

Kits Educacionais de FPGA: Solução Tecno-Pedagógica visando a Redução de Desgaste dos Periféricos de Entrada e a Diminuição na Propagação de Doenças Transmissíveis por Contato

Gabriel Kenji de Almeida, ICT/Unifesp, gab_kenji@hotmail.com,

<https://orcid.org/0009-0008-5543-7361>

Tiago de Oliveira, ICT/Unifesp, tiago.oliveira@unifesp.br,

<https://orcid.org/0000-0002-3676-5967>

Lauro Paulo da Silva Neto, ICT/Unifesp, lauro.paulo@unifesp.br,

<https://orcid.org/0000-0001-9862-4601>

Resumo: Para o aprendizado prático de sistemas computacionais é muito comum a utilização de kits educacionais de FPGA - *Field Programmable Gate Array* para a implementação dos projetos elaborados pelos alunos. Estes kits possuem chaves e botões eletromecânicos do tipo liga/desliga que são utilizados como periféricos de entrada para interação com os projetos desenvolvidos pelos alunos. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo fornecer um meio alternativo para realizar essa interação através do celular pessoal do aluno para simular os periféricos de entrada. Para isso, foi desenvolvido um aplicativo móvel e elaborado tutoriais de uso. A solução proposta foi avaliada por alunos de um curso de graduação utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM). O TAM consiste em uma pesquisa para avaliar a facilidade do uso e a utilidade da solução por parte dos usuários, e essa avaliação foi realizada através de um formulário com perguntas direcionadas para determinar a facilidade, utilidade, atitude e intenção comportamental de uso percebidas pelos usuários. A média da facilidade de uso e atitude ficou em torno de 93,4%, da utilidade 95,6% e da intenção comportamental 90,4%; isso demonstra que a solução é de fácil operação e com excelente utilidade. Além disso, a solução buscou diminuir a propagação de doenças transmissíveis por superfície e atuar contra o desgaste dos kits, tendo em vista que os alunos não precisam manipular as chaves e botões eletromecânicos para realizar os comandos de entrada.

Palavras-chave: Ambiente tecno-pedagógico. Aplicativo móvel. Internet das coisas.

FPGA Educational Kits: Techno-Pedagogical Solution aimed at Lessening Wear on Input Peripherals and Reducing the Spread of Surface-Transmissible Diseases

Abstract: For practical learning of computational systems, it is very common to use Field Programmable Gate Array - FPGA educational kits for project implementation developed by the students. These kits have on/off electromechanical switches and buttons that are used as input peripherals for interaction with the projects developed by the students. In this context, the present work aims to provide an alternative means to carry out this interaction through the student's personal cell phone to simulate the input peripherals. For this, a mobile application was developed and tutorials on its use were created. The proposed solution was evaluated by undergraduate students using the Technology Acceptance Model (TAM). The TAM is composed by a survey to evaluate the ease of use and usefulness of the solution by users, and this evaluation was carried out using a form with targeted questions to determine the ease, usefulness, attitude and behavioral intention of use perceived by users. The average ease of use and attitude were around 93.4%, usefulness 95.6% and behavioral intention 90.4%, which demonstrates that the solution is easy to operate and has excellent usefulness.

Furthermore, the solution seeks to reduce the spread of surface-transmissible diseases and to act against the wear of the kits, considering that students do not need to manipulate electromechanical switches and buttons to carry out input commands.

Keywords: Techno-pedagogical environment. Mobile app. Internet of things.

1. Introdução e Contextualização

O FPGA (*Field Programmable Gate Array*) consiste em um dispositivo programável, amplamente utilizado na simulação, prototipação e homologação de circuitos lógicos digitais antes que possam ser impressos para fins de produção, bem como em ambientes educacionais e de formação. O FPGA opera através de uma matriz de transistores que permitem diferentes conexões, e atualmente é amplamente utilizado em quase todos os setores de tecnologia, desde inteligência artificial até a patenteação de circuitos eletrodomésticos, IoT (*Internet of Things* - Internet das Coisas), segurança da informação, automação industrial, entre outros (BALLERINE, 2020).

Kits didáticos contendo FPGAs são amplamente utilizados para o ensino de diversos conceitos envolvendo sistemas computacionais, tais como: circuitos digitais, arquitetura e organização de computadores, projeto de sistemas digitais, linguagens de descrição de hardware, sistemas embarcados, entre outros. Nesse sentido, pode-se encontrar na literatura científica diversos trabalhos que envolvem o aprendizado desses conceitos por meio de kits didáticos de FPGAs. Como exemplos, pode-se citar os trabalhos de (CIFREDO-CHACÓN; QUIRÓS-OLOZÁBAL; GUERRERO-RODRÍGUEZ, 2015), (ABE et al., 2004), (DIAS, 2013) e (OLIVEIRA; STRINGHINI; CRAIBAS, 2019).

Em (CIFREDO-CHACÓN; QUIRÓS-OLOZÁBAL; GUERRERO-RODRÍGUEZ, 2015), os autores propõem o uso de metodologia ativa (*learn-by-doing*) para o desenvolvimento em FPGA de um processador, em que conceitos de dispositivos lógicos programáveis e da linguagem de descrição de hardware VHDL (*Very High Speed Integrated Circuits Hardware Description Language*) são introduzidos aos alunos. Por sua vez, no trabalho realizado por Abe et al. (2004) os autores trazem uma disciplina de laboratório oferecida no primeiro ano de um curso de Ciência da Computação para a realização de um sistema computacional em FPGA que inclui a organização de um processador, o desenvolvimento de um compilador e a execução de uma aplicação que envolve comunicação em redes. Em (DIAS, 2013), o autor utiliza um microcomputador reconfigurável em FPGA para o ensino de Arquitetura de Computadores na Ciência da Computação. No trabalho publicado em (OLIVEIRA; STRINGHINI; CRAIBAS, 2019), os autores trazem uma abordagem curricular diferenciada para o curso de Engenharia de Computação, buscando prover para o aluno uma visão completa e unificada de um sistema computacional complexo, onde ao longo do curso o aluno irá desenvolver um sistema computacional contendo processador, compilador, sistema operacional e um sistema de comunicação digital. Para isso, é utilizado o kit didático FPGA da fabricante Altera modelo DE2-115 (hardware) e o software Quartus Prime para o desenvolvimento dos códigos empregando a linguagem de descrição de hardware Verilog.

Embora o uso desses kits didáticos de FPGA seja muito útil ao permitir ao aluno o aprendizado prático de conceitos relacionados ao projeto de circuitos digitais, eles podem trazer reveses pontuais, que podem se tornar obstáculos no dia-a-dia, tanto para os graduandos como para os docentes que fazem uso desses kits em suas disciplinas. Entre esses reveses estão: (1) dificuldade por parte do discente em se adaptar à rotina e aos desafios proporcionados pelo uso das ferramentas e tecnologias necessárias para manipular os kits de FPGA; (2) alto custo de aquisição e manutenção dos kits didáticos,

os quais, nesse contexto, atuam como principal objeto de aprendizagem utilizado pelos discentes; (3) desgaste dos periféricos que fazem parte do kit didático por meio dos quais o aluno projeta e realiza interações com o dispositivo FPGA, a fim de testar e apresentar seus projetos desenvolvidos durante as disciplinas. Isso ocorre por conta do uso prolongado ao longo do tempo de chaves e botões eletromecânicos do tipo liga/desliga, os quais passam a apresentar mal funcionamento e acabam por dificultar a experiência do discente, uma vez que se faz necessário o consumo de seu tempo e esforço para lidar com problemas ocasionados em virtude desse desgaste; e (4) recentemente com a pandemia de Covid-19, os kits de FPGA podem se tornar foco de transmissão de vírus, tendo em vista a necessidade dos alunos de terem que manipular fisicamente os periféricos de entrada dos kits FPGA para interagir com os circuitos digitais projetados pelos alunos.

Sendo assim, o presente trabalho possui como intuito o desenvolvimento de uma solução para mitigar esses reveses mencionados, composta por um aplicativo móvel e tutoriais de uso (documentos modelos para os alunos utilizarem como projeto base e vídeos didáticos de como usar a solução), substituindo a manipulação dos periféricos de entrada (chaves) do dispositivo FPGA por meio dos aparelhos celulares dos alunos, utilizando a comunicação *bluetooth*. Como vantagem, esse desenvolvimento possibilita e confere ao aluno uma alternativa ao uso dos periféricos nativos (chaves e botões eletromecânicos) do kit FPGA, sujeitos aos desgastes já comentados, e pode vir a proporcionar uma melhor adaptação para o uso de ferramentas e tecnologias necessárias na manipulação desses kits. O trabalho aqui proposto apresenta o desenvolvimento de uma solução capaz de realizar a conexão sem fio entre um dispositivo móvel (celular) e o kit didático FPGA, substituindo os comandos de entrada realizados pelas chaves e botões, ou trabalhando em conjunto com elas, ampliando assim o número de periféricos de entrada. Através desta solução os alunos utilizam o celular pessoal (simulando virtualmente as chaves e botões eletromecânicos) para interação com o kit FPGA ao invés da utilização das chaves e botões físicos disponíveis nos kits. Além disso, essa solução apresenta uma inovação nos processos de comunicação, diminuindo o desgaste das chaves e botões físicos e a propagação de vírus pelo manuseio dos kits didáticos, o que pode vir a resultar em uma vida média maior para os kits didáticos e um número menor de contaminação de doenças transmissíveis por superfície (como o Covid-19, por exemplo).

2. Comunicação *Bluetooth*, Internet das Coisas e Ambientes Tecno-Pedagógicos

Um assunto que vem ganhando bastante notoriedade nos últimos tempos é o tema de Internet das Coisas, a qual pode ser entendida como uma coleção de dispositivos conectados entre si, objetivando alcançar um determinado resultado (SAMUEL; SIPES, 2019). A comunicação facilitada entre esses dispositivos e uma coleção são as principais particularidades desse tema, e de onde provêm as funcionalidades inovadoras de todos os sistemas que vêm sendo desenvolvidas com essas características.

Em (SINGH; KUMAR, 2021), uma automação domiciliar, utilizando elementos de IoT foi desenvolvida utilizando comunicação *bluetooth* e um dispositivo FPGA, possibilitando o controle de iluminação por meio de um aplicativo móvel, que com argumentos em favor do uso de comunicação *bluetooth* em automações domiciliares, apresenta uma alternativa ao uso de dispositivos sem fio tradicionais, que atualmente são mais predominantes no mercado. A principal diferença entre essas tecnologias seria o baixo consumo de energia da comunicação *bluetooth*, mas com a consequência de prover uma comunicação de baixo alcance, enquanto a comunicação sem fio tradicional

pode prover uma comunicação de maior alcance, com a consequência de consumir muita energia.

Essas características que cunharam o termo IoT, mesmo tendo maior impacto na vida da população em geral por meio da automação domiciliar, possuem outras aplicações inovadoras e disruptivas. Em (HAWAYEK; HARGROVE; BOUSABA, 2013), um sistema com essas características é implementado, utilizando também comunicação *bluetooth* entre um FPGA e um dispositivo móvel, com o intuito de facilitar processos que venham a requerer um monitoramento em tempo real de dados coletados por meio de sensores. O caso de uso desse trabalho em questão é a coleta e processamento em tempo real de dados de frequência cardíaca.

Na área de educação, IoT também pode ser aplicado (como é o caso do trabalho aqui proposto) que, para além dos objetivos específicos a serem atingidos com a sua implementação na educação, também podem fomentar ambientes tecno-pedagógicos que podem ser utilizados nos processos de ensino-aprendizagem. Como exemplo, pode-se citar a tese de Yanaze (2015), em que o autor busca colaborar com o tema de formação do engenheiro elétrico e de computação, trazendo em pauta conceitos e temas não necessariamente explorados em cursos tradicionais de computação, mas em cursos de engenharia, como *Design Thinking*, competências transversais, aprendizagem ativa, além de buscar apresentar a tecno-pedagogia, como conceito que engloba a convergência de estruturas tecnológicas, estratégias pedagógicas e métodos de avaliação para a aprendizagem em um ambiente de inovação constante.

O conceito de tecno-pedagogia, segundo como apresentado em Yanaze (2015), possui o intuito de agrupar ou classificar o conjunto metodológico, instrumental e filosófico que parte da premissa de que as últimas gerações devem ter sua formação com foco na interação homem-computador; isso se justifica pela hipótese de que o próprio modelo cognitivo do ser humano se alterou, e, assim sendo, os processos pelos quais há o aprendizado devem se lapidar de modo a acompanhar essa mudança cognitiva.

Em (PLAZA et al., 2016), tem-se uma contextualização do estado atual desses ambientes tecno-pedagógicos, suas características e particularidades no âmbito de ensino de técnicas de criação e manipulação de hardware. No trabalho citado, os autores propõem a criação de uma ferramenta a ser utilizada como ambiente de ensino de robótica, englobando requisitos como baixo custo, facilidade de uso, escalabilidade e aprendizagem colaborativa.

3. Materiais e Métodos

Uma das principais vantagens da solução proposta é o número reduzido de componentes e o baixo custo, neste caso, apenas empregando o módulo *bluetooth* HC-06, e o celular (do próprio aluno) com o aplicativo desenvolvido e disponibilizado de forma gratuita. Os demais materiais necessários já fazem parte das atividades laboratoriais convencionais e, para o trabalho aqui proposto, será utilizado o kit didático FPGA modelo DE2-115 e um computador com software Quartus Prime. Para a prototipação, optou-se pelo módulo *bluetooth* HC-06, pela facilidade de ser encontrado no comércio e por seu baixo custo. Na Figura 1 é apresentada a estrutura com todos os elementos integrados.

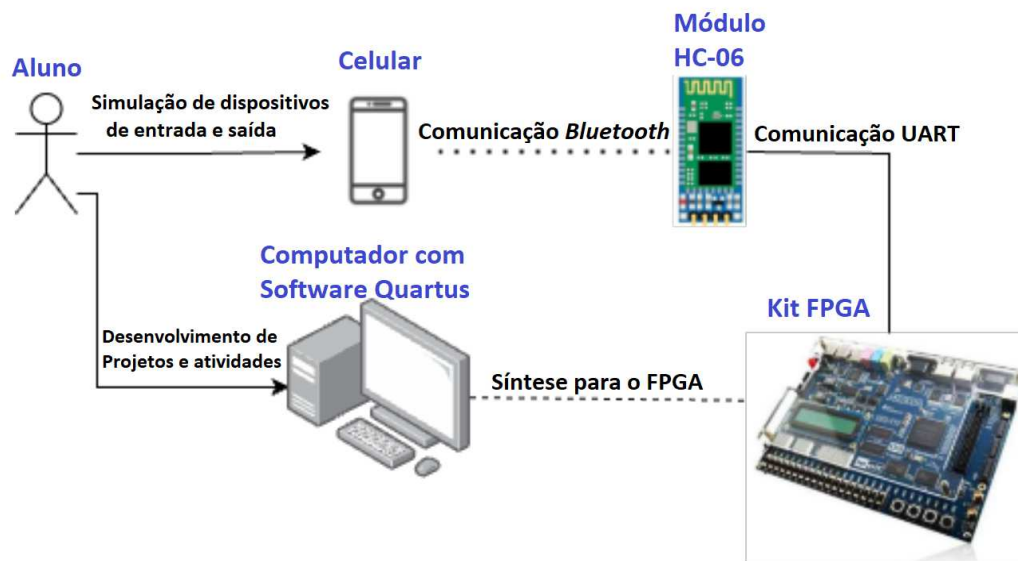


Figura 1 - Arquitetura da Solução Proposta

Como mostrado na Figura 1, a solução desenvolvida é composta basicamente por três elementos: o aplicativo móvel, a conexão física do FPGA com o módulo *bluetooth*, e um modelo de projeto usando a linguagem de descrição de hardware Verilog. Tomando as setas presentes no diagrama da Figura 1 como atividades que ocorrem na solução, pode-se realizar uma associação fundamental para entender todo o sistema:

- As atividades de "Simulação de dispositivos de Entrada", e de "Comunicação *bluetooth*" são realizadas pelo aplicativo móvel.
- As atividades de "Desenvolvimento de projetos e atividades" e "Síntese para o FPGA" são realizadas a partir do modelo de projeto base.
- A atividade denotada no diagrama por "Comunicação UART" ocorre em virtude da conexão física entre o FPGA e o Módulo *bluetooth*, e a transmissão de dados é interpretada a partir do projeto base.

O módulo HC-06 faz a comunicação com o kit didático através do protocolo UART com a finalidade de transmitir os dados recebidos do aplicativo móvel (celular); este projeto consiste em uma comunicação simplex, onde a transmissão de dados acontece apenas em um sentido, ou seja, apenas do celular para o módulo HC-06/kit didático.

Vale ressaltar que o método de comunicação sem fio *bluetooth* foi escolhido por se tratar de um sistema que se adequa ao ambiente de um laboratório, principalmente por conta de sua característica de baixa interferência, fazendo com que seja possível que vários alunos utilizem a ferramenta no mesmo ambiente. O uso do protocolo UART para comunicação entre o módulo *bluetooth* e o FPGA se deu principalmente por conta da simplicidade na implementação do protocolo, e por conta dele ser utilizado nativamente no módulo *bluetooth* utilizado na criação do protótipo.

Para o desenvolvimento do aplicativo móvel proposto como parte da solução do presente trabalho, optou-se por utilizar as tecnologias Dart e Flutter, sendo que a

primeira consiste na linguagem de programação sobre a qual a segunda, que se trata de um framework, é utilizada. O aplicativo móvel, proposto neste trabalho, foi desenvolvido com compatibilidade para celulares com plataforma Android.

A interface gráfica do aplicativo móvel desenvolvido, a qual é visualizada pelo aluno para interação com os seus projetos, é apresentada na Figura 2.

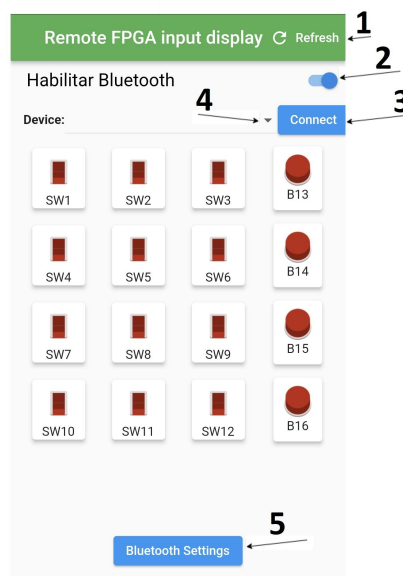


Figura 2 - Interface Gráfica do Aplicativo Móvel

A interface gráfica, como mostrado na Figura 2, possui apenas uma tela, com elementos que acessam as funcionalidades desenvolvidas nessa solução, sendo elas:

- A área da interface indicada pela seta 1 utiliza a funcionalidade de atualizar a lista de dispositivos pareados;
- A área indicada pela seta 2 dispara uma função responsável por ligar e desligar o *bluetooth* do celular;
- O botão indicado pela seta 3 dispara uma função que realiza a conexão com o dispositivo selecionado na seção indicada por 4;
- A seção indicada pela seta 4 possui a função de abrir a lista de dispositivos pareados, para que o usuário possa selecionar o dispositivo com o qual deseja se conectar;
- O botão indicado pela seta 5 redireciona o usuário para as configurações de *bluetooth* de seu celular, caso ele deseje parear um novo dispositivo.

Na Figura 2, os itens localizados no centro da tela correspondem às chaves e botões virtuais, e tornam-se interativos quando o usuário se conecta com sucesso a algum dispositivo. Esses itens, ao serem pressionados pelo usuário, enviam dados para o Kit FPGA via comunicação *bluetooth*, e atualizam o estado da chave ou botão que foi pressionado, para que uma animação de chave ou botão ligado ou desligado seja executada. As animações das chaves e botões ligados e desligados são as mesmas desenvolvidas por Morales et al. (2023), as quais foram fundamentais no desenvolvimento da interface gráfica.

Neste trabalho, o foco foi desenvolver e avaliar uma solução de hardware empregando uma tecnologia de comunicação sem fio (*bluetooth*) para diminuir o desgaste em kits didáticos e evitar a propagação de doenças transmissíveis por superfície, não sendo objeto de estudo outras formas de execução da atividade, como exemplo a simulação.

Para a avaliação da solução desenvolvida por parte dos usuários, foi elaborado um questionário com o intuito de medir a aceitação da solução desenvolvida utilizando o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), proposto por Davis et al. (1989). Por meio desse modelo observaram-se alguns constructos, sendo eles: Qualidade do Sistema, Norma Subjetiva, Facilidade de Uso Percebida, Utilidade Percebida, Atitude em Relação ao Uso e Intenção Comportamental de Uso. Além do questionário TAM, os alunos também puderam enviar comentários para apresentar críticas e sugestões de melhoria.

Durante a disciplina de Laboratório de Circuitos Digitais de uma universidade federal, alguns alunos de graduação de Bacharelado em Ciência e Tecnologia foram convidados voluntariamente para utilizar a solução proposta em uma atividade de laboratório dessa disciplina. Após o uso da solução desenvolvida, os alunos preencheram o formulário elaborado na plataforma Google Forms.

4. Resultados e discussões

Durante o processo de avaliação, houve um total de 12 alunos que se dispuseram a utilizar a solução desenvolvida no laboratório da disciplina. Desses 12 alunos, três deles não foram capazes de utilizar a solução proposta, sendo um por conta da indisponibilidade do aplicativo em dispositivos iOS, e os outros dois por conta de limitações técnicas na instalação do aplicativo. Nas duas situações em que houve problema na instalação do aplicativo, os avaliadores relataram seu encerramento instantâneo após sua inicialização, sem nem sequer mostrar a tela inicial. A causa raiz desse problema consiste em uma incompatibilidade entre a versão Android do celular do avaliador e o próprio aplicativo. Como o aplicativo móvel desenvolvido está publicado na *playstore* da Google, foi necessário utilizar as bibliotecas e *plugins* mais atuais existentes, o que tornou a solução incompatível com celulares Android em versões não atuais (esse foi o caso dos dois alunos que não conseguiram executar a solução proposta).

Vale ressaltar que todos os três casos reportados anteriormente foram desconsiderados na análise dos resultados do questionário, com o intuito de priorizar as respostas dos avaliadores que de fato fizeram uso da solução proposta. Aqui também vale pontuar que, segundo Nunnally (1978), com a participação de ao menos cinco avaliadores, é possível assegurar uma estimativa confiável quanto à verossimilhança da correspondência entre a qualidade da ferramenta desenvolvida com os resultados do questionário. Ainda assim, quanto maior o número de avaliadores, maior será essa confiança.

Para cada questão do questionário TAM aplicado, foi utilizada a escala *likert* de 5 pontos (1 - discordo totalmente, 2 - discordo parcialmente, 3 - neutro, 4 - concordo

parcialmente, 5 - concordo totalmente). O resultado obtido com a aplicação do questionário pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise Descritiva dos Constructos do Questionário

Descrição	Frequência					Média
	1	2	3	4	5	
Qualidade do Sistema						
Considero as funções do sistema satisfatórias.	0	0	0	0	9	5,00
Estou satisfeito com o tutorial do sistema.	0	0	0	1	8	4,89
Estou satisfeito com a interface gráfica (tela) do aplicativo do sistema.	0	0	0	2	7	4,78
Estou satisfeito com o modelo/template disponibilizado para uso e adaptação do sistema.	0	0	0	1	8	4,89
Média geral:	4,89					
Norma Subjetiva						
Eu utilizaria o sistema independente da indicação de uso pelo meu professor.	0	1	1	1	6	4,33
Eu utilizaria o sistema mesmo não sendo obrigatório.	0	1	0	1	7	4,56
Média geral:	4,44					
Facilidade de Uso Percebida						
Para mim o sistema é fácil de usar.	0	0	0	3	6	4,67
Eu achei fácil conectar o módulo Bluetooth com o FPGA.	0	0	1	1	7	4,67
Interagir com o sistema não exige muito do meu esforço mental.	0	0	1	1	7	4,67
A maneira de interação com o sistema é clara e facilmente compreendida.	0	0	1	1	7	4,67
Média geral:	4,67					
Utilidade Percebida						
Acho que o sistema é útil na minha aprendizagem.	0	0	0	1	8	4,89
Considero que o sistema irá facilitar o desenvolvimento das atividades e projetos nos laboratórios de sistemas computacionais.	0	0	0	2	7	4,78
O conhecimento adquirido ajudará em outras atividades relacionadas aos laboratórios de sistemas computacionais.	0	0	1	1	7	4,67
Média geral:	4,78					
Atitude em Relação ao Uso						
No geral, gostei de usar o sistema.	0	0	1	1	7	4,67
Sou favorável ao uso do sistema para aprimorar minha aprendizagem sobre dispositivos de entrada e saída em um sistema computacional.	0	0	1	1	7	4,67
Média geral:	4,67					
Intenção Comportamental de Uso						
Você faria uso do sistema ao invés do uso tradicional das chaves e botões?	0	2	1	2	4	3,89
Caso seu FPGA apresente problemas com chaves e botões, você faria uso do sistema?	0	1	0	0	8	4,67
Você recomendaria o sistema para outras pessoas usarem?	0	0	0	0	9	5,00
Média geral:	4,52					

Quanto à qualidade do sistema (solução proposta), de acordo com os resultados obtidos do questionário, todos os avaliadores se mostraram satisfeitos com as funções apresentadas pelo aplicativo móvel, bem como com o tutorial, com a interface gráfica, e com o modelo/template, considerando a maioria absoluta das respostas, que se restringiram a "concordo totalmente" e "concordo parcialmente".

De acordo com os resultados obtidos para o constructo de norma subjetiva, cuja maioria absoluta de respostas também varia entre "concordo totalmente" e "concordo parcialmente", é razoável mencionar que a solução proposta deve ser utilizada pelo público alvo independente de obrigatoriedade, indicando que o benefício provindo de suas funcionalidades compensam o desgaste por parte do usuário advindo do processo de aprendizado de uso dessa nova tecnologia inserida na disciplina.

Já para o constructo de facilidade de uso percebida, levando em conta as médias por questão e a média geral, é plausível constatar que a solução é fácil de usar. O

principal fator nesse cenário é que os avaliadores, bem como o público alvo, são previamente familiarizados com os conceitos necessários para manipular a tecnologia apresentada. Isso reforça a constatação principal dos resultados de norma subjetiva: uma vez que a ferramenta é fácil de usar, o esforço necessário no aprendizado de uso por parte do público alvo não é tão laborioso, e, portanto, os benefícios advindos das funcionalidades da ferramenta se sobressaem.

No constructo de utilidade percebida, tem-se que 89% dos avaliadores concordam totalmente que o sistema é útil em sua aprendizagem, e 78% dos avaliadores que a solução facilitará o desenvolvimento das atividades e projetos nas disciplinas práticas de laboratório de sistemas computacionais; enquanto que 7 dos 9 avaliadores consideram integralmente que o conhecimento adquirido pelo uso da ferramenta pode vir a ser útil em atividades relacionadas. Esse resultado sinaliza o cumprimento de um dos principais objetivos do presente trabalho, de facilitar o desenvolvimento de atividades e projetos que necessitem de uso do kit FPGA.

Sobre os resultados presentes no constructo de atitude em relação ao uso, tem-se que pelo menos 7 de 9 avaliadores gostaram totalmente de usar o sistema e são integralmente favoráveis ao seu uso para aprimorar o processo de aprendizagem sobre dispositivos de entrada e saída. Tendo isso em vista, é razoável constatar que, no caso geral, a experiência de primeiro uso da ferramenta foi suficientemente agradável para fomentar a atitude em relação ao seu uso.

Por fim, quanto à intenção comportamental de uso, tem-se que praticamente todos os avaliadores (8 de um total de 9) adotariam o sistema caso o FPGA apresente problema com os periféricos de entrada (chaves e botões eletromecânicos). Além disso, em condições normais ou independentemente de haver problemas físicos com os periféricos do FPGA, a maioria dos avaliadores (67%), considerando os que responderam "concordo totalmente" e "concordo parcialmente", fariam uso do sistema, mostrando, com isso, fortes indícios de intenção comportamental de uso da solução desenvolvida. Essa inferência também pode ser reforçada pelo fato de que 100% dos avaliadores indicaram que recomendariam o sistema para outras pessoas usarem.

5. Conclusões

No trabalho aqui descrito foi proposta uma solução educacional - aplicativo móvel e tutoriais de uso (documentos de modelo para os alunos utilizarem como projeto base e vídeos didáticos de como usar a solução) - que consiste no uso de celulares para simular o comportamento de periféricos de entrada disponíveis em kits didáticos de FPGAs.

A solução apresentada busca prover uma série de benefícios aos alunos e docentes, como por exemplo, a prevenção do desgaste físico dos kits didáticos de FPGAs, visando prolongar sua vida útil e gerar economia financeira na manutenção dos laboratórios, diminuição da propagação de doenças transmissíveis por superfície (como o Covid-19, por exemplo), a expansão na quantidade de periféricos de entrada, ao utilizar a solução em conjunto com os periféricos físicos (chaves e botões eletromecânicos), fato que pode se fazer necessário em atividades mais complexas, e, por fim, o estímulo e motivação para que o aluno busque aprender conteúdos que vão além das ementas das disciplinas, visto que a ferramenta faz uso de comunicação sem

fio e de programação de dispositivos móveis, assuntos pertinentes na área de tecnologia, especialmente em cursos de engenharia, indo, portanto, em direção a um ambiente técnico-pedagógico.

A partir da análise dos resultados obtidos durante o processo de avaliação com os alunos de um curso de graduação, pode-se concluir que a solução foi capaz de atender às expectativas iniciais, de fornecer ao aluno um meio alternativo para testar e interagir com os seus projetos implementados em kits FPGAs, proporcionando uma experiência de aprendizado mais atrativa.

Como comentado anteriormente, os alunos que preencheram o formulário de avaliação disponibilizado apresentaram comentários para a melhoria da solução desenvolvida, os quais podem ser utilizados para direcionamentos de trabalhos futuros. Com relação ao aplicativo móvel Android, um dos avaliadores sugeriu a ampliação do layout das chaves e botões, com a finalidade de fornecer ao usuário opções de customização quanto à organização das entradas que ele deseja utilizar. Outro avaliador sugeriu a ampliação da solução para que esta venha a simular dispositivos de saída, como por exemplo, mostrando valores enviados pelo FPGA. Um dos avaliadores também sugeriu a criação de um aplicativo para computador, com as mesmas funcionalidades de simulação dos periféricos de entrada do aplicativo móvel.

Por fim, é válido comentar que as instituições, alunos ou professores que desejarem utilizar a solução educacional desenvolvida ou até mesmo modificá-la para inclusão de novas funcionalidades ou adequações para contextos educacionais específicos, pode acessá-la gratuitamente, com vídeos didáticos de como usar a solução¹, com o aplicativo móvel que pode ser encontrado na *playstore* da Google com o nome *Remote FPGA Input*, e com o código fonte desenvolvido e disponibilizado² e também os tutoriais de uso³.

Notas

¹ Disponível em:

https://youtube.com/playlist?list=PLgCTzrLk520FA1JuVRjm_sWLJU5Xd9yaS&si=OYAOqq5oXH2v9L8Y.

² Disponível em: https://github.com/keeenjii/lab_integrado_fpga.

³ Disponível em:

<https://drive.google.com/drive/folders/1s2SC8ZmL0MayPuyz2qAuVby22UEIiXRf?usp=sharing>.

Referências

ABE, K.; TATEOKA, T.; SUZUKI, M.; MAEDA, Y.; KONO, K.; WATANABE, T. An integrated laboratory for processor organization, compiler design, and computer networking. **IEEE Transactions on Education**, v. 47, n.3, p. 311-320, 2004.

BALLERINE, J. P. B. **Protocolo USP/IP aplicado em contexto educacional para controle remoto de kits de desenvolvimento com FPGA**. Dissertação (Monografia) — Universidade Federal de São Paulo, 2020.

CIFREDO-CHACÓN, M. D. L. Á.; QUIRÓS-OLOZÁBAL, Á.; GUERRERO-RODRÍGUEZ J. M. Computer architecture and FPGAs: A learning-by-doing methodology for digital-native students, **Computer Applications in Engineering Education**, v. 23, n. 3, p.464-470, 2015.

DAVIS, F. D.; BAGOZZI, R. P.; WARSHAW, P. R. User acceptance of computer technology: A comparison of two theoretical models. **Institute for Operations Research and the Management Sciences**, v. 35, n. 8, p. 982-1003, 1989.

DIAS, M. A. Microcomputador re-configurável em FPGA para ensino de Arquitetura de Computadores na Ciência da Computação. **Revista Novas Tecnologias na Educação (RENOTE)**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, 2013.

HAWAYEK, S.; HARGROVE, C.; BOUSABA, N. A. Real-Time Bluetooth Communication Between an FPGA Based Embedded System and an Android Phone. In **Proceedings of IEEE Southeastcon**, 2013.

NUNNALLY, J. C. **Psychometric theory**. 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 1978.

OLIVEIRA, T.; STRINGHINI, D.; CRAIBAS, J. J. S. A Practical and Systemic Curricular Approach to Teach Computer Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 8, p.1349-1362, 2019.

PLAZA, P.; SANCRISTOBAL, E.; FERNANDEZ, G.; CASTRO, M.; PÉREZ, C. Collaborative Robotic Educational Tool based on Programmable Logic and Arduino. In **Proceedings of Technologies Applied to Electronics Teaching**, 2016.

SAMUEL, A.; SIPES, C. Making internet of things real. **IEEE Internet of Things Magazine**, v. 2, n. 1, p.10-12, 2019.

SINGH, T. D.; KUMAR, M. Design and development of bluetooth based home automation system using FPGA. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 16, n. 10, p. 830–838, 2021.

MORALES, D; LELLIS, L.; TORRES, R. CAPPABIANCO, F. **WiRedPanda**, 2023. Disponível em: <<https://gibis-unifesp.github.io/wiRedPanda/>>. Acesso em: 22 set. 2023.

YANAZE, L. K. H. **Ambientes tecno-pedagógicos para o desenvolvimento de competências transversais para a inovação em engenharia**. Tese (Doutorado) — Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2015.