

AVALIANDO A EFETIVIDADE DE LABORATÓRIOS REMOTOS NA EDUCAÇÃO DE MICROCONTROLADORES E IOT: UM ESTUDO DE USABILIDADE

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF REMOTE LABORATORIES IN
MICROCONTROLLER AND IOT EDUCATION: A USABILITY STUDY

EVALUANDO LA EFECTIVIDAD DE LOS LABORATORIOS REMOTOS EN LA
EDUCACIÓN DE MICROCONTROLADORES Y IOT: UN ESTUDIO DE USABILIDAD

*Fernando Bittencourt Arroyo¹, Rafael de Souza Oliveira²,
Marcos Antônio Gaspar³, Peterson Adriano Belan⁴*

RESUMO

A crescente demanda por ensino digital impulsiona a necessidade de desenvolver ferramentas eficazes e envolventes para estudantes e professores, notadamente em disciplinas técnicas. O presente estudo buscou validar a aplicabilidade e usabilidade da solução Laboratório Remoto de Microcontroladores (LRM) como uma ferramenta de ensino prático na área da educação em engenharia e mecatrônica. Para tanto, foi realizada pesquisa aplicada experimental com a aplicação de três técnicas de análise: questionário *System Usability Scale* (SUS), *User Experience Questionnaire* (UMUX) e análise qualitativa das respostas, buscando-se assim obter uma visão abrangente das características e dificuldades associadas à utilização do LRM. Os resultados obtidos mostraram uma pontuação média de usabilidade elevada, com 84,81 no SUS e 85,90 no UMUX, indicando que a ampla maioria dos alunos participantes teve facilidade ao utilizar o LRM como ferramenta de estudo. Em complemento, as respostas qualitativas demonstraram a satisfação dos alunos e a viabilidade do LRM em um ambiente real de ensino. Em conclusão, o estudo ressalta a importância e relevância de laboratórios remotos no contexto educacional atual, mostrando a viabilidade e o potencial como ferramenta de ensino. A solução ora validada, bem como a metodologia desenvolvida neste estudo, contribui para o avanço do conhecimento na área e abrem caminho para futuras pesquisas e aprimoramentos no campo dos laboratórios remotos e das tecnologias educacionais em geral.

PALAVRAS-CHAVE: Laboratório remoto, UMUX, SUS, Aplicabilidade, Usabilidade.

¹ Doutorando em Informática e Gestão do Conhecimento pela Universidade Nove de Julho. Analista de TI do Banco do Brasil S.A. São Paulo, SP - Brasil. E-mail: web.arroyo.fernando@gmail.com

² Mestrando em Informática e Gestão do Conhecimento pela Universidade Nove de Julho. Professor de Ensino Médio e Técnico no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. Santana de Parnaíba, SP - Brasil. E-mail: web.arroyo.fernando@gmail.com

³ Doutor em Administração pela Universidade de São Paulo. Docente permanente e pesquisador na Universidade Nove de Julho. São Paulo, SP - Brasil. E-mail: marcos.antonio@uni9.pro.br

⁴ Doutor em Informática pela Universidade Nove de Julho. Docente permanente e pesquisador da Universidade Nove de Julho. São Paulo, SP - Brasil. E-mail: belan@uni9.pro.br

Submetido em: 30/05/2023 - **Aceito em:** 14/03/2024 - **Publicado em:** 29/08/2024

ABSTRACT

The increasing demand for digital education drives the need to develop effective and engaging tools for students and teachers, notably in technical disciplines. This study aimed to validate the applicability and usability of the Remote Microcontroller Laboratory (RML) as a practical teaching tool in the field of engineering and mechatronics education. To this end, experimental applied research was conducted using three analysis techniques: the System Usability Scale (SUS) questionnaire, the User Experience Questionnaire (UMUX), and a qualitative analysis of responses. The aim was to gain a comprehensive view of the characteristics and difficulties associated with the use of the MRL. The results obtained showed a high average usability score, with 84.81 on the SUS and 85.90 on the UMUX, indicating that the vast majority of participating students found the MRL easy to use as a study tool. Additionally, qualitative responses demonstrated student satisfaction and the feasibility of implementing the MRL in a real teaching environment. In conclusion, the study emphasizes the importance and relevance of remote laboratories in the current educational context, showing their viability and potential as a teaching tool. The validated solution and methodology developed in this study contribute to the advancement of knowledge in the field and pave the way for future research and improvements in remote laboratories and educational technologies.

KEYWORDS: Remote Laboratory, UMUX, SUS, Applicability, Usability.

RESUMEN

La creciente demanda de educación digital impulsa la necesidad de desarrollar herramientas efectivas y atractivas para estudiantes y profesores, especialmente en disciplinas técnicas. Este estudio buscó validar la aplicabilidad y usabilidad de la solución Laboratorio Remoto de Microcontroladores (LRM) como una herramienta de enseñanza práctica en el campo de la educación en Ingeniería y Mecatrónica. Para ello, se llevó a cabo una investigación experimental aplicada utilizando tres técnicas de análisis: el cuestionario *System Usability Scale* (SUS), el cuestionario *User Experience* (UMUX), y un análisis cualitativo de las respuestas, con el objetivo de obtener una visión integral de las características y dificultades asociadas al uso del LRM. Los resultados obtenidos mostraron una alta puntuación media de usabilidad, con 84,81 en el SUS y 85,90 en el UMUX, indicando que la gran mayoría de los estudiantes participantes encontraron fácil utilizar el LRM como herramienta de estudio. Además, las respuestas cualitativas demostraron la satisfacción de los estudiantes y la viabilidad del LRM en un entorno real de enseñanza. En conclusión, el estudio resalta la importancia y relevancia de los laboratorios remotos en el contexto educativo actual, mostrando su viabilidad y potencial como herramienta de enseñanza. La solución validada aquí, así como la metodología desarrollada en este estudio, contribuyen al avance del conocimiento en el área y abren el camino para futuras investigaciones y mejoras en el campo de los laboratorios remotos y las tecnologías educativas en general.

PALAVRAS-CLAVE: Laboratorio remoto, UMUX, SUS, Aplicabilidad, Usabilidade.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, recursos tecnológicos cada vez mais avançados estão presentes no dia a dia, facilitando a execução de diversas funções. Nas últimas décadas, a tecnologia vem ganhando espaço em várias atividades, melhorando a qualidade de vida das pessoas e transformando tarefas monótonas e cansativas em rotinas automatizadas e rápidas. Isso possibilita a realização de tarefas antes inviáveis, otimiza o tempo e reduz falhas humanas (Adjih *et al.*, 2015).

A pandemia da COVID-19 em 2020 impulsionou a adoção de ensino remoto nas universidades e enfatizou a necessidade de digitalização e comunicação entre dispositivos. Com o isolamento social, as aulas, reuniões de empresas e atendimentos em vários setores foram conduzidos remotamente, utilizando conexões entre dispositivos alinhadas às inovações propostas pela Internet das Coisas (IoT). Diante da evolução acelerada do ensino remoto, identificou-se a necessidade de aprimorar ferramentas de ensino. Devido à COVID-19, por exemplo, os cursos presenciais (do ensino básico ao superior) foram adaptados para serem exercidos de forma remota. Contudo, nas disciplinas com experimentos em laboratório, foi necessário desenvolver alternativas que pudessem simular o aprendizado prático em cursos como Engenharia Elétrica, Mecatrônica Industrial e Telecomunicações, entre outros (Carolina; Pereira, 2022).

A revisão da literatura realizada para este estudo mostrou que a aplicação de IoT está em voga em diversas áreas, tais como a financeira, estética, alimentação, saúde, segurança, meteorologia, cuidados a idosos e portadores de necessidades especiais e monitoramento de trânsito, dentre outras aplicações (Fernández-Pacheco; Martin; Castro, 2019; Leisenberg; Stepponat, 2019). Fernández-Pacheco *et al.* (2019) argumentam que os centros de educação precisam fornecer laboratórios onde os alunos possam aprender IoT e sugerem uma arquitetura para a criação de um Laboratório Remoto para experiências IoT devido às vantagens em relação aos laboratórios convencionais. Eles reforçam que qualquer sistema deve ter alta usabilidade para garantir uma experiência de aprendizado eficiente e eficaz para os estudantes. A norma técnica ISO 9241-11:2018 define usabilidade 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 de uso específico”.

Na literatura, existem propostas para a arquitetura de Laboratórios Remotos com uso de ferramentas IoT e trabalhos que mostram a necessidade de mensurar sua viabilidade. No entanto, não foram encontrados trabalhos que a mensurem de forma eficiente, utilizando ferramentas e técnicas adequadas e empregando uma metodologia de avaliação apropriada (Fernández-Pacheco; Martin; Castro, 2019; Leisenberg; Stepponat, 2019).

Portanto, é fundamental compreender e avaliar a usabilidade das ferramentas de ensino remoto, como o Laboratório Remoto de Microcontroladores (LRM), para garantir que elas atendam às necessidades e expectativas dos usuários, promovendo um ambiente de aprendizado de qualidade e adaptado às novas demandas educacionais da era digital. Nesse contexto, a pesquisa aqui apresentada busca contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento de soluções educacionais inovadoras e eficientes, alinhadas às tendências atuais e futuras no ensino remoto e das tecnologias educacionais digitais. Face ao exposto, esta pesquisa aplicada experimental tem como objetivo validar a aplicabilidade e usabilidade

da solução Laboratório Remoto de Microcontroladores (LRM) desenvolvida para aprendizagem de alunos de cursos de Engenharias.

1.1 Laboratórios remotos

A principal diferença entre os laboratórios virtuais e remotos reside no fato de que, nos laboratórios virtuais, são realizadas simulações e os resultados são obtidos através de modelos computacionais. Por outro lado, os laboratórios remotos possibilitam o acesso à distância a equipamentos físicos que fornecem resultados reais (Pavani *et al.*, 2023).

Um laboratório remoto para aprendizagem é um sistema interativo que permite aos alunos acessarem equipamentos reais em laboratório. Desse modo, os estudantes podem enviar comandos que são processados no servidor e executados no laboratório físico, em equipamentos reais, proporcionando assim resultados experimentais aos alunos. Essa abordagem promove a experiência prática no ambiente de ensino remoto, agregando valor ao processo de aprendizado. Além disso, laboratórios remotos proporcionam benefícios como flexibilidade, acessibilidade e escalabilidade, permitindo que os alunos realizem experimentos fora do horário de aula e independentemente de sua localização geográfica. Dessa forma, o ensino prático se torna mais eficiente e acessível para um maior número de estudantes (Poliakov; Rida, 2020).

1.2 Trabalhos correlatos

Nesta seção do trabalho, foram considerados apenas trabalhos publicados dos últimos cinco anos, a partir de 2019. Embora este tema seja objeto de pesquisa há mais tempo, optou-se por privilegiar estudos mais recentes e atuais.

Schwandt & Winzker (2019) desenvolveram um laboratório remoto aplicado ao curso de Design Digital, buscando alcançar o mesmo nível dos laboratórios remotos atuais para o ensino de Engenharia. Embora sua implementação e aceitação tenham sido satisfatórias, o *feedback* dos alunos apontou para a necessidade de reformulação deste laboratório remoto.

Fernández-Pacheco *et al.* (2019) apresentaram a importância da criação de um laboratório remoto para estudos em IoT, sugerindo uma arquitetura que permita a realização de experimentos pelos alunos de forma remota. Os autores ressaltam também o interesse da Comissão Europeia em incentivar o investimento em IoT e destacam que o uso do laboratório remoto de IoT em programas de treinamento on-line garantirá boa assimilação de competências pelos alunos.

Leisenberg & Stepponat (2019) desenvolveram uma arquitetura de laboratório remoto para educação a distância, na qual o foco foi a experiência técnica adquirida durante a implementação e a análise dos resultados no aprendizado dos alunos. Os resultados obtidos pela implementação foram considerados bem-sucedidos e indicaram que o laboratório remoto contribuiu para a melhoria do ensino na área de análise de dados em IoT, porém com necessidade de aprimoramento em alguns aspectos.

Poliakov & Rida (2020) realizaram uma análise do estado e perspectivas da teoria, dos tipos de estruturas de laboratórios remotos para o ensino de Engenharia e estruturas de modelos de objetos cognitivos de estudo usando laboratórios remotos, com base na estratégia de desenvolvimento do HCT (*Higher Colleges of Technology*). Nesse sentido, a faculdade de Engenharia, Tecnologia e Ciências precisa usar laboratórios remotos do curso de treinamento ELE2603 - Instrumentação e Controle no programa de Bacharelado em Tecnologia de Engenharia Elétrica (BELET) para a prototipagem de trabalhos de laboratório remoto selecionados.

Bhute et al. (2021) realizaram revisão de literatura para identificar formas de transformar laboratórios físicos em operações virtuais ou remotas, mantendo a qualidade do ensino e as habilidades interpessoais e autoeficácia dos alunos. Como resultado, é apresentada uma revisão crítica da literatura recente sobre o fornecimento de laboratórios STEMM em ambiente virtual ou remoto, identificando abordagens emergentes e estratégias para implementar entrega remota ou mista. Em cada abordagem, foram avaliados os resultados de aprendizagem, recursos, tecnologia, programação e fatores de custo para os professores.

Fan et al. (2021) exploraram o cenário global de laboratórios remotos ou virtuais na educação em Engenharia, uma vez que, segundo os autores, os laboratórios remotos são uma alternativa contemporânea para atender às competências técnicas e sociais necessárias para estudantes e instrutores de engenharia. O Sistema de Laboratório Remoto (RLS) do Instituto de Tecnologia de Engenharia (EIT) foi usado como estudo de caso para analisar alguns aspectos críticos e específicos de laboratórios remotos. Como resultado, os benefícios da utilização de laboratórios remotos são demonstrados pela análise do desempenho acadêmico dos estudantes de Engenharia.

Bunse et al. (2022) relataram em seu estudo sobre o projeto DistLab na Universidade de Ciências Aplicadas de Stralsund (Alemanha), que tem como objetivo introduzir um conceito padronizado para laboratórios remotos e virtuais na educação em Engenharia. Os laboratórios remotos permitem que os alunos trabalhem fora do campus em sistemas em funcionamento no *campus*. Já os laboratórios virtuais fornecem aos alunos uma réplica virtual

de um experimento, que é uma cópia digital de alta fidelidade de seu equivalente real. As primeiras experiências e o *feedback* dos alunos demonstraram que esses conceitos permitem a aprendizagem independentemente de local e horário, o que proporcionou aos alunos mais liberdade na aquisição e aplicação do material.

Hayashi et al. (2023) investigaram o impacto da modalidade de ensino (presencial em 2019 e remoto em 2020 e 2021) no Curso Laboratório de Eletrônica Digital, empregando a metodologia PjBL. O estudo revelou um desempenho superior nos projetos de cursos remotos, destacando a eficácia do laboratório virtual em fomentar competências profissionais sem comprometer os benefícios do PjBL.

Pavani et al. (2023) avaliaram o impacto do VISIR+ no ensino de Engenharia Elétrica e Eletrônica, quatro anos após sua implementação. Apesar dos desafios técnicos enfrentados, o VISIR+ provou ser uma ferramenta sustentável e eficaz, envolvendo mais de 6.600 alunos de 23 instituições. O engajamento gerado e a superação de problemas técnicos destacam a viabilidade de longo prazo do laboratório remoto no ensino de engenharia.

Inonan & Hussein (2023) desenvolveram o modelo MELODY para a criação e avaliação de laboratórios SDR remotos, baseando-se em cinco critérios: Isolamento, Escalabilidade, Calibração, Disponibilidade e Uso. A implementação e avaliação de laboratórios SDR demonstraram que o MELODY facilita a flexibilidade, portabilidade e a integração tecnológica, assegurando controle sobre o design e a arquitetura dos sistemas.

2 MÉTODO E MATERIAIS DE PESQUISA

Segundo Abran et al., 2003, existem diversas definições e diferentes normas técnicas para usabilidade, dependendo do propósito da análise. Com base principalmente nas normas técnicas ISO 9126 e ISO 9241, o trabalho de Abran et al (2003) compara quatro definições principais: Capacidade Organizacional, Qualidade do Processo, Qualidade do Produto e Qualidade em Uso.

Este trabalho avaliou a usabilidade do LRM no ensino de alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e Mecatrônica Industrial, utilizando técnicas encontradas na literatura aplicadas a este laboratório remoto como ferramenta de ensino. Devido às especificidades do ensino-aprendizagem de microcontroladores e à facilidade de acesso remoto aos seus componentes, este trabalho analisou o LRM no contexto da aplicação de microcontroladores em atividades práticas reais.

O LRM em questão foi desenvolvido com base em uma arquitetura inspirada no modelo proposto por Fernández-Pacheco *et al.* (2019), expandindo e aprimorando o experimento original promovido por esses autores. A pesquisa incluiu a realização de experimentos pelos alunos, orientados por roteiros de atividades práticas, permitindo assim a avaliação da usabilidade e da experiência do usuário, com o intuito de comprovar a viabilidade da implementação dessa abordagem.

Como instrumentos de pesquisa foram desenvolvidos questionários com abordagem qualitativa e quantitativa aplicados num estudo de caso com alunos de laboratório remoto de cursos de Engenharia. Estudos de caso e questionários são frequentemente utilizados para analisar a usabilidade de sistemas computacionais (Finstad, 2010). Nesta pesquisa foram adotados o Índice de Carga de Tarefas da NASA (NASA TLX) (Riegler et al., 2018), SUS (System Usability Scale) (Boucinha; Tarouco, 2013) e Métrica de Usabilidade para Experiência do Usuário (UMUX - Usability Metric for User Experience) (Borsci et al., 2015). Neste estudo, optou-se por utilizar os questionários SUS, UMUX e questões qualitativas adicionais, que estão descritos em detalhes mais adiante.

O estudo de caso realizado nesta pesquisa contou com a participação de alunos dos cursos de Engenharia Elétrica e Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Os treze alunos que aceitaram participar dos experimentos possuíam os pré-requisitos necessários para realizar seis experimentos distintos com o objetivo de validar a proposta. Como pré-requisitos podemos citar lógica de programação e introdução a componentes eletrônicos. O questionário foi composto por questões adaptadas da revisão da literatura para mensurar a usabilidade no contexto deste trabalho. Os trabalhos considerados são indicados na próxima seção.

Para a execução dos experimentos, os alunos deveriam estar matriculados na instituição onde a pesquisa foi realizada, também era necessário estar cursando os cursos de Engenharia Elétrica ou Tecnologia em Mecatrônica Industrial durante a coleta de dados e ter os conhecimentos mínimos descritos como pré-requisitos para a disciplina. Assim, para os alunos que aceitaram participar e atendiam os requisitos, foi disponibilizado um link para acesso ao LRM. Após a confirmação de seu uso e realização dos roteiros disponibilizados foi enviado outro link a cada um dos alunos com o questionário desenvolvidos no *Google Forms* para a coleta dos dados. Embora outras áreas da Engenharia já utilizem essa tecnologia e obtenham resultados positivos, as diferenças entre as áreas de estudo resultam em sugestões de melhorias e ressaltam a importância do laboratório remoto como um complemento, e não como um substituto do laboratório convencional.

2.1 Laboratório Remoto em Microcontroladores (LRM)

O LRM foi desenvolvido com base em modelos de laboratórios remotos disponíveis na literatura, como, por exemplo, o laboratório remoto para IoT proposto por Fernández-Pacheco *et al.* (2019). A ideia de funcionamento consiste em alunos acessarem dispositivos físicos na instituição de ensino por meio da internet, permitindo assim que interajam com equipamentos reais em vez de apenas trabalhar com simulações on-line. Esse diferencial é importante para o aprendizado, pois, ao acessar os equipamentos, o aluno obtém uma visão real do ambiente de desenvolvimento e a possibilidade de realizar depuração consoante ao tempo de execução, o que pode não ser possível em ambientes simulados, conforme exposto na Figura 1.

Na Figura 2 é apresentada a estrutura com todos os dispositivos utilizados na montagem do LRM, dispostos em uma *proto board* com suas respectivas conexões. Ressalta-se que alguns sensores, como o *LDR* (*Light Dependent Resistor*) de luminosidade e o *LED* (*Light-Emitting Diode*), são pequenos e podem ser difíceis de identificar devido aos demais componentes.

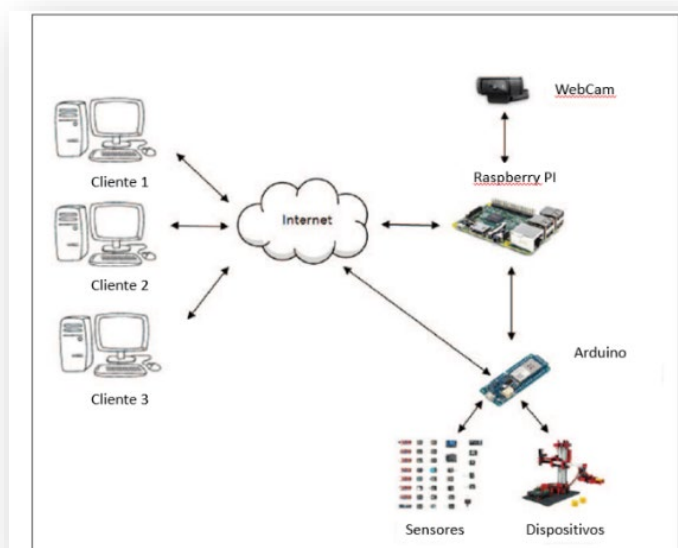


Figura 1 - Modelo de arquitetura.
Fonte: Fernández-Pacheco *et al.* (2019).

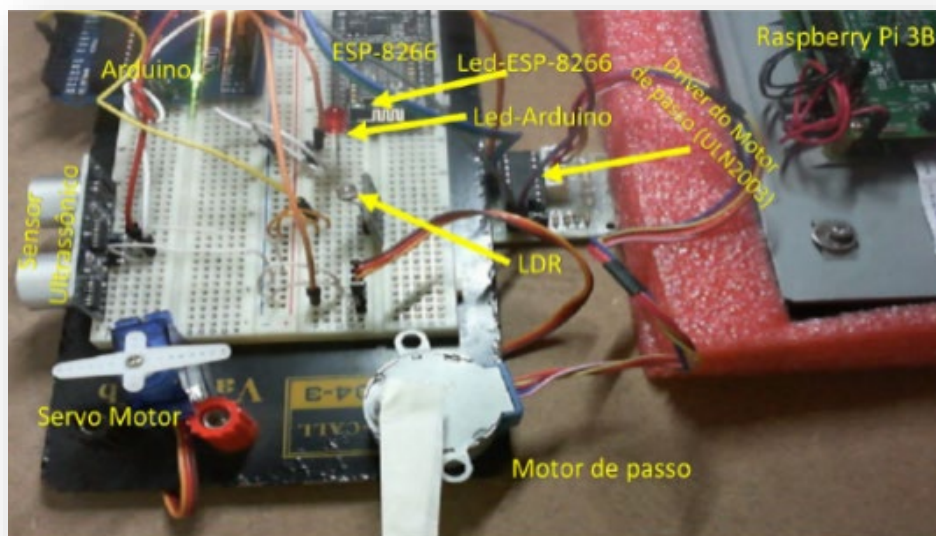


Figura 2 - Arquitetura do LRM

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

Para a criação do laboratório remoto avaliado nesta pesquisa, utilizou-se um Raspberry Pi 3, um Arduino Uno, um NodeMCU 1.0 com chipset ESP8266 e alguns sensores e componentes, como *LEDs*, sensor de temperatura, sensor de umidade, sensor de luminosidade (LDR), servo-motor e motor de passo. Esses componentes foram selecionados por serem de fácil acesso e utilização. O acesso ao LRM foi disponibilizado por meio da ferramenta de acesso remoto VNC (*Virtual Network Computing*). O detalhamento de cada experimento foi apresentado em roteiros encaminhados aos alunos. Onde cada um desses roteiros continha uma figura esquemática dos componentes da solução e o código-fonte para a execução do experimento, tornando o processo o mais didático possível para a compreensão e aplicação pelos alunos.

2.2 Experimentos para a validação da solução LRM

Para validar a proposta apresentada neste trabalho, foram definidos seis experimentos, nos quais os alunos teriam acesso aos recursos disponíveis no LRM, quais sejam: i) Ler a intensidade de luz de um ambiente; ii) Uso de sinal *PWM* (*Pulse Width Modulation*) para controle da intensidade do brilho de um LED; iii) Uso de sinal *PWM* para controle de um Servo-Motor; iv) Controlar um motor de passo; v) Ler a temperatura e umidade do ambiente e, por fim; vi) Comunicação serial entre dispositivos.

2.4 Aplicação dos questionários aos alunos

Após a realização dos experimentos, os alunos receberam um questionário eletrônico intitulado “Avaliação do Laboratório Remoto” via *Google Forms* contendo 20 questões. Essas questões tinham três objetivos de mensuração: mensuração da usabilidade (baseada em questões do formulário *SUS*), mensuração da experiência do usuário (baseada em questões do formulário *UMUX*) e questões qualitativas (perguntas com respostas abertas). As questões do *SUS*, *UMUX* e as qualitativas estavam relacionadas entre si, permitindo que uma resposta pudesse ser validada e compreendida por meio de outra. O questionário *SUS* aplicado possuía dez questões em uma escala tipo *Likert* de cinco itens, alternando entre aspectos positivos e negativos, conforme Quadro 1.

Quadro 1. Questionário SUS aplicado aos alunos

Q1 - Com que frequência gostaria de utilizar este Laboratório Remoto?
Q2 - Este Laboratório Remoto é desnecessariamente complexo?
Q3 - Este Laboratório Remoto foi fácil de usar?
Q4 - Acha que é necessário o apoio de uma pessoa técnica para poder usar este Laboratório Remoto?
Q5 - As funções deste Laboratório Remoto estavam bem integradas?
Q6 - Há muita inconsistência neste Laboratório Remoto?
Q7 - Acredita que a maioria dos alunos aprenderia a utilizar esse Laboratório Remoto rapidamente?
Q8 - Este Laboratório Remoto é muito complicado de usar?
Q9 - Sentiu confiança ao utilizar este Laboratório Remoto?
Q10 - É necessário aprender muitas coisas (em relação ao Laboratório Remoto) antes de começar a utilizá-lo?

Fonte: Adaptado de Boucinha & Tarouco (2013)

Com base nos resultados obtidos através do questionário *SUS*, é possível aprofundar a análise de usabilidade comparando as questões correspondentes às diferentes métricas de usabilidade, conforme apresentado na Figura 3. Esta figura foi criada a partir de conceitos encontrados na literatura, relacionando componentes de qualidade de Nielsen (1993) aos pilares da usabilidade (Eficácia, Eficiência e Satisfação do Usuário) conforme a Norma Técnica NBR ISO 9241-11:2018. A partir desta análise, foi possível inferir que a Aprendibilidade (Facilidade de Memorização, Eficiência e Facilidade de Aprendizagem) está mais relacionada ao pilar de Eficiência (definido na Norma Técnica). Pois, quanto maior a Aprendibilidade menor é o tempo necessário para a aprendizagem (o tempo é o principal recurso analisado

neste estudo). Além disso, a minimização de erros está relacionada à Eficácia, uma vez que menos erros tornam o LRM mais funcional.

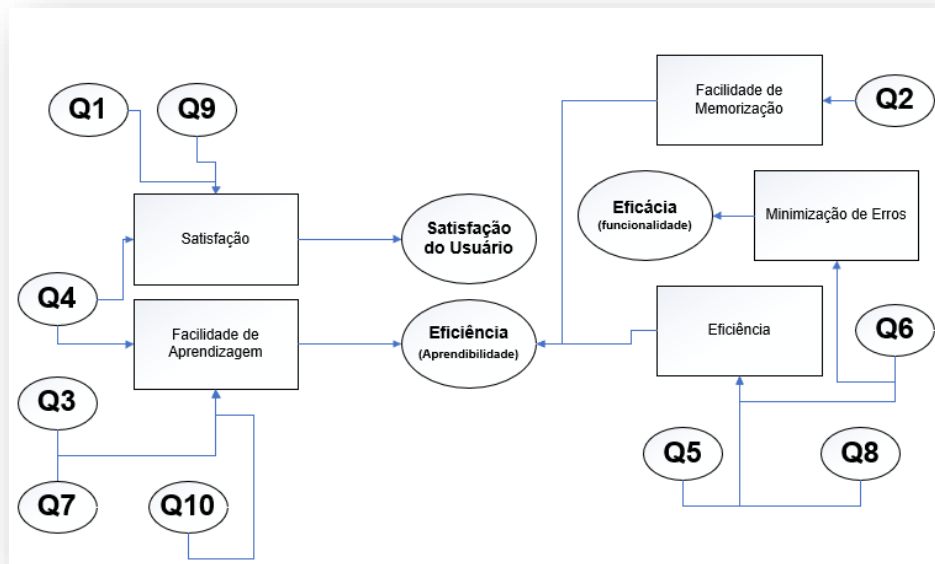


Figura 3 - Relação entre as questões do SUS e as métricas de usabilidade

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

A pontuação do *SUS* deve ser calculada de forma a encontrar um resultado entre 0 (zero - pior usabilidade) e 100 (cem - melhor usabilidade). Segundo a literatura (BORSCI *et al.*, 2015), uma pontuação acima de 68 indica uma usabilidade acima da média. O sistema de pontuação exige que todas as dez perguntas sejam classificadas; portanto, se uma pergunta não for respondida, a resposta é considerada como 3 (intermediária). A Equação 1 apresenta o cálculo da pontuação do *SUS*. Vale ressaltar que esta equação foi adaptada de Bangor *et al.* (2008).

$$f_{sus} = \frac{\sum_1^{A_n} 2,5 [\sum_1^{QP_n} (QP_i - 1) + \sum_1^{QN_n} (5 - QN_i)]}{A_n} \quad (1)$$

Sendo *QP* (questões positivas [Q1, Q3, Q5, Q7, Q9]), *QN* (questões negativas [Q2, Q4, Q6, Q8, Q10]), *A* (vetor de alunos), *n* (tamanho das amostras) e *i* (enésimo elemento do vetor).

Após a obtenção da pontuação de cada aluno, deve-se calcular a média aritmética simples das pontuações provindas do questionário *SUS*, conforme Equação 2:

$$SUS = \frac{\sum_{a=1}^n SUS_a}{n} \quad (2)$$

Os resultados da pontuação obtida pelo formulário *SUS* recebem uma classificação quanto aos intervalos obtidos, variando de F (absolutamente insatisfatório) até A+ (absolutamente satisfatório), conforme indicação de Sauro (2011), representando assim o nível de usabilidade mensurado. Essa classificação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Normalização da pontuação do *SUS*

Nota	F	D	C-	C	C+	B-	B	B+	A-	A	A+
Pontuação Inicial	0	51,8	62,7	65	71,1	72,6	74,1	77,2	78,9	80,8	84,1
Pontuação Final	51,7	62,6	64,9	71	72,5	74	77,1	78,8	80,7	84	100

Fonte: adaptado de (Sauro, 2011) apud (Borsci *et al.*, 2015)

O questionário *UMUX* aplicado aos alunos (Quadro 2) está em uma escala do tipo *Likert* de 7 pontos. Assim como ocorreu no questionário *SUS*, foi necessário realizar uma adaptação para este experimento. Também foi necessário remover uma questão já contemplada pelas questões *SUS*.

Quadro 2. Questionário *UMUX* aplicado aos alunos

Os recursos deste Laboratório Remoto atendem as necessidades?
Usar este Laboratório Remoto foi uma experiência frustrante?
É necessário gastar muito tempo corrigindo as coisas com este Laboratório Remoto?

Fonte: Adaptado de BORSCI *et al.*, 2015

Sendo assim, esta questão foi respondida apenas uma vez e sua pontuação foi convertida para o padrão *UMUX*, como apresentado na Equação 3. O método de cálculo do *UMUX* segue a mesma lógica de cálculo *SUS*, podendo desta forma ser interpretado na mesma faixa de pontuação do *SUS* (0 a 100), segundo Finstad (2010), conforme apresentado na Equação 4.

$$ConvUMUX = PontSus \frac{7}{5} \quad (3)$$

$$fumux = \frac{\sum_1^{A_n} 100 \left\{ \frac{\sum_1^{QIn} (QI_i - 1) + \sum_1^{QPn} (7 - QP_i)}{24} \right\}}{A_n} \quad (4)$$

Sendo QI (questões ímpares [Q11, Q13]), QP (questões pares [Q12, Q14]), A (vetor de alunos), n (tamanho da amostra) e i (enésimo elemento do vetor).

Após obtida a pontuação de cada aluno, deve-se calcular a média aritmética das pontuações UMUX, conforme a Equação 5:

$$UMUX = \frac{\sum_{a=1}^n UMUX_a}{n} \quad (5)$$

Foram elaboradas seis questões qualitativas, apresentadas no Quadro 3, para melhor compreender a percepção dos alunos de forma descritiva, permitindo assim analisar aspectos específicos sobre o LRM. As questões qualitativas também auxiliaram na validação dos resultados aferidos nos questionários SUS e UMUX, para em conjunto avaliar a usabilidade e experiência do usuário dos alunos ao utilizarem a ferramenta LRM. Além disso, foi definida uma questão de controle para o acompanhamento da quantidade de experimentos realizados por cada aluno.

Quadro 3. Questões qualitativas aplicado aos alunos

P1 - Houve dificuldades para compreender/realizar os roteiros dos exercícios? Quais?
P2 - O uso do Laboratório Remoto contribuiu efetivamente para o aprendizado/aprimoramento? Como?
P3 - Houve dificuldades na utilização do Laboratório Remoto? Quais?
P4 - Quais foram as vantagens e/ou desvantagens observadas?
P5 - Alguma sugestão para melhoria do uso do Laboratório Remoto?
P6 - Qual a percepção geral ao utilizar este Laboratório Remoto como ferramenta de ensino para experimentos?

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

3 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados foi realizada a partir da interpretação das respostas das questões qualitativas, juntamente com o cálculo das pontuações dos questionários *SUS* e *UMUX*. Cada resposta dos questionários foi computada e avaliada individualmente. Por fim, os cálculos foram realizados com base nas equações 1 e 4 apresentadas no capítulo anterior.

Inicialmente duas avaliações chamaram a atenção devido à baixa pontuação, sendo que uma delas obteve a nota D (60,93 pontos) e a outra, nota F (46,02 pontos). Contudo, apesar das notas baixas, as respostas qualitativas demonstraram que o maior problema desses dois alunos conhecimento prévio limitado em programação, o que influenciou decisivamente sua percepção da necessidade de um técnico presente no laboratório para auxiliá-los. Também foi possível notar que um dos participantes obteve uma pontuação média de 74,32 (nota B) e outro, uma pontuação média de 80,71 (nota A-). Apesar desses valores estarem acima da média desejada (68), conforme indicado por Boucinha e Tarouco (2013) para uma boa usabilidade, eles demonstraram que estes alunos tiveram uma usabilidade abaixo dos demais alunos, porém ainda satisfatória.

Os demais alunos que responderam ao questionário obtiveram pontuações acima de 84, alcançando a classificação A+. Dentre estes alunos, chamou mais atenção o problema relacionado à dificuldade de acesso devido à necessidade de autorização para acessar o ambiente remoto. Isto se justifica pelo fato de o experimento ter sido conduzido em um laboratório experimental, sem todos os recursos e configurações de acesso integrados ao sistema da instituição de ensino. A partir das respostas obtidas nas questões de Q1 a Q13 nos questionários *SUS* e *UMUX*, foi possível verificar um alto índice de respostas satisfatórias. Esses valores são detalhadamente apresentados nas Tabelas 2 e 4. A Tabela 2 mostra os resultados das pontuações do *SUS* e *UMUX*. Vale destacar que a questão Q14 indagou se os alunos foram capazes de realizar todos os experimentos propostos e, apenas dois alunos do grupo amostral participante desta pesquisa não conseguiram finalizar todos os experimentos.

Tabela 2. Resultados dos questionários *SUS* (usabilidade) e *UMUX* (experiência do usuário)

Critério	SUS		UMUX
	Pontuação	Nota	Pontuação
Menor pontuação	47,50	F	45,83
Maior pontuação	100,00	A+	100,0
Pontuação Média	84,81	A+	85,9

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

De acordo com Boucinha & Tarouco (2013), a pontuação média predominante do questionário *SUS* para aferição de boa usabilidade é 68,0. No entanto, a pontuação média do experimento executado alcançou 84,81, o que demonstra uma ótima usabilidade, correspondente à nota 'A+' na escala apresentada por Sauro (2011). Os dados apresentados na Tabela 2 sobre a pontuação do questionário UMUX indicam que a métrica de experiência do usuário atingiu resultados satisfatórios, com uma pontuação média de 85,90, acima da média conforme as indicações de Borsci et al. (2015) e Finstad (2010).

De acordo com Tenório et al. (2010), as questões do questionário *SUS* possuem correspondência com alguns componentes de qualidade indicados por Nielsen (2012), possibilitando assim aprofundar a análise ao utilizar a pontuação dessas questões para avaliar aspectos específicos, conforme indicado na Tabela 3. Para obtenção da pontuação de acordo com os componentes de qualidade de Nielsen (2012), foi necessário calcular a média das pontuações das questões de cada componente e multiplicar por dez para normalizar os dados antes de aplicar a fórmula da pontuação *SUS*. Desta forma, foi possível estabelecer uma comparação entre as pontuações das questões de cada componente com a mesma faixa de pontuação do questionário *SUS*, que possui dez questões.

Tabela 3. Relação entre questões *SUS* e componentes de qualidade de Nielsen

Componente de qualidade	Questões	Pontuação Média
Facilidade de aprendizagem	Q3, Q4, Q7 e Q10	84,62
Eficiência	Q5, Q6 e Q8	84,62
Facilidade de memorização	Q2	82,69
Minimização dos erros	Q6	88,46
Satisfação	Q1, Q4 e Q9	87,49

Fonte: Adaptado de Boucinha & Tarouco (2013)

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, foi possível aprofundar a análise de usabilidade ao comparar as questões correspondentes a diferentes métricas de usabilidade, conforme ilustrado na Figura 3 do capítulo 3. Sendo assim, aplicou-se o mesmo cálculo utilizado para medir a pontuação dos componentes de qualidade para avaliar a pontuação em relação aos pilares de usabilidade, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Pontuação dos pilares de usabilidade

Pilares de usabilidade	Pontuação Média
Eficiência (com Aprendibilidade)	83,97
Eficácia	88,46
Satisfação de Usuário	84,62
Aprendibilidade	83,65

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

A Tabela 4 demonstra a pontuação obtida conforme a relação das questões com cada pilar da usabilidade. Observou-se uma diferença mais proeminente na pontuação do componente 'eficiência' em relação ao resultado da Tabela 3, devido à inclusão das pontuações referentes à Aprendibilidade. Além disso, foi apresentada a pontuação individual do item Aprendibilidade como referência de seu impacto na usabilidade geral.

Para uma melhor compreensão de todas as pontuações obtidas, foi realizada uma correlação entre os resultados de cada um dos elementos medidos e a nota atribuída a cada indicador, usando como referências a tabela de normalização da pontuação do *SUS* (Tabela 1). Os resultados indicaram um alto nível de usabilidade sob todas as perspectivas abordadas, refletindo, assim, a viabilidade da utilização do LRM, conforme pontuações e respectivas notas indicadas para cada indicador na Tabela 5.

Tabela 5. Pontuação final obtida

Indicador	Pontuação	Nota	Indicador	Pontuação	Nota
Usabilidade geral	84,81	A+	Eficiência (Aprendibilidade)	83,97	A
Experiência do usuário	85,90	A+	Eficácia	88,46	A+
Facilidade de aprendizagem	84,62	A+	Satisfação de usuário	84,62	A+
Eficiência	84,62	A+	Aprendibilidade	83,65	A
Facilidade de memorização	82,69	A	Pontuação média final	85,39	A+
Minimização dos erros	88,46	A+	Usabilidade geral	84,81	A+
Satisfação	87,49	A+			

Fonte: Desenvolvido pelos autores (2023)

Conforme apresentado na Tabela 5, foi possível analisar diversos aspectos da usabilidade do LRM. Em quase todos os indicadores, foi obtida a nota máxima (A+), exceto em três indicadores (facilidade de memorização, eficiência e aprendibilidade), que receberam a nota A. Além disso, as respostas qualitativas fornecidas pelos alunos corroboraram os resultados das pontuações obtidas. No entanto, tanto as pontuações quanto as respostas qualitativas indicam alguns pontos a serem aperfeiçoados. A maioria das respostas qualitativas evidenciou a viabilidade da solução e demonstrou a satisfação dos alunos ao utilizarem o LRM.

Analisando os resultados apresentados, a usabilidade geral e a experiência do usuário do LRM demonstraram-se bastante satisfatórias. A média de pontuação do questionário SUS foi de 84,81, indicando uma ótima usabilidade. Além disso, a média de pontuação do UMUX foi de 85,90, demonstrando resultados acima da média em ambos os aspectos quando comparados aos estudos de Borsci et al. (2015).

Os resultados dos questionários quantitativos e do questionário qualitativo mostraram que os alunos ficaram satisfeitos com o uso do LRM, evidenciando assim a viabilidade da ferramenta como um recurso de ensino-aprendizagem prático para laboratórios remotos. Contudo, é importante abordar as indicações feitas pelos alunos para proporcionar aprimoramento do LRM, como são os casos de indicação da inclusão de pré-requisitos relacionados à programação em linguagem C/C++ e a simplificação do processo de acesso ao laboratório remoto.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos por meio do experimento realizado com aplicação dos questionários aos alunos permitiram verificar que as três técnicas de mensuração da usabilidade (SUS, UMUX e avaliação qualitativa) apresentaram resultados consistentes, demonstrando que a abordagem desenvolvida é válida para avaliar a usabilidade do LRM como ferramenta de ensino-aprendizagem de conteúdos em laboratórios remotos.

A pontuação média obtida (84,81) e a respectiva nota geral (A+) indicam que o LRM tem usabilidade acima da média para a maioria dos alunos consultados, sugerindo que esta ferramenta pode ser efetivamente aplicada no ensino prático de conteúdos em laboratório remoto. Tais resultados também revelam que os alunos encontraram facilidade no uso do LRM como instrumento de ensino-aprendizagem. A satisfação manifestada pelos alunos ao utilizarem o LRM sugere a viabilidade de sua implementação em ambientes reais de ensino-aprendizagem. Tal indicação encontra também respaldo na tendência crescente do ensino

remoto no mundo, que demanda ferramentas como o LRM para proporcionar resultados de ensino-aprendizagem mais elevados, proporcionando assim melhor experiência ao professor e aos alunos envolvidos.

Esta pesquisa também demonstrou a viabilidade de avaliação da usabilidade de um laboratório remoto por meio da aplicação das técnicas selecionadas para tal finalidade e que o LRM pode ser uma alternativa viável como ferramenta de ensino-aprendizagem em disciplinas técnicas, como é o caso da disciplina de Microcontroladores em cursos de Engenharia. Além disso, os resultados deste estudo evidenciam que tal solução tem aplicabilidade em diversas outras disciplinas de diferentes áreas, uma vez que a solução validada pode ser adaptada a qualquer laboratório remoto que exija conhecimento técnico específico para aplicação durante o processo de ensino-aprendizagem.

Em adição, a metodologia ora desenvolvida possibilita a avaliação de laboratórios remotos como ferramentas de ensino-aprendizagem, bem como a percepção de características, dificuldades e pré-requisitos para sua utilização em instituições de ensino superior. Os resultados obtidos também indicam possíveis melhorias e expansões para o LRM, como desenvolver uma interface para facilitar o acesso do usuário; armazenar dados para cada aluno; criar ferramentas de ajuda, como *chatbots* ou *wikis*; e desenvolver técnicas inteligentes para coleta de informações. Apesar dos resultados promissores, é importante reconhecer as limitações deste estudo. Primeiramente, deve-se considerar que o método adotado envolveu um único estudo de caso, o LRM, o que pode limitar a generalização dos resultados. Diferentes laboratórios remotos podem ter características distintas que influenciam a usabilidade e a eficácia de suas técnicas de ensino.

Além disso, os materiais utilizados, principalmente os componentes do LRM, poderiam variar, o que pode impactar a interação do usuário e a experiência de aprendizado. Também é relevante notar que a quantidade de alunos participantes no estudo foi relativamente reduzida. Uma amostra maior e mais diversa poderia oferecer insights adicionais e reforçar a robustez dos resultados. É recomendável que estudos futuros ampliem a abrangência, envolvendo mais alunos e laboratórios remotos distintos para aprofundar a compreensão da usabilidade dessas ferramentas no ensino de microcontroladores e IoT.

Este estudo abre caminho para diversas possibilidades de pesquisa futura. Recomenda-se a expansão deste trabalho, abordando laboratórios remotos com diferentes configurações e propósitos, a fim de ampliar a compreensão sobre a usabilidade dessas ferramentas no contexto educacional. Além disso, é aconselhável a realização de estudos com amostras mais amplas e diversificadas de estudantes, para reforçar a robustez dos resultados.

O desenvolvimento de técnicas de ensino aprimoradas, especificamente projetadas para laboratórios remotos, também é uma área promissora que merece investigação adicional.

REFERÊNCIAS

- ABRAN, A.; KHELIFI, A.; SURYN, W.; SEFFAH, A. Usability meanings and interpretations in ISO standards. **Software quality journal**, v. 11, n. 4, p. 325-338, 2003.
- ADJIH, C.; BACCELLI, E.; FLEURY, E.; HARTE, G.; MITTON, N.; NOEL, T. **FIT IoT-LAB**: a large scale open experimental IoT testbed. Em: 2015 IEEE 2nd WORLD FORUM ON INTERNET OF THINGS (WF-IoT), 2015, [...]. 2015. p. 459-464.
- BANGOR, A.; KORTUM, P. T.; MILLER, J. T. An empirical evaluation of the system usability scale. **Intl. Journal of Human-Computer Interaction**, v. 24, n. 6, p. 574-594, 2008.
- BHUTE, V. J.; INGUVA, P.; SHAH, U.; BRECHTELSBAUER, C. Transforming traditional teaching laboratories for effective remote delivery-A review. **Education for Chemical Engineers**, v. 35, p. 96-104, 1 abr. 2021. . Acesso em: 17 abr. 2023. doi: 10.1016/J.ECE.2021.01.008
- BORSCI, S.; FEDERICI, S.; BACCI, S.; GNALDI, M.; BARTOLUCCI, F. Assessing user satisfaction in the era of user experience: comparison of the SUS, UMUX, and UMUX-LITE as a function of product experience. **International journal of human-computer interaction**, v. 31, n. 8, p. 484-495, 2015.
- BOUCINHA, R. M.; TAROUÇO, L. M. R. Avaliação de ambiente virtual de aprendizagem com o uso do sus-system usability scale. **RENOTE**, v. 11, n. 3, 2013.
- BUNSE, C.; KENNES, L.; KUHR, J. C. On using distance labs for engineering education. INTERNATIONAL WORKSHOP ON SOFTWARE ENGINEERING EDUCATION FOR THE NEXT GENERATION, SEENG, 4th., 2022. **Proceedings**. p. 5-11, 2022. . Acesso em: 17 abr. 2023. doi: 10.1145/3528231.3528355
- CAROLINA, A.; PEREIRA, R. Os desafios do uso da tecnologia digital na educação em tempos de pandemia. **ETD - Educação Temática Digital**, v. 24, n. 1, p. 187-205, 16 fev. 2022. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/8665777> . Acesso em: 15 maio. 2023. doi: 10.20396/ETD.V24I1.8665777
- FAN, Y.; EVANGELISTA, A.; INDUMATHI, V. Evaluation of remote or virtual laboratories in E-learning engineering courses. **IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON**, v. 2021-April, p. 136-143, 21 abr. 2021. . Acesso em: 17 abr. 2023. doi: 10.1109/EDUCON46332.2021.9454067
- FERNÁNDEZ-PACHECO, A.; MARTIN, S.; CASTRO, M. **Implementation of an Arduino remote laboratory with raspberry Pi**. Em: 2019 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON), 2019, [...]. 2019. p. 1415-1418.
- FINSTAD, K. The usability metric for user experience. **Interacting with Computers**, v. 22, n. 5, p. 323-327, 2010.

HAYASHI, V.; DUTRA, J.; ALMEIDA, F.; ARAKAKI, R.; MIDORIKAWA, E.; CANOVAS, S.; CUGNASCA, P.; RUGGIERO, W. Implementation of PjBL With Remote Lab Enhances the Professional Skills of Engineering Students. **IEEE Transactions on Education**, 2023.

INONAN, M.; HUSSEIN, R. MELODY: A Platform-Agnostic Model for Building and Evaluating Remote Labs of Software-Defined Radio Technology. **IEEE Access**, v. 11, p. 127550-127566, 2023.

LEISENBERG, M.; STEPPONAT, M. **Internet of things remote labs: experiences with data analysis experiments for students education**. Em: 2019 IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE (EDUCON), 2019, [...]. 2019. p. 22-27.

NIELSEN, J. Iterative user-interface design. **Computer**, v. 26, n. 11, p. 32-41, 1993.

NIELSEN, J. **Usability 101: Introduction to Usability**. Disponível em: <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>. Acesso em: 30 out. 2022.

PAVANI, A. M. B.; VIEGAS, C.; LIMA, N.; ALVES, G. R.; MARQUES, A.; FIDALGO, A.; JACOB, F.; SILVA, J. B.; MARCHISIO, S.; SCHLICHTING, L.; OTHERS. VISIR+ Project Follow-up after four years: Educational and research impact. Em: **2023 IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE (FIE)**, 2023, [...]. 2023. p. 1-8.

POLIAKOV, M.; RIDA, I. Remote laboratories for engineering education: Status and prospects. **2020 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences, ASET 2020**, 1 fev. 2020. Acesso em: 17 abr. 2023. doi: 10.1109/ASET48392.2020.9118221

RIEGLER, A.; HOLZMANN, C. Measuring visual user interface complexity of mobile applications with metrics. **Interacting with Computers**, v. 30, n. 3, p. 207-223, 2018.

SAURO, J. **Measuring usability with the System Usability Scale (SUS)**. Disponível em: <https://measuringu.com/sus/>. Acesso em: 19 set. 2021.

SCHWANDT, A.; WINZKER, M. Make it open-Improving usability and availability of an FPGA remote lab. Em: **2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)**, 2019, [...]. 2019. p. 232-236.

TENÓRIO, J. M.; COHRS, F. M.; SDEPANIAN, V. L.; PISA, I. T.; DE FÁTIMA MARIN, H. Desenvolvimento e avaliação de um protocolo eletrônico para atendimento e monitoramento do paciente com doença celíaca. **Revista de Informática teórica e aplicada**, v. 17, n. 2, p. 210-220, 2010.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Nove de Julho e à CAPES pelas bolsas de estudo concedidas aos autores Fernando Bittencourt Arroyo e Rafael de Souza Oliveira.

Revisão gramatical realizada por: Dimitria Theophanis Boukouvalas.

e-mail: dtbouk@outlook.com