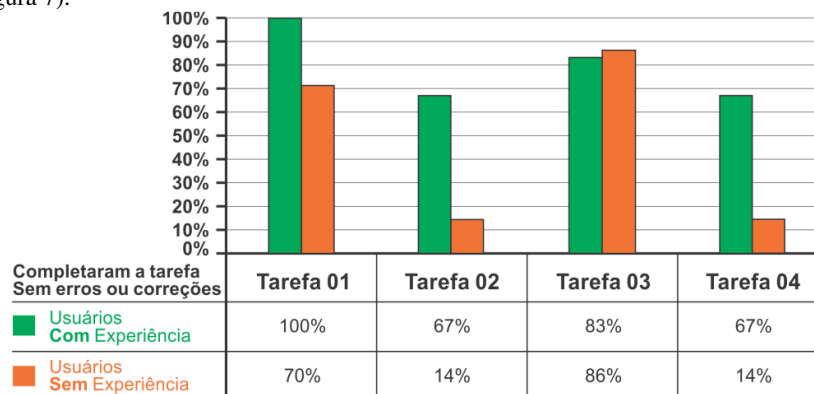


Figura 7 - Porcentagens dos usuários que completaram as tarefas sem cometer erros ou correções, diferenciando usuários com e sem experiência no uso de sistemas robótico

Em relação à satisfação, os participantes responderam sobre a facilidade de execução e o tempo para completar a tarefa. Assim, as respostas ao questionário referente ao tempo necessário para execução foram: 62%

- Aceitável como está e 38% - necessita de pequenas melhorias. E, em relação à facilidade de uso as respostas foram: 77% - Aceitável como está e 23% - necessita de pequenas melhorias (Figura 8).

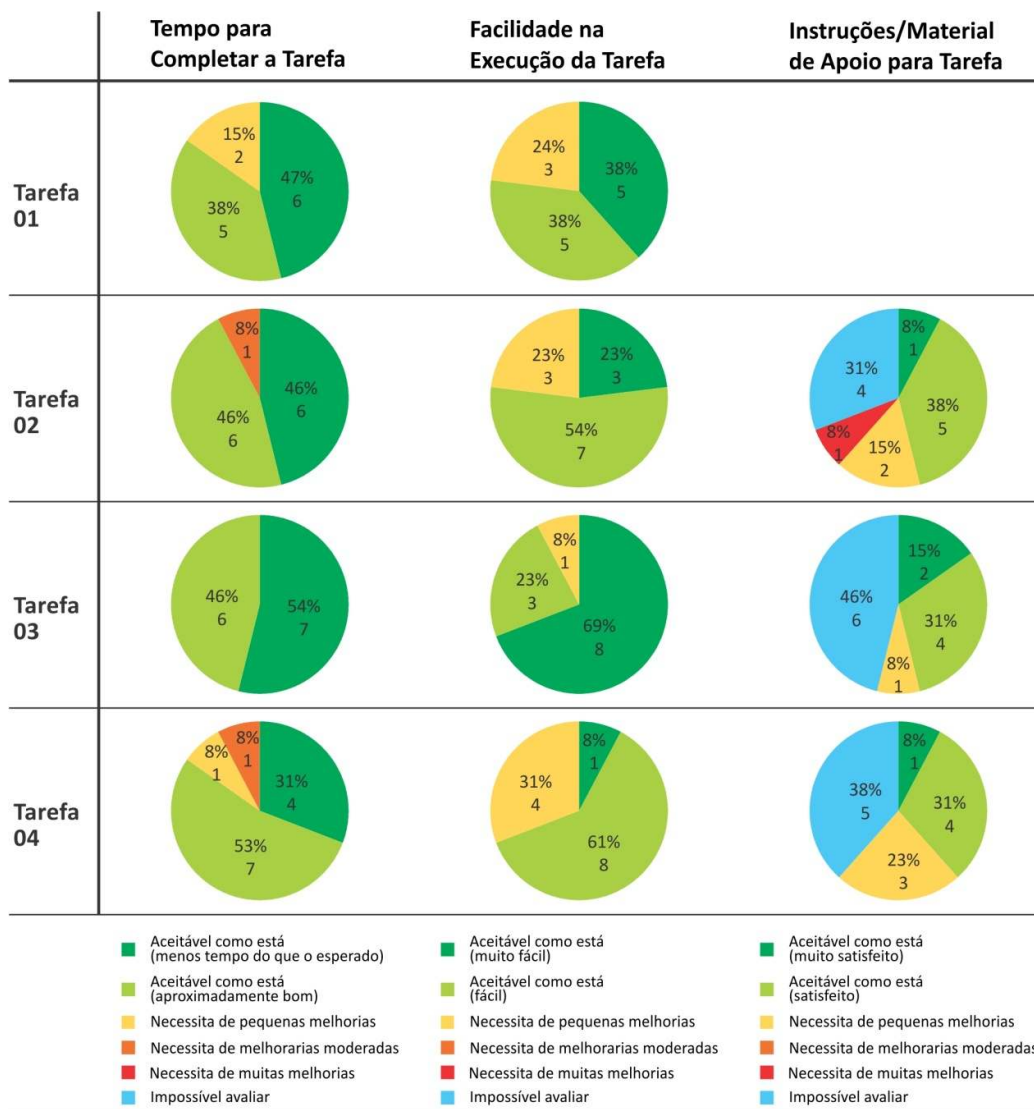


Figura 8 - Porcentagens das respostas sobre satisfação em relação ao tempo necessário, facilidade de execução e material de apoio para cada uma das quatro tarefas

3.2. Tarefa 02 - Executar trajetória linear simples

Os participantes receberam um documento contendo as instruções para execução da tarefa 02. Como material de apoio, foi fornecido um tutorial impresso com as imagens e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa.

1. Executar uma soldagem contínua no trecho determinado, iniciando em 01-A e terminando em 01-B (Figura 9).

Outras informações sobre o contexto de uso foram fornecidas:

Utilize os seguintes valores:

- Distância Bocal/Peça: 15 mm
- Velocidade de soldagem: 40 cm/min
- Sentido da Soldagem: +
- Tempo de disparo da fonte: 0 s de espera



Figura 9 - Estado do sistema no início da atividade (a), e durante a atividade (b)

Em relação ao desempenho, um total de 2,46 minutos em média (DP = 1,19 min; intervalo 1,15 - 4,21 min) foram necessários para conclusão da tarefa entre os usuários com experiência e 3,52 minutos em média (DP = 1,16 min; intervalo 1,57 - 5,04 min) entre os usuários sem experiência (Figura 6).

Já na avaliação de completude 100% dos usuários completaram a tarefa. Sendo que, entre aqueles com experiência 66,67 % completaram a tarefa sem erros ou correções e, entre os usuários sem experiência essa taxa foi de 14,29 % (Figura 7).

Ainda, relação à satisfação, os participantes responderam sobre a facilidade de execução, o tempo para completar a tarefa e sobre os materiais de apoio fornecidos. Assim, as respostas ao questionário referente ao tempo necessário para execução foram: 92% - Aceitável como esta e 8% - necessita de pequenas melhorias. Já e em relação à facilidade de uso as respostas foram: 77% - Aceitável como está e 23% - necessita de pequenas melhorias. Por fim, em relação aos materiais de apoio e instruções, as respostas foram: 46% - Aceitável como está; 15% - necessita de pequenas melhorias; 8% - necessita de muitas melhorias e 31 % não puderam avaliar, pois não utilizaram o material de apoio (Figura 8).

3.3. Tarefa 03 - Carregar e executar um arquivo contendo uma programação pré-definida

Os participantes receberam um documento contendo as instruções para execução da tarefa 03. Como material de apoio, foi fornecido um tutorial impresso com as imagens e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa.

1. Carregar arquivo v4_teste_02.txt
2. Executar a soldagem no trecho determinado, iniciando em 02-A (Figura 10).

Outras informações sobre o contexto de uso foram fornecidas:

- Utilize os seguintes valores:
- Arquivo a ser utilizado: v4_teste_02.txt
- Endereço do arquivo: C:\Desktop



Figura 10 - Estado do sistema no início da atividade (a), e durante a atividade (b)

Em relação ao desempenho, um total de 1,02 minutos em média (DP = 0,40 min; intervalo 0,25 - 2,18 min) foram necessários para conclusão da tarefa entre os usuários com experiência e 1,20 minutos em média (DP = 0,43 min; intervalo 0,30 - 2,42 min) entre os usuários sem experiência (Figura 6).

Já na avaliação de completude 100% dos usuários completaram a tarefa. Sendo que, entre aqueles com experiência 83,33% completaram a tarefa sem erros ou correções e, entre os usuários sem experiência essa taxa foi de 85,71% (Figura 7).

Ainda, com relação à satisfação, os participantes responderam sobre a facilidade de execução, o tempo para completar a tarefa e sobre os materiais de apoio fornecidos. Assim, as respostas ao questionário referente ao tempo necessário para execução foram: 100% - Aceitável como está. Já e em relação à facilidade de uso as respostas foram: 92% - Aceitável como está e 8% - necessita de pequenas melhorias. Por fim, em relação aos

materiais de apoio e instruções, as respostas foram: 46% - Aceitável como está; 8% - necessita pequenas modificações e 46 % não puderam avaliar, pois não utilizaram o material de apoio (Figura 8).

3.4. Tarefa 04 - Programar e executar uma trajetória complexa

Os participantes receberam um documento contendo as instruções para execução da tarefa 04. Como material de apoio, foi fornecido um tutorial impresso com as imagens e a seqüência passo-a-passo das etapas para realizar a tarefa.

1. Executar uma soldagem com tecimento triangular por pontos no trecho determinado, iniciando em 03-A e terminando em 03-B (Figura 11).

Outras informações sobre o contexto de uso foram fornecidas:

Utilize os seguintes valores:

- Distancia Bocal/Peça: 23 mm
- Velocidade de soldagem: 30 cm/min
- Amplitude de tecimento: entre 5 e 7
- Frequência: entre 1 Hz e 1,5 Hz
- Tempo de disparo da fonte: entre 3 s e 5 s



Figura 11 - Estado do sistema no início da atividade (a), e durante a atividade (b)

Em relação ao desempenho, um total de 4,51 minutos em média (DP = 0,38 min; intervalo 4,07 - 5,39 min) foram necessários para conclusão da tarefa entre os usuários com experiência e 5,35 minutos em média (DP = 1,12 min; intervalo 4,10 - 7,28 min) entre os usuários sem experiência (Figura 6).

Já na avaliação de completude 100% dos usuários completaram a tarefa. Sendo que, entre aqueles com experiência 66,67% completaram a tarefa sem erros ou correções e, entre os usuários sem experiência essa taxa foi de 14,29% (Figura 7).

Ainda, em relação à satisfação, os participantes responderam sobre a facilidade de execução, o tempo para completar a tarefa e sobre os materiais de apoio fornecidos. Assim, as respostas ao questionário referente ao tempo necessário para execução foram: 85% - Aceitável como está; 7% - necessita de pequenas melhorias e, 8% - necessita melhorias moderadas. Já em relação à facilidade de uso as respostas foram: 69% - Aceitável como está e 31% - necessita de pequenas melhorias. Por fim, em relação aos materiais de apoio e instruções, as respostas foram: 39% - Aceitável como está; 23% - necessita de pequenas melhorias e 38 % não puderam avaliar, pois não utilizaram o material de apoio (Figura 8).

3.5. Comentários dos participantes

Além de responder aos questionários, os participantes puderam expressar suas opiniões por escritos. Pois, em cada item do questionário havia um campo “comentários” para que o participante complementasse sua resposta. Assim, um dos itens com maior número de reclamações foi o travamento do sistema que ocorria ao se atingir um ponto máximo de deslocamento do eixo, sem que a interface oferecesse uma indicação de qual eixo resultou o problema e também não informava os procedimentos para destravar o equipamento. Seguem, abaixo, alguns comentários com reclamações ou sugestões fornecidas pelos participantes:

- “Falta sinalizar melhor as conexões para agilizar a montagem”;
- “Não conhecia a interface, mas por intuição pude deduzir os comandos”;
- “O display indicando o ponto marcado foi uma informação muito útil”;
- “Chegou ao final de curso de um dos eixos, e não teve indicação para a solução”;
- “Melhorar a identificação dos eixos”;
- “Necessita de um manual completo”;
- “Sinal de Emergência ativado não avisa como corrigir”;
- “Braço do sistema colidiu com a peça, pois não possui uma função que impeça isso”.

Os comentários foram tabulados juntamente com os dados apontados pelos observadores referentes aos pontos em que os usuários apresentaram dificuldades. Dessa forma, foi gerada uma lista de itens de demanda para futuras correções e melhoramentos do sistema.

3.6. Discussão geral

No desenvolvimento da interface foi aplicado um método que privilegia o desempenho e a satisfação do usuário em sua tarefa. Essas qualidades foram asseguradas devido ao ciclo de desenvolvimento centrado nas características e objetivos dos usuários, uma vez que estes foram envolvidos na análise, no projeto, na concepção e na implementação do sistema. Além disso, essa abordagem envolveu um processo iterativo, onde a interface, após a prototipagem foi submetida à avaliação dos usuários.

As ferramentas utilizadas para coleta de dados durante os testes de usabilidade foram selecionadas tendo em vista a comparação entre os objetivos de usabilidade os resultados obtidos. Assim, foram selecionados métodos que pudessem avaliar o desempenho do sistema e a percepção dos usuários em relação à produtividade, prevenção de erros, satisfação, aprendizado e memorização.

Em relação aos tempos necessários para concluir as tarefas, as variações nos resultados entre os dois grupos, já eram esperadas tendo em vista as diferenças no perfil dos participantes. Entretanto, os resultados médios para as quatro tarefas, mantiveram uma variação semelhante, não apresentando grandes diferenças entre os participantes que já possuíam conhecimentos no uso de equipamentos robóticos e os novatos. Assim, pode-se dizer que o tempo de aprendizado é breve, mesmo para usuários novatos.

Ainda, para se avaliar a produtividade, foram medidos os tempos e as taxas de sucesso durante a realização de quatro tarefas que simularam as principais aplicações do sistema. Na avaliação de completude, 100% dos usuários completaram todas as tarefas. Entretanto, as taxas de êxito sem erros ou correções ficaram abaixo do esperado. Este ponto merece atenção especial nas futuras versões do sistema, tendo em vista que um dos requisitos de usabilidade para o projeto era justamente a prevenção de erros. Deste modo, seguem, abaixo, algumas sugestões para melhorias apontadas pelo observador.

- Os cabos de ligação entre o computador e o manipulador poderiam ser mais fáceis de manusear – se possível utilizar apenas um cabo, isso reduziria o tempo e facilitaria a instalação;
- O sistema inicia com o botão de Emergência “piscando”, e não informa o motivo do erro ou se isso é normal;
- Os usuários apresentaram dificuldades para ajustar os parâmetros de soldagem, pois é necessário clicar no botão para selecionar o campo desejado e não no local aonde aparecem os valores.
- Se possível utilizar avisos sonoros juntamente com as mensagens de erro e emergência, pois em alguns casos os usuários não perceberam que a parada de emergência foi acionada;
- Exibir mensagens de aviso quando o usuário clicar no botão “voltar” informando que em algumas telas os dados configurados seriam perdidos, isso evitaria grande parte dos retrabalhos.
- Melhorar a condução nas seqüências de operações, por exemplo, após marcar os pontos da trajetória deveria ficar claro que se deve configurar alguns parâmetros antes de se executar a soldagem.
- Melhorar a identificação do sentido do movimento (+, -) nos eixos X, Y, Z e A, assim como a parte que corresponde a frente do robô.

Com isso, a avaliação de usabilidade fornece um diagnóstico das características e elementos que representam obstáculos para os usuários, assim como, os problemas existentes que dificultam a realização de suas tarefas. Além disso, os dados coletados servem como parâmetros para futuras avaliações.

4. Conclusões

Tendo em vista que os principais requisitos de usabilidade do projeto eram produtividade e facilidade de aprendizagem, pode-se verificar por meio dos resultados que estes requisitos foram atingidos, pois, todos os participantes conseguiram concluir as tarefas propostas. Além disso, a avaliação dos usuários em relação aos tempos para realizar as atividades ficou em “aceitável como está” com grandes porcentagens de respostas para “menos tempo do que o esperado”, o mesmo é válido para o item facilidade de execução.

Também, de acordo com os resultados, acredita-se que o sistema de interação atende as necessidades dos usuários, contudo, pode-se obter maiores níveis de usabilidade corrigindo pequenas falhas, principalmente aquelas relacionadas à comunicação do estado do sistema e aquelas relacionadas ao *feedback* das ações do usuário.

Enfim, diante do exposto, concluí-se que o objetivo do trabalho foi atingido, pois os procedimentos adotados atendem as demandas em relação à engenharia de usabilidade ao cumprir todas as etapas de um desenvolvimento centrado no usuário, como a análise do contexto de operação, especificação das exigências, produzindo soluções de design, e por fim, avaliando o produto em relação às exigências.

5. Referências Bibliográficas

1. LABSOLDA. TARTILOPE V1. **Sistema de deslocamento automático de tocha**. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v1.php>. Acesso em: 29 Out. 2008.
2. LABSOLDA. TARTILOPE V2. **Equipamento para soldagem automática com dois graus de liberdade para superfícies planas**. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v2.php>. Acesso em: 29 Jun. 2010.
3. LABSOLDA. Tartilope V2F. **Sistema de movimentação automática em dois eixos para aplicação em processos de soldagem e corte de chapas metálicas utilizando trilho flexível**. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v2f.php>. Acesso em: 20 Jun. 2010.
4. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13407 Human-Centred Design process for interactive systems**. [S.l.]. 1999.
5. CYBIS, W.; BETIOL, A. H.; FAUST, R. **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimentos, Métodos e Aplicações**. [S.l.]: Novatec, 2007.
6. BROERING, C. E. **Desenvolvimento de Sistemas para a Automação da Soldagem e do Corte Térmico**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 96. 2005.
7. FILHO, A. R. C. **Desenvolvimento de um sistema de seguimento de junta que utiliza o próprio arco como sensor**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.
8. CARVALHO, R. S. **ROBÔ CNC PARA A AUTOMAÇÃO DA SOLDAGEM MIG/MAG EM POSIÇÕES E SITUAÇÕES DE EXTREMA DIFICULDADE**. Dissertação submetida à UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA para obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA. Florianópolis, p. 136. 2009.
9. LABSOLDA. Tartilope V4. **Equipamento robótico para soldagem automática com quatro graus de liberdade**. Disponível em: <http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v4.php>. Acesso em: 15 Jun. 2010.
10. IIDA, I. **Ergonomia – Projeto e Produção**. 2 Ed. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.
11. PIRES, J. N. Codex Automaticus. **Industrial Robotics Research Group**, 2010. Disponível em: <<http://robotics.dem.uc.pt/norberto/codex1.pdf>>. Acesso em: 17 mar. 2010.
12. IEA. **Definição internacional de ergonomia**. INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. Santa Monica, CA 90406-1369 - USA. 2000.
13. WISNER, A. **Por dentro do trabalho Ergonomia: método & técnica**. São Paulo: Oboré, 1987.
14. ABNT. **NBR 9241-11. Requisitos ergonômicos para trabalho de escritório com computadores: Parte 11 — Orientação sobre usabilidade**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, p. 21. 2002.
15. PREECE, J. **Design de interação: além da interação homem-computador**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
16. DAYTON, T.; MCFARLAND, A.; KRAMER, J. Bridging user needs to object oriented GUI prototype via task object design. In: WOOD, L. **User interface design: bridging the gap from user requirements to design**. London: CRC Press, 1998.
17. CONSTANTINE, L.; LOCKWOOD, L. **Software for use: a practical guide to the models and methods of usage centered design**. [S.l.]: Addison-Wesley, 1999.
18. LEWIS, J. R. An after-scenario questionnaire for usability studies: psychometric evaluation over three trials. **SIGCHI Bulletin**, Vol. 23, 1991.
19. LEWIS, J. R. **IBM Computer Usability Satisfaction Questionnaires: Psychometric Evaluation and Instructions for Use. Technical Report 54.786**. Boca Raton, Flórida. 1993.