

INTEGRAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ESP32 NA INTERFACE DE USUÁRIO TANGÍVEL DO SIMULAHABITAT

Anderson Guimarães¹, Dalton Solano dos Reis², Maurício Capobianco Lopes², Miguel
Alexandre Wisintainer³

Departamento de Sistemas e Computação - Universidade Regional de Blumenau (FURB)
Blumenau, SC - Brasil

andguimaraes@furb.br, dalton@furb.br, mclopes@furb.br, maw@furb.br

Resumo: O projeto SimulaHabitat - Simulador de Ecossistemas busca desenvolver uma metodologia para disponibilizar objetos de aprendizagens educacionais que envolvam algumas áreas gráficas. Esta metodologia define arquiteturas de integração de módulos construídos em uma biblioteca para o motor de jogos Unity. Uma das aplicações do SimulaHabitat é o Aquário Virtual, que utiliza de sensores físicos no módulo de Interface de Usuário Tangível para integrar o cenário real ao virtual. Esta integração usava sensores físicos ligados a um microcontrolador que enviava por uma conexão WIFI específica os valores capturados para a aplicação do Aquário Virtual. Mas a solução adotada anteriormente para este projeto limitava melhorias na representação virtual do cenário e também dificultava a sua implantação em espaços escolares. Então, esta pesquisa produz e valida uma forma alternativa, que passa a usar uma conexão direta na porta USB para implementar o módulo de Interface de Usuário Tangível, atualizando o microcontrolador, desenvolvendo *drivers*, e disponibilizando um estudo de caso da integração do sensor de distância ultrassônico HC-SR04 ao microcontrolador ESP32-WROOM-32D com o motor gráfico Unity.

Palavras-chave: Ecossistema. Microcontrolador. Sensor. Unity.

1. INTRODUÇÃO

O projeto SimulaHabitat - Simulador de Ecossistemas busca desenvolver uma metodologia para disponibilizar objetos de aprendizagens educacionais que envolvam as áreas de Realidade Virtual Imersiva (RVI), Realidade Aumentada (RA), Interface de Usuário

¹ Orientado

² Orientador

³ Coorientador

Tangível (IUT), Animação Comportamental (AC), Ambientes Virtuais Distribuídos (AVD) e Gamificação. Para desenvolver esta metodologia se fez necessário desenvolver uma biblioteca no motor de jogos Unity, que permitisse criar aplicações que integrassem o uso de RVi/RA, IUT, AC, AVD e Gamificação.

Alguns resultados já obtidos por este projeto em cenários anteriores e que envolvem estas áreas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados de cenários anteriores

Área	Citação	Título
RA	Vigentas (2021)	FolhAR - Explorando Folhas de Plantas com Realidade Aumentada.
RVi / AVD	Silva (2020)	Aquário Virtual: Multiplayer e Realidade Virtual.
AC	Estevão (2020)	Análise do Uso de Animação Comportamental com o Motor de Jogos Unity.
RVi / IUT	Losada (2019)	Aquário Virtual: Simulador de Ecossistema Utilizando Interface de Usuário Tangível.
RA / IUT	Pereira; et al. (2019)	EcosAR: Simulador de Ecossistemas Utilizando Realidade Aumentada.
Gamificação	Vieira (2019)	Questmeter: Ambiente de Aprendizagem com Gamificação.
AC	Piske (2015)	Aquário Virtual: Simulador de Ecossistema Utilizando Animação Comportamental.

Fonte: elaborado pelos autores.

A utilização destas áreas permitiu que as aplicações tivessem as características de combinar o real com virtual e ter interação em tempo real, mantendo a imersão (sentimento de estar-se dentro do ambiente), interação (detectar as entradas do usuário e modificar “instantaneamente” o mundo virtual e as ações sobre ele) e envolvimento (grau de motivação para a ligação da pessoa com uma determinada atividade) por parte do usuário (KIRNER *et al.*, 2006).

Como o objetivo do projeto está além de desenvolver uma biblioteca que possa facilitar o desenvolvimento de aplicações que envolvam as áreas acima, mas também que estas aplicações resultem em objetos de aprendizagem educacionais, surge a preocupação da sua implantação nos espaços escolares (LOSADA, 2019). E, assim se manter a relação custo versus benefício, ampliando as funcionalidades do SimulaHabitat, mas garantido a possibilidade da sua implantação nos espaços escolares.

Mas mesmo conseguindo resultados positivos, a solução adotada anteriormente para este projeto limitava melhorias na representação virtual do cenário e também dificultava a sua implantação em espaços escolares. Esta limitação acontecia por questões de processamento, uma vez que toda a representação do modelo gráfico e o gerenciamento do Ambiente Virtual Distribuído (AVD) era feito em um dispositivo móvel (tablet). Já a dificuldade na sua

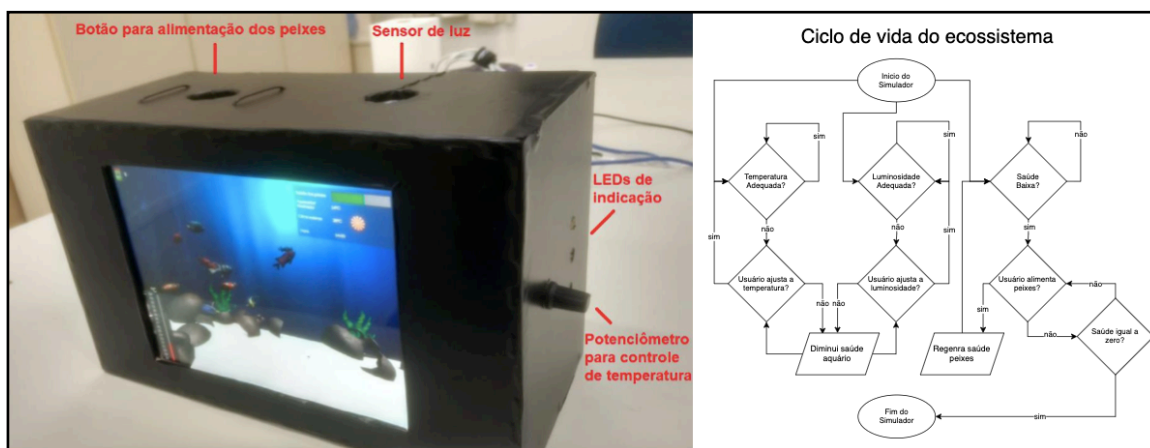
implantação nos espaços escolares decorrer de que o módulo de Interface de Usuário Tangível (IUT) que implementa as entradas (sensores) das interações dos usuários dependiam em criar uma rede WIFI, ponto-a-ponto entre o tablet e a placa controladora da IUT. E assim dependendo de protocolos de rede específicos e conhecimento técnico prévio por parte do usuário, o que resultava em momentos de não funcionamento do SimulaHabitat (LOSADA, 2019).

Para solucionar estes problemas, se chegou a questão de pesquisa, em como manter o desenvolvimento de uma biblioteca no motor de jogos Unity que permita implementar aplicações de objetos de aprendizagem educacionais em espaços escolares, mas que mantenha o uso das áreas de RVi/RA, IUT, AC, AVD e Gamificação. A solução adotada foi produzir e validar uma forma alternativa de implementar o módulo de Interface de Usuário Tangível (IUT), atualizando o microcontrolador, desenvolvendo *drivers*, e disponibilizando um estudo de caso da integração do sensor de distância ultrassônico HC-SR04 ao microcontrolador ESP32-WROOM-32D com o motor gráfico Unity.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O projeto SimulaHabitat - Simulador de Ecossistemas apresenta em uma das suas aplicações a construção de um Aquário Virtual (LOSADA, 2019). Este Aquário Virtual é um simulador de ecossistema, que tem por objetivo simular o ecossistema de um aquário real utilizando um módulo de Interface de Usuário Tangível (IUT) para manipulação das propriedades do simulador. Neste módulo o usuário pode utilizar os sensores (Figura 1) para modificar o ecossistema com o intuito de mantê-lo em funcionamento.

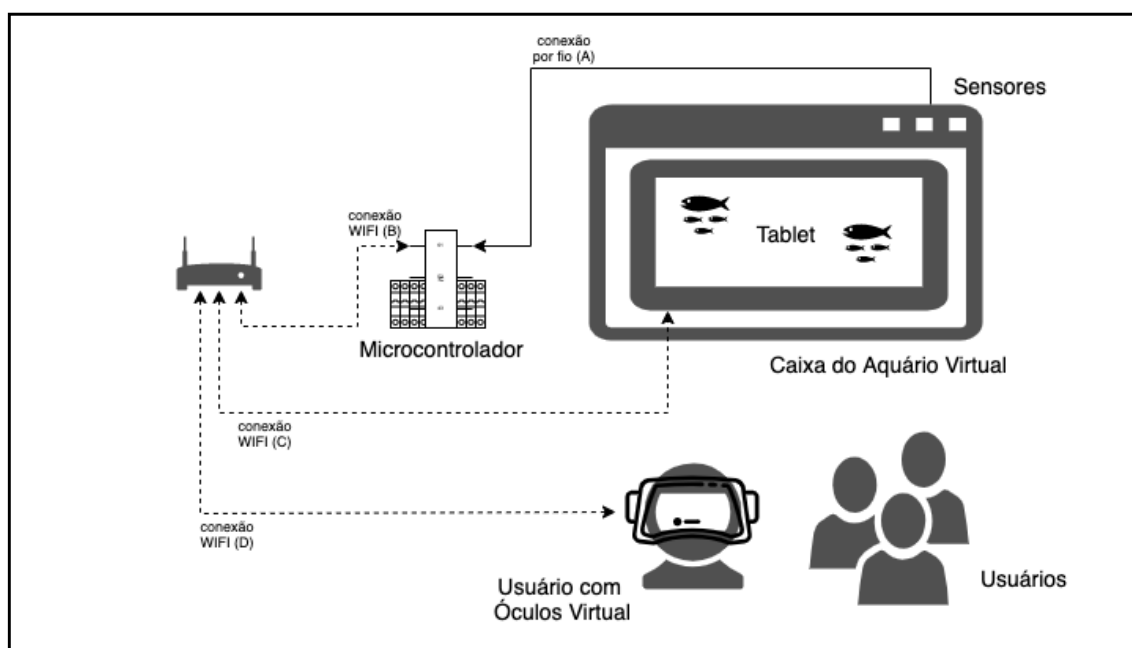
Figura 1: Aquário Virtual (sensores) - Ciclo de vida



Fonte: Losada (2019).

A arquitetura utilizada neste módulo de IUT (Figura 2) é responsável por perceber as alterações do mundo real e repassar para a aplicação do Aquário Virtual que é executada em um tablet (LOSADA, 2019). Esta aplicação é responsável por representar o modelo gráfico do Aquário Virtual, bem como a simulação dos estados do ciclo de vida do ecossistema (Figura 1). Assim, se o usuário alterar o estado de um dos três sensores (Figura 1 - botão para alimentação dos peixes, sensor de luz e potenciômetro para controle de temperatura), esta informação é passada para o microcontrolador (Figura 2 - conexão por fio (A)). O microcontrolador se encarrega então de enviar estas informações para a aplicação Aquário Virtual no tablet usando a conexão WIFI (Figura 2 - conexão WIFI B e C). O usuário pode interagir com o sistema através de um tablet ou de um óculos de realidade virtual (Figura 2 - conexão WIFI D).

Figura 2: Arquitetura IUT atual

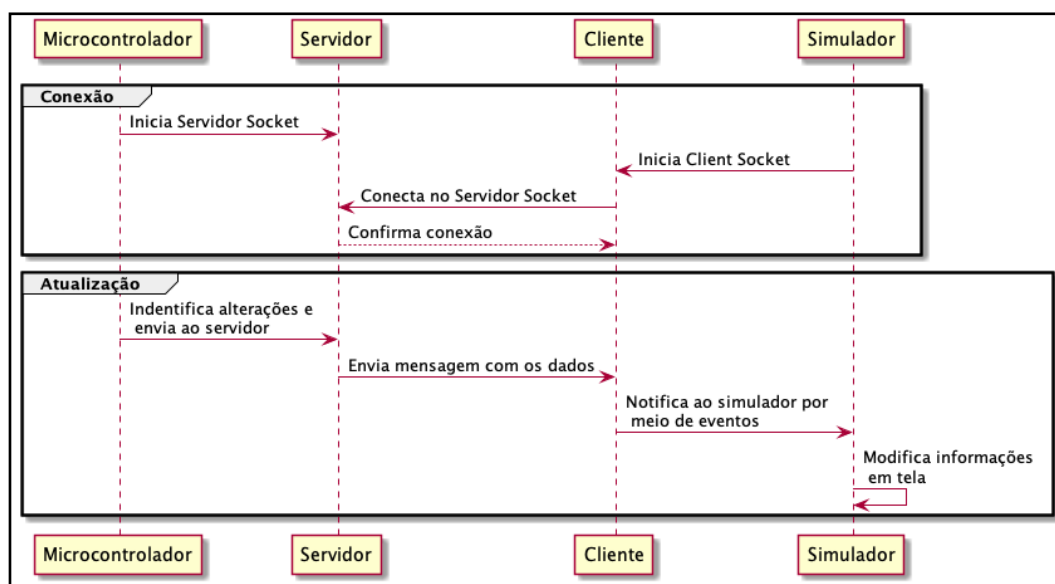


Fonte: elaborado pelos autores.

A simulação do ecossistema na aplicação do Aquário Virtual pode ser visualizada pelos usuários dispostos na frente da caixa do Aquário Virtual percebendo o espaço virtual por uma realidade virtual não imersiva. Também é possível que o usuário “vista” um óculos virtual (Figura 2 - conexão WIFI D) e assim poder ter uma visão em primeira pessoa de um peixe (realidade virtual imersiva), experimentando sensações de como se fosse o próprio peixe, provocadas tanto por estímulos visuais como por auditivos (SILVA, 2020).

A conexão WIFI entre o microcontrolador e a aplicação Aquário Virtual (Figura 2 - conexão WIFI B e C) é estabelecida por uma comunicação *Socket* entre cliente e servidor (Figura 3). Que basicamente inicia com o estado para conectar ao servidor (Figura 3 - Conexão), identificar alterações e enviar ao servidor (Figura 3 - Atualização). Mas para esta conexão funcionar ela depende de um roteador WIFI com protocolo *Internet Group Management Protocol* (IGMP) ativo, *Service Set Identifier* (SSID) e senha pre-cadastrados (LOSADA, 2019).

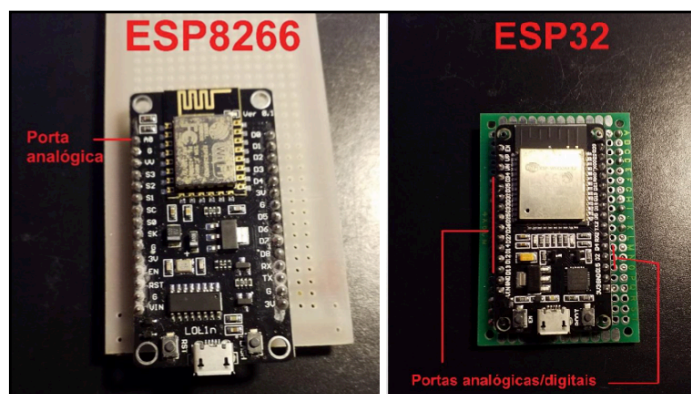
Figura 3: Comunicação *Socket* entre cliente e servidor



Fonte: elaborado pelos autores.

Para definir arquitetura do módulo de IUT (Figura 2) em relação ao hardware utilizado basicamente envolve um microcontrolador e sensores ligados a ele. O microcontrolador utilizado na arquitetura atual do projeto SimulaHabitat é o ESP8266 (Figura 4). É um microcontrolador com uma relação custo versus benefício aceitável, mas que pode ser atualmente superada pelo microcontrolador ESP32-WROOM-32D (Figura 4). Pois além de manter um custo de aquisição ainda baixo, ampliar a sua configuração aumentando memória e processamento, bem como características de conectividade com os sensores, uma vez que além das portas analógicas (já presentes no ESP8266), disponibiliza também portas digitais (AMPERKA, 2021).

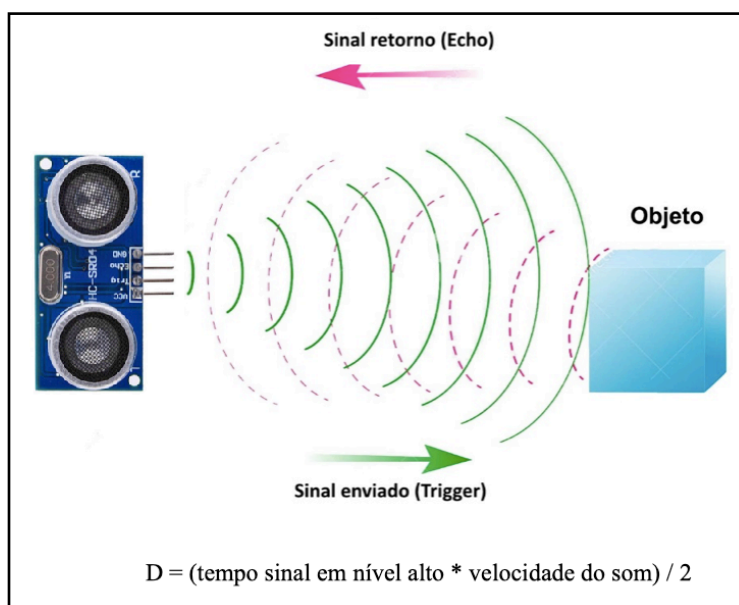
Figura 4: ESP8266 x ESP32



Fonte: elaborado pelos autores.

O sensor HC-SR04 (Figura 5) é baseado no envio de sinais ultrassônicos (*Trigger*) pelo sensor, que aguarda retorno do sinal (*Echo*), e de acordo com o tempo entre o envio e o retorno, é calculada a distância entre o sensor e o objeto detectado (FILIPEFLOP, 2021). Inicialmente é enviado um pulso de 10μs que indica o início da transmissão dos dados. Em seguida, são enviados 8 pulsos de 40Hz, onde o sensor aguarda o retorno em nível alto (*high*), e determina a distância entre o sensor e o objeto através da Equação D (Figura 5).

Figura 5: Recebimento e envio do sinal



Fonte: Filipeflop (2021).

Para controlar a captura e o envio do sinal transmitido pelo sensor HC-SR04 se pode utilizar as bibliotecas disponíveis no .NET nanoFramework (NANOFramework, 2021c). O .NET nanoFramework é uma plataforma de código aberto que permite a escrita de novos

códigos para gerenciamento de dispositivos embarcados. Além de possuir uma versão reduzida do .NET nanoFramework, conhecida como Common Language Runtime (CLR), que além de ser gerenciável a partir do Microsoft Visual Studio IDE, também conta com extensões que auxiliam na implantação do código desenvolvido no microcontrolador (NANOFramework, 2021a).

3. MÉTODO E MATERIAIS

O método para produção e avaliação deste projeto seguiu as etapas abaixo:

- a) cenário anterior: entender as aplicações desenvolvidas no cenário anterior (SimulaHabitat), principalmente as relacionadas a implementação do módulo IUT;
- b) estudo: estudar os conceitos sobre microcontroladores, sensores e exemplos de seu uso. Como também o estudo do framework .NET nanoFramework;
- c) especificação: definir requisitos que o circuito e aplicativo deveriam atender, bem como o detalhamento da estrutura de análise e projeto do mesmo;
- d) montagem e validação do circuito;
- e) implementação: escrever computacionalmente os códigos dos *drivers* e rotinas que permitam o uso do microcontrolador e sensores com a biblioteca do SimulaHabitat desenvolvida no Unity;
- f) testes e análise: testar para garantir o adequado funcionamento de todas as rotinas implementadas de acordo com a especificação, que contou também com a participação de um especialista em Arquitetura de Computadores (coorientador deste projeto);
- g) divulgação: produção de um manual que contém detalhadamente a montagem do circuito e de um código de demonstração do seu uso.

Já os materiais utilizados neste projeto são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: materiais utilizados

Quantidade	Componente	Preço R\$
1	microcontrolador ESP32	46,70
1	sensor HC-SR04	13,56
1	protoboard MB102	16,74
1	cabo USB-Micro	29,91
5	fios para condução de energia, sendo um para o negativo	5,01
	Total (valores aproximados em julho de 2021)	111,92

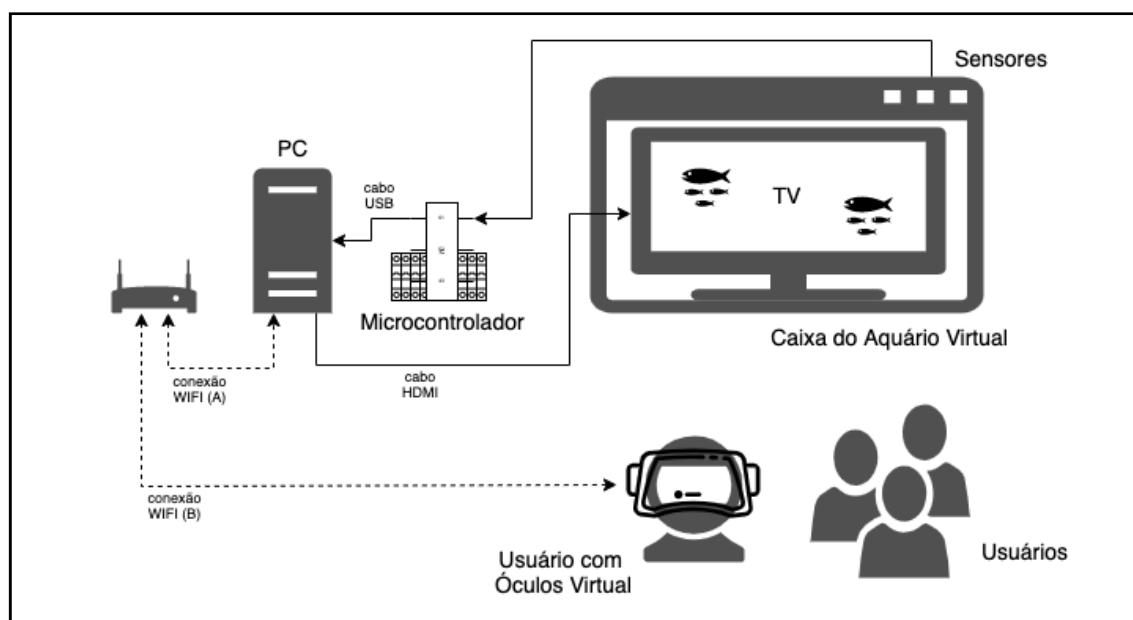
Fonte: elaborado pelos autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Num primeiro momento após se apropriar do cenário anterior, principalmente do módulo de IUT já definida anteriormente (Figura 2), e se ter estudado os novos hardwares (Figura 4 e 5) a serem utilizados no projeto atual, se propôs uma nova arquitetura para o módulo IUT (Figura 6).

Esta arquitetura consiste em levar a aplicação do Aquário Virtual que antes executava num tablet agora passa a ser em um computador (Figura 6 - PC). E assim permitir desenvolver melhorias na representação virtual do cenário, ampliando a sua representação gráfica e estados da simulação do ciclo de vida do ecossistema. Bem como, o aumento das conexões (Figura 6 - conexão WIFI B) dos usuários com óculos virtuais.

Figura 6 - Arquitetura IUT da nova proposta



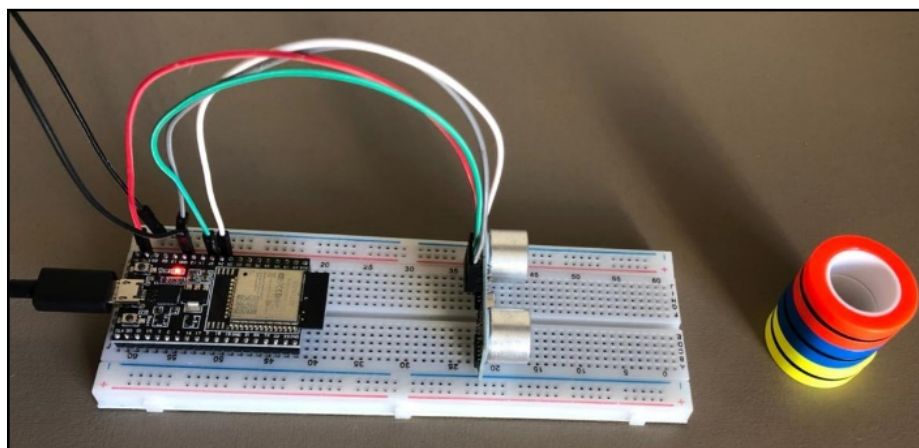
Fonte: elaborado pelos autores.

Também permite diminuir as dificuldades da sua implantação em espaços escolares uma vez que a antiga conexão que dependia de uma comunicação *Socket* entre cliente e servidor (Figura 3), usando uma conexão WIFI (Figura 2 - conexão WIFI B e C) entre o microcontrolador que gerencia os sensores e a aplicação do Aquário Virtual, agora é feita direta por uma conexão do microcontrolador a porta USB do PC que executa o Aquário Virtual (Figura 6 - cabo USB). Mesmo não se tendo feito testes no espaços escolares decorrente do isolamento social devido a pandemia do vírus COVID-19, por se tratar de uma

simples conexão usando a porta USB, acreditasse não se ter mais os problemas anteriormente encontrados.

Após a definição da nova proposta da arquitetura se seguiu para a montagem e validação do circuito (Figura 7) composto pelo microcontrolador ESP32 (Figura 4), pelo sensor HC-SR04 (Figura 5) e por uma Protoboard MB102. A Protoboard MB102 serve como uma forma de conexão condutora para a montagem do circuito em fase de prototipação. Basicamente a montagem do circuito é definida por interligar o microcontrolador ao sensor, ou seja, é necessário que o ESP32 esteja acoplado na matriz de contato (Protoboard). E que o sensor HC-SR04 receba energia (PIN-VCC), que seja feita a indução de negativo (PIN-GND) e que os pinos TRIG e ECHO estejam conectados em portas I/O (INPUT, OUTPUT) do microcontrolador.

Figura 7 - Resultado da montagem do circuito

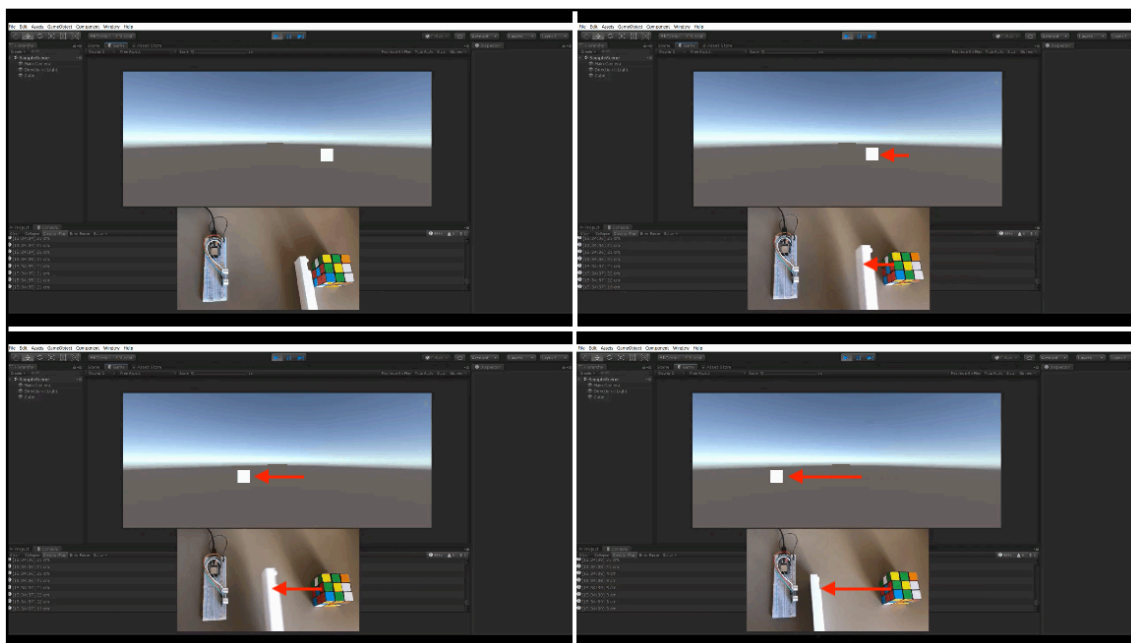


Fonte: elaborado pelos autores.

Na sequência se fez a implementação dos códigos dos *drivers* e rotinas utilizando o .NET nanoFramework (NANOFramework, 2021b) que permitam o uso do microcontrolador e sensores com a biblioteca do SimulaHabitat desenvolvida no motor de jogos Unity (HUYSENTRUIT, 2021). Durante a implementação foram efetuados testes para verificar se a integração do circuito montado, e o código desenvolvido atendiam as especificações da nova arquitetura proposta.

Os testes e validações foram feitas utilizando a própria IDE do Unity, como uma cena simples defina por só um cubo branco (Figura 8 - janela de cima). Este cubo se move da direita para esquerda (e vice-versa) conforme um objeto branco se move entre o sensor HC-SR04 e um cubo mágico (Figura 8 - janela de baixo). Este movimento é representado na Figura 8 (seta vermelha), demonstrando assim que o movimento de um objeto no mundo

Figura 8 - Aplicação de testes no Unity



Fonte: elaborado pelos autores.

real movimenta um objeto no mundo virtual. E assim validando a nova proposta do módulo de IUT para o SimulaHabitat, que pode ser estendida conectando novos sensores, como os já usados na aplicação Aquário Virtual (Figura 2).

Todo o material produzido que envolve códigos fontes, projeto de configuração de IDE, manual que contém detalhadamente a montagem do circuito e uma aplicação de teste para demonstrar o seu uso, pode ser encontrados em um versionador de código livre do projeto, em <http://tecedu.inf.furb.br/simulahabitat>.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto SimulaHabitat - Simulador de Ecossistemas, principalmente na aplicação do Aquário Virtual, utilizava uma solução que limitava melhorias na representação virtual do cenário e também dificultava a sua implantação em espaços escolares. Com esta pesquisa se produziu e validou uma forma alternativa de implementar o módulo de Interface de Usuário Tangível (IUT), propondo uma nova arquitetura que atualizou as configurações do microcontrolador, desenvolveu *drivers*, e disponibilizou um estudo de caso da integração do sensor de distância ultrassônico HC-SR04 ao microcontrolador ESP32-WROOM-32D com o motor gráfico Unity.

Esta nova arquitetura (Figura 6) permite desenvolver várias novas extensões, como por exemplo melhorias na representação virtual do cenário (modelo gráfico) e estados da simulação do ciclo de vida do ecossistema. Algumas destas melhorias são apresentadas na Tabela 3. Outra melhoria, é o aumento das conexões dos usuários com óculos virtuais.

Esta nova proposta de arquitetura pode diminuir um pouco a mobilidade se comparado o uso de um tablet com um notebook (Figura 6 - PC). Mas acreditasse que os dois cenários, o da arquitetura anterior (Figura 2) e da nova arquitetura (Figura 6), podem coexistir na proposta da nova arquitetura, pois é possível se ter uma conexão do microcontrolador a porta USB do Tablet usando a função USB On-The-Go (USB OTG¹). Mas carece de mais testes para validar o uso desta função.

Tabela 3: Melhorias no SimulaHabitat

Módulo	Descrição
modelo gráfico	Novas animações dos peixes, das plantas e do movimento da água (ex. bolhas).
	Efeitos para representar a mudanças de estado da qualidade do aquário (ex. limo no vidro).
	Uso de retorno por áudio do movimento dos peixes na água e de alguém batendo no vidro.
ciclo de vida	Mudança do estado das plantas.
	Simulação do ciclo reprodutivo ovíparo.
	Representar a diversidade de condições baseadas na espécie do peixe.
	Trocar modelo reativo por um modelo de Aprendizagem de Máquina da ML-Agents.

Fonte: elaborado pelos autores.

E por fim, uma outra extensão é validar o conteúdo do material produzido (<http://tededu.inf.furb.br/simulahabitat>), envolvendo os bolsistas de projeto e alunos dos clubes de ciências das escolas, para que eles mesmo montem o Aquário Virtual, e identifiquem pontos que mereceriam ajustes no tutorial de sua montagem.

REFERÊNCIAS

AMPERKA. **ESP32 WROOM DEVKIT V1**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://wiki.amperka.ru/_media/products:esp32-wroom-wifi-devkit-v1:esp32-wroom-wifi-devkit-v1_pinout.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021.

ESTEVÃO, João Marcos. **Análise do Uso de Animação Comportamental com o Motor de Jogos Unity**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2020. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_JoaoMarcosEstevao/blob/>

¹ A função USB OTG permite a conexão de dispositivos externos diretamente no Smartphone ou Tablet.

c814940c27c4c184b8f439ca6189c52b4b355267/Texto/tcc_bcc_2020_1_jmestevao_JoaoMarcosEstevao-VF.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021

FILIFELOP. **Como Conectar o Sensor Ultrassônico HC-SR04**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.filifelop.com/blog/sensor-ultrassonico-hc-sr04-ao-arduino/>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

HUYSENTRUIT, WOUTER. **Executando .NET**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://whuysentruit.medium.com/running-net-on-esp32-e9e953e591a6>>. Acesso em: 22 jul. 2021.

KIRNER, Claudio *et al.* **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Belém: SBC, 2006.

LOSADA, Flávio Omar. **Aquário Virtual: Simulador de Ecossistema Utilizando Interface de Usuário Tangível**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2019. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_FlavioOmarLosada/blob/cee78985a1ea85846e412d91ca47f763ba7e0277/Textos/tcc_bcc_2019_1_flavioomar_FlavioOmarLosada-VF.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021

NANOFramework. **NanoFirmwareFlasher**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://github.com/nanoframework/nanoFirmwareFlasher>>. Acesso em: 22 jul. 2021a.

NANOFramework. **NET nanoFramework**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.nanoframework.net/>>. Acesso em: 22 jul. 2021b.

NANOFramework. **Repositório sobre nanoFramework**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://github.com/nanoframework>>. Acesso em: 22 jul. 2021c.

PEREIRA, Rodrigo Wernke et al. EcosAR: Simulador de Ecossistemas Utilizando Realidade Aumentada. Anais do XXV Workshop de Informática na Escola (WIE 2019). **Anais... In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA**. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 11 nov. 2019. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/13203>>. Acesso em: 22 jul. 2021

PISKE, Kevin Eduardo. **Aquário Virtual: Simulador de Ecossistema Utilizando Animação Comportamental**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2015. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_KevinEduardoPiske/blob/10ec804e0ca0adcbd5b331b596bdac235a19d716/Textos/TCC2015-2-15-VF-KevinEPiske.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021

SILVA, Matheus Waltrich da. **Aquário Virtual: Multiplayer e Realidade Virtual**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2020. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_MatheusWaltrichSilva/blob/56b7a70e55bd99f887ffcc38e2f07f4af77af494/textos/>

tcc_bcc_2020_1_matheuswaltrich_MatheusWaltrichDaSilva-VF.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021

VIEIRA, Pâmela Carolina. **Questmeter: Ambiente de Aprendizagem com Gamificação**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2019. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_PamelaCarolinaVieira/blob/1382e8147bd8170ceeb728128afaffbe5b836cd4/Textos/tcc_bcc_2019_1_pamelacarolina_PamelaCarolinaVieira-VF.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021

VIGENTAS, Bruno Geisler. **FolhAR - Explorando Folhas de Plantas com Realidade Aumentada**. TCC (Graduação)—Blumenau: Curso de Ciência da Computação, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Fundação Universidade Regional de Blumenau - FURB, 2021. Disponível em: <https://github.com/dalton-reis/tcc_BrunoGeislerVigentas/blob/06c2e3397822e1152ba292e3173ea0374077b588/Textos/tcc_bcc_2021_1_bvigentas_BrunoGeiserVigentas-VF.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2021