

**DESAFIO IOT: JOGO SÉRIO PARA IMERSÃO NO
DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* EMBARCADO
NO CONTEXTO DE CASAS INTELIGENTES**

CLEIDIANA REIS DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. RODRIGO DUARTE SEABRA

Itajubá – MG
Fevereiro/2023

DESAFIO IOT: JOGO SÉRIO PARA IMERSÃO NO DESENVOLVIMENTO DE *SOFTWARE* EMBARCADO NO CONTEXTO DE CASAS INTELIGENTES

CLEIDIANA REIS DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia da Computação da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia da Computação.

Área de concentração: Sistemas de Computação

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Duarte Seabra

Itajubá - MG
Fevereiro/2023

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar minha vida e ter sua presença em todos os momentos.

Ao meu amado esposo Alan Bourscheidt Seitenfuss, por toda sua dedicação, carinho e companheirismo durante esse tempo que estive me dedicando aos estudos. Agradeço também por me ajudar com as revisões de português da dissertação.

Aos meus pais (*in memoriam*) Antônio dos Reis dos Santos e Vera Lúcia de Melo, por terem colocado, com muito amor, os estudos como prioridade em nossa casa.

Agradeço às minhas irmãs, Ana Cláudia de Melo Santos e Cristiana Maria de Melo, pela presença, carinho e atenção, sempre se fazendo presentes na minha vida. Obrigado por tudo!

Agradeço aos meus amigos, que, mesmo distantes, sempre estiveram presentes, tornando este momento, cheio de desafios, mais leve e divertido.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Duarte Seabra, pela concretização desse sonho. O seu empenho foi essencial para minha motivação à medida que as dificuldades vinham surgindo ao longo do percurso. Minha eterna gratidão.

*“O que somos é presente de Deus;
no que nos transformamos é o nosso presente a Ele.”*

São João Bosco.

RESUMO

A evolução tecnológica proporcionada pela Internet das Coisas está em crescente desenvolvimento e a demanda por profissionais aumenta proporcionalmente. Paralelamente a essa realidade, a utilização de jogos como ferramenta de aprendizado é um método propício principalmente para o público mais jovem, por apresentar elementos de diversão e engajamento. Jogos sérios podem auxiliar os jogadores na aquisição de novas experiências e conhecimentos complexos, que são obtidos por meio da resolução de desafios. Nesse contexto, o jogo sério proposto neste trabalho, Desafio IoT, visa oferecer uma visão geral sobre alguns problemas e soluções no desenvolvimento de *software* embarcado para casas inteligentes. Além de um propósito sério, o jogo proposto busca despertar o interesse dos estudantes no assunto, disseminando a ideia e a motivação em atuar na área de desenvolvimento. A implementação do jogo foi realizada segundo o modelo de especificação *Learning Mechanics – Game Mechanics* (LM-GM). Visando investigar o impacto educacional proporcionado pela experiência de uso do jogo proposto, além de questionários de utilização e de conhecimento técnico, foi usado o questionário MEEGA+ para a avaliação do jogo. A partir dos resultados, pode-se concluir que o jogo foi capaz de introduzir os estudantes à área de Internet das Coisas e motivá-los a aprofundar seus conhecimentos sobre o tema. A avaliação do jogo pelos estudantes apresentou resultado geral positivo, bem como aprovação em sete das oito dimensões utilizadas na análise.

Palavras-chave: Internet das Coisas; Ensino; Jogos Sérios; Sistemas Embarcados; Casas Inteligentes.

ABSTRACT

The technological evolution provided by the Internet of Things is in increasing development and the demand for professionals increases proportionally. Parallel to this reality, the use of games as a learning tool is a suitable practice especially for the younger audience, as they present elements of fun and engagement. Serious games can help players acquire new experiences and complex knowledge, which are obtained by solving the challenges. In this context, the serious game proposed in this research, Desafio IoT, aims to provide an overview of some problems and solutions in embedded software development for smart homes. In addition to a serious purpose, the game seeks to awaken students' interest in the subject, spreading the idea and motivating to work in the development area. The implementation of the game was carried out according to the Learning Mechanics – Game Mechanics (LM-GM) specification model. In order to investigate the educational impact provided by the experience of using the game, besides the questionnaires on usage and technical knowledge, the MEEGA+ questionnaire was used to evaluate the game. The results allow concluding that the game was able to introduce students to the Internet of Things area and motivate them to further their knowledge on the subject. The evaluation of the game by the students presented a positive overall result, as well as approval in seven of the eight dimensions used in the analysis.

Keywords: Internet of Things; Education; Serious Games; Embedded Systems; Smart Homes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Arquitetura IoT. Baseada em Wu <i>et al.</i> (2010).....	17
Figura 2: Aplicações IoT divididas por áreas. Fonte: Adaptado de Asghari <i>et al.</i> (2019).	18
Figura 3: Níveis de inteligência das casas inteligentes. Fonte: Adaptado de Sovacool (2020).....	22
Figura 4: (a) Padrão <i>Device-to-Device</i> . (b) Padrão <i>Device-to-Cloud</i> . Fonte: Baseado em Tschofenig <i>et al.</i> (2015).....	23
Figura 5: (a) Padrão <i>Device-to-gateway</i> . (b) Padrão <i>Back-End Data Sharing</i> . Fonte: Baseado em Tschofenig <i>et al.</i> (2015).....	24
Figura 6: Comunicação MQTT. Fonte: Mqtt (2021).....	25
Figura 7: ESP-WROOM-32. Fonte: Esp32-wroom-32 (2022).....	28
Figura 8: Relação <i>software</i> , <i>firmware</i> e <i>hardware</i> . Fonte: Baseado em Gu (2016)...	29
Figura 9: Segmentos da memória do programa. Fonte: Maziero (2021).....	30
Figura 10: Relação entre jogos, jogos educacionais e jogos sérios. Fonte: O autor.	32
Figura 11: Composição dos jogos sérios. Adaptado de Laamarti <i>et al.</i> (2014).	33
Figura 12: Relação proposta LM-GM. Fonte: Baseado em Lim <i>et al.</i> (2013).	39
Figura 13: Mapa das mecânicas do jogo. As legendas estão na	40
Figura 14: Menu do jogo. Fonte: O autor.	43
Figura 15: Cenário do jogo. Fonte: O autor.	43
Figura 16: Visão do jogo. Fonte: O autor.	44
Figura 17: Inventário do jogo. Fonte: O autor.....	45
Figura 18: Passos do desafio. Fonte: O autor.	46
Figura 19: Fluxo do jogo. Fonte: O autor.....	47
Figura 20: Tela de programação do jogo. Fonte: O autor.	48
Figura 21: Processo de avaliação. Baseado em Alonso-Fernández (2019).....	51
Figura 22: Faixa etária e período dos participantes. Fonte: O autor.	52
Figura 23: Respostas dos participantes no pré-teste. Fonte: O autor.	55
Figura 24: Respostas das questões Q8, Q9 e Q10. Fonte: O autor.....	56
Figura 25: Respostas dos participantes no pós-teste. Fonte: O autor.....	57

Figura 26: Respostas para as questões Q1 a Q7 no pré e no pós-teste. Fonte: O autor.	57
Figura 27: Gráficos isolados para cada questão de Q1 a Q7 no pré e no pós-teste. Fonte: O autor.	58
Figura 28: Respostas do pré e pós-teste em relação às questões Q8, Q9 e Q10. Fonte: O autor.	60
Figura 29: Respostas dos participantes no Questionário de Utilização. Fonte: O autor.	62
Figura 30: Estatísticas de acesso dos participantes no jogo. Fonte: O autor.	63
Figura 31: Respostas dos participantes no MEEGA+ por dimensão. Fonte: O autor.	64
Figura 32: Respostas dos participantes no MEEGA+ por questão. Fonte: O autor. .	65
Figura 33: Respostas MEEGA+ para a dimensão usabilidade. Fonte: O autor.....	66
Figura 34: Correlações entre as respostas das questões do questionário MEEGA+. Fonte: O autor.	68
Figura 35: Diagramas de correlações entre as questões. Fonte: O autor.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de redes mais usados em IoT. Fonte: Baseado em Harada (2017), Popli et al. (2019), Wi-Sun, (2019).	25
Tabela 2: Comparação dos trabalhos correlatos e Desafio IoT. Fonte: O autor.....	37
Tabela 3: Mecânicas de jogo. Fonte: O autor.....	41
Tabela 4: Mecânicas de aprendizado. Fonte: O autor.....	41
Tabela 5: LM-GM do jogo. Fonte: O autor.....	41
Tabela 6: Projetos do Desafio IoT. Fonte: O autor.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ALU** – *Arithmetic Logic Unit*
- ARM** – *Advanced RISC Machine*
- BLE** – *Bluetooth Low Energy*
- CISC** – *Complex Instruction Set Computer*
- CPU** – *Central Processing Unit*
- EEPROM** – *Electrically Erasable Programmable Read-only Memory*
- GBL** – *Game-Based Learning*
- GDD** – *Game Design Document*
- GPIO** – *General Purpose Input/Output*
- IIoT** – *Industrial Internet of Things*
- IoT** – *Internet of Things*
- IPv4** – *Internet Protocol version 4*
- LM-GM** – *Learning Mechanics–Game Mechanics*
- LPWAN** – *Low Power Wide Area Network*
- MEEGA+** – *Model for the Evaluation of Educational GAMES*
- MQTT** – *Message Queuing Telemetry Transport Protocol*
- NB-IoT** – *Narrowband-IoT*
- RAM** – *Random Access Memory*
- RFID** – *Radio Frequency Identification*
- RISC** – *Reduced Instruction Set Computer*
- ROM** – *Read-only Memory*
- RPG** – *Role Playing Game*
- RTC** – *Real Time Clock*
- RTOS** – *Real Time Operating System*
- SoC** – *System on Chip*
- SRAM** – *Static Random Access Memory*
- SSL** – *Secure Sockets Layer*
- TCP** – *Transmission Control Protocol*
- TLS** – *Transport Layer Security*
- UC** – *Control Unit*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	13
1.2 Objetivos	14
1.3 Organização do Trabalho.....	15
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Internet das Coisas	16
2.1.1 Casas Inteligentes.....	20
2.1.2 Rede de Conectividade.....	22
2.1.3 Microcontroladores.....	26
2.1.4 Programação	29
2.2 Jogos Sérios	31
2.3 Trabalhos Correlatos.....	34
2.4 Conclusão do Capítulo.....	37
CAPÍTULO 3 - DESENVOLVIMENTO DO JOGO	38
3.1 Tecnologias Utilizadas	38
3.2 Aspectos da Implementação.....	39
3.3 Descrição do Jogo	42
3.4 Conclusão do Capítulo.....	48
CAPÍTULO 4 - AVALIAÇÃO.....	49
4.1 <i>Design</i> do Processo de Avaliação.....	49
4.2 Descrição do Ambiente de Testes	51
4.3 Perfil dos Estudantes	52
4.4 Conclusão do Capítulo.....	53
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS	54
5.1 Questionário de Conhecimento Técnico	54
5.1.1 Resultado do pré-teste.....	54
5.1.2 Discussão pós-teste.....	57

5.2	Questionário sobre a Utilização do Jogo.....	60
5.3	Formulário MEEGA+	64
5.3.1	Avaliação do jogo.....	64
5.3.2	Correlações.....	67
5.4	Discussão	70
5.5	Conclusão do Capítulo.....	73
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO.....		74
REFERÊNCIAS.....		77
APÊNDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO		86
APÊNDICE B: QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTO TÉCNICO		87
APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO JOGO		90
APÊNDICE D: FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO MEEGA+		92

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Internet das Coisas, do inglês *Internet of Things* (IoT), é um termo que possui pouco mais de duas décadas. Foi em 1999, com Kevin Ashton, diretor executivo do laboratório Auto-ID no Massachusetts Institute of Technology (MIT), que o conceito foi usado pela primeira vez para descrever a habilidade de os sensores se conectarem a novos serviços na Internet (ASHTON *et al.*, 2009).

Enfatizando a área de IoT em cidades inteligentes (*smart cities*), Kim *et al.* (2017) expõem o impacto do crescimento da população, em cidades como São Paulo e Tóquio, frisando que a solução mais viável para enfrentar esse problema é o desenvolvimento de técnicas para reduzir o consumo de recursos nas cidades de forma inteligente. Tecnologia e serviço como casas inteligentes (*smart homes*) são apontados pelos autores como parte da solução dos problemas em centros superpopulosos.

Marikyan *et al.* (2019) conduziram uma revisão sistemática da literatura que apontou que as principais características utilizadas para a definição de casa inteligente são a aplicação de tecnologia, a execução de serviços e a habilidade de satisfazer necessidades dos usuários. Uma casa inteligente representa dispositivos e sensores integrados a um sistema inteligente (tecnologia), oferecendo gerenciamento, monitoramento, suporte e responsividade (serviços), além de proporcionar benefícios econômicos, sociais, emocionais, de saúde, sustentabilidade e segurança (necessidades do usuário).

De acordo com o relatório realizado por Statista (2022), é estimado que até 2026 o mercado de casas inteligentes atinja globalmente US\$195.20 bilhões. No Brasil, a estimativa é de US\$2,4 bilhões. No contexto geral em IoT, em uma projeção publicada em julho de 2021 pela Transforma Insights (2021), é esperado o total de 27,8 bilhões de dispositivos IoT até 2030; só na China são previstos 8 bilhões de dispositivos conectados até 2030. Isso posto, devido ao crescimento do mercado, esta

dissertação pode apresentar contribuições para qualquer interessado que almeje adentrar na área de IoT, possuindo apenas conhecimentos básicos de programação. Além disso, este trabalho também tem como público-alvo estudantes de disciplinas relacionadas à eletrônica digital, bem como recém-formados e estagiários em desenvolvimento de *software* embarcado em aplicações IoT.

O futuro profissional em desenvolvimento de *software* embarcado pode se beneficiar de ferramentas de ensino para acelerar seu aprendizado, tais como os jogos sérios (*serious game*), que vão além do entretenimento, cujo objetivo principal é o de propiciar aprendizagem, seja de conteúdos educacionais curriculares ou de domínio de uma habilidade profissional (CLUA; RODRIGUES, 2020), como no caso deste trabalho.

Além de um âmbito sério, o jogo proposto nesta pesquisa busca despertar o interesse dos estudantes no assunto, disseminando a ideia e a motivação em trabalhar na área de desenvolvimento, considerando o fato de como as aplicações IoT podem ser impactantes no cotidiano.

Verifica-se, portanto, a oportunidade de concepção e avaliação de um jogo que promova um primeiro contato com o desenvolvimento em IoT, no contexto de casas inteligentes, abordando algumas habilidades que, possivelmente, serão de grande valia para o mercado de trabalho da área.

1.1 Justificativa

A IoT está presente em todas as áreas, sendo assertiva sua crescente evolução. A demanda por profissionais qualificados aumenta proporcionalmente à evolução tecnológica da IoT. O mercado de Tecnologia da Informação carece de profissionais qualificados em tecnologias emergentes como a IoT (HELTZEL, 2018). A falta de profissionais na área de IoT começa ainda no ambiente de formação, onde há pouca divulgação para despertar o interesse dos estudantes em seguir uma profissão nessa área.

A integração de teoria e prática na sala de aula no ensino de IoT é especialmente importante. No entanto, a parte prática às vezes é deixada de lado devido à falta de componentes de *hardware* para desenvolver uma solução IoT. A

utilização de um jogo sério é uma maneira de levar a interação com o *hardware* para a sala de aula. Além disso, o aluno pode adquirir conhecimento jogando fora do horário de aula.

Jogos sérios podem ser usados para imergir o jogador no cenário de criação de aplicações que resolvam problemas com IoT. Em comparação aos métodos de ensino tradicionais, podem proporcionar mais motivação e engajamento, construindo, assim, o conhecimento sobre IoT e estimulando futuros profissionais a entrarem na área.

A partir dessas considerações, propõe-se nesta pesquisa o desenvolvimento e a avaliação de um jogo sério que promova uma visão geral sobre alguns problemas e soluções no desenvolvimento de *software* embarcado em IoT para casas inteligentes. É importante destacar que até a conclusão desta dissertação não foram encontradas soluções na área de aplicação proposta pela pesquisa em questão, ou seja, não foram identificadas quaisquer ferramentas educacionais destinadas a auxiliar o primeiro contato com ambientes e aplicações IoT no âmbito de casas inteligentes.

1.2 Objetivos

O objetivo geral dessa pesquisa consistiu em desenvolver um jogo sério para agregar conhecimento e habilidades técnicas na área de desenvolvimento de *software* embarcado em IoT, no contexto de casas inteligentes, a qualquer interessado no assunto.

Os objetivos específicos da pesquisa foram os seguintes:

- Desenvolver um jogo baseado em conceitos consolidados na literatura científica para concepção de jogos sérios na educação profissional;
- Implementar no jogo um ambiente de resolução de problemas que apresente, aos jogadores, desafios de desenvolvimento em IoT no contexto de casas inteligentes;
- Avaliar a percepção de uso do jogo, evidenciando as opiniões dos participantes sobre a experiência vivenciada.

Como contribuição direta desta pesquisa, se destaca a disponibilização gratuita do jogo sério desenvolvido, a fim de atender os usuários que desejarem continuar sua implementação ou, até mesmo, modificar alguns de seus recursos.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em seis capítulos, como segue:

- Capítulo 1 – apresenta a introdução e a justificativa para o desenvolvimento do trabalho, seus objetivos e sua forma de organização;
- Capítulo 2 – destina-se à apresentação da revisão bibliográfica no que se refere ao desenvolvimento de *software* embarcado aplicado à IoT e ao uso de jogos sérios;
- Capítulo 3 – destina-se a apresentar o jogo, bem como as técnicas para seu desenvolvimento;
- Capítulo 4 – descreve a aplicação do estudo de caso para avaliação do jogo, bem como as informações que foram coletadas dos participantes;
- Capítulo 5 – apresenta os resultados obtidos a partir do uso do jogo pelos participantes;
- Capítulo 6 – apresenta as conclusões desta pesquisa e as propostas para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que subsidiaram o embasamento teórico desta pesquisa.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo a seguir visa apresentar aplicações IoT, de forma geral, e seus componentes, jogos sérios e os trabalhos correlatos a esta pesquisa. Serão discutidos também alguns conceitos sobre casas inteligentes.

2.1 Internet das Coisas

Uma forma simples de compreender o termo Internet das Coisas é visualizá-lo como uma extensão da Internet atual, que também conecta objetos do dia a dia. Essa conexão tem como intuito controlar remotamente os objetos e permitir que eles mesmos sejam acessados como provedores de serviços. Os objetos comuns, quando adicionadas essas novas habilidades, criam muitas oportunidades na área acadêmica e industrial (SANTOS *et al.*, 2016).

Para se tornar um desenvolvedor de aplicações IoT, em geral, é necessário possuir conhecimentos em linguagens de programação e saber analisar as características do *hardware*. Especificamente para o desenvolvimento de *software* embarcado em IoT, é acrescentada a habilidade de rede de comunicação, por se tratar de dispositivos conectados entre si.

Alguns elementos necessários para caracterizar as funcionalidades de uma aplicação IoT (BURHAN *et al.*, 2018) são:

- Identificação: Identificação do dispositivo IoT na rede de comunicação (endereço único), por exemplo, IPv4 (*Internet Protocol version 4*);
- Sensoriamento: Tipos de sensores que serão utilizados para coletar informações, como, por exemplo, *tags* RFID (*Radio Frequency Identification*), sensor de temperatura e relógios inteligentes;

- Comunicação: É o tipo de rede de conectividade que será utilizada para conexão entre os dispositivos IoT, como *bluetooth* e *wi-fi*. Outros exemplos serão discutidos na subseção 2.1.2;
- Computação: Inclui o *hardware* e o *software* escolhidos para tratar os dados medidos pelos sensores, como, por exemplo, os microcontroladores Arduino e ESP32 com o sistema operacional FreeRTOS.

A implementação de uma solução IoT pode ser representada por uma arquitetura composta por três camadas (WU *et al.*, 2010, BURHAN *et al.*, 2018), mostradas na Figura 1 e descritas a seguir:

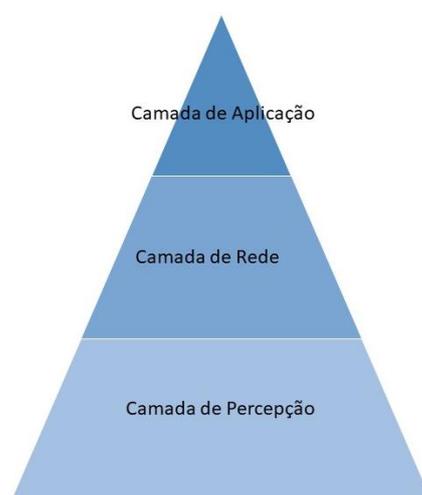


Figura 1: Arquitetura IoT. Baseada em Wu *et al.* (2010).

- Camada de Percepção: Essa camada também é conhecida por camada de sensores e tem a função de identificar objetos e coletar informações. As informações coletadas podem ser, por exemplo, de localização, movimento, vibração e mudança no ambiente;
- Camada de Rede: É a camada de transmissão que age como uma ponte entre a camada de percepção e a camada de aplicação, ou seja, os dados coletados nos sensores chegam até a camada de aplicação por meio da camada de rede. É responsável pela conexão entre objetos inteligentes e com dispositivos de rede. Esta camada é tratada com mais detalhes na seção 2.1.2;
- Camada de Aplicação: É onde é aplicada a solução IoT, ou seja, o propósito da IoT em determinado cenário, seja em cidades inteligentes, casas inteligentes ou melhorando processos em agricultura, por exemplo.

O foco do jogo Desafio IoT, proposto nesta dissertação, é apresentar o desenvolvimento de aplicações nos dispositivos de sensores e atuadores, não sendo abordados outros componentes de uma solução IoT, por exemplo, gerenciamento de rede e apresentação de dados via *dashboard*. Portanto, as aplicações IoT abordadas no jogo terão componentes de *hardware* e *software* para dispositivos que realizam a coleta de informações, o acionamento de cargas e a automação residencial.

O objetivo da IoT é otimizar e melhorar processos em diversas áreas, sendo que a Figura 2 apresenta um resumo dos nichos de atuação desta tecnologia.

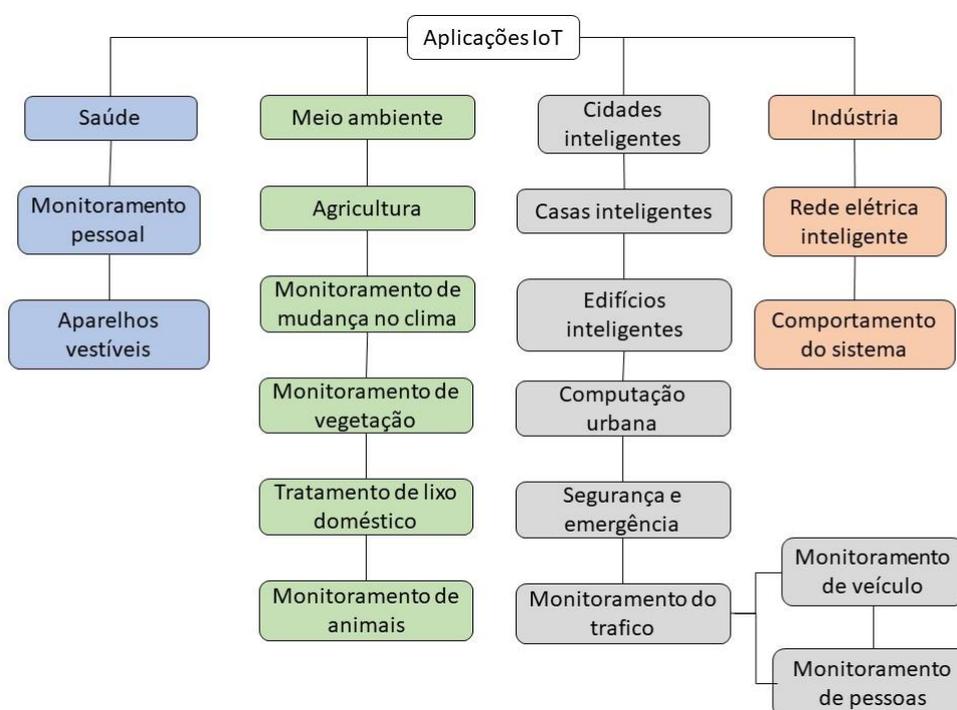


Figura 2: Aplicações IoT divididas por áreas. Fonte: Adaptado de Asghari *et al.* (2019).

No que tange à saúde, a telemedicina vem sendo potencializada com o uso da IoT. Os pacientes podem ser monitorados em suas casas com o uso de sensores, tais como sensores de temperatura, oxigenação, batimentos cardíacos, glicose e detecção de queda com uso de sensor giroscópio. Os dados coletados podem ser enviados para o centro médico, para o médico responsável e hospital local, caso seja detectado um alerta de emergência (ALBAHRI *et al.*, 2021).

A IoT aplicada ao meio ambiente busca otimizar o uso de recursos naturais e monitorar a preservação ambiental e animal. A tecnologia IoT está presente no

ambiente agrícola, por exemplo, em sensores nos equipamentos, tratores autônomos, *drones*, GPS e estações meteorológicas. Os sensores IoT trazem suporte para o melhor gerenciamento de água e solo, monitoramento da safra e o melhor controle no uso de inseticidas e pesticidas (RAJU; VIJAYARAGHAVAN, 2020). Os sensores aplicados à agricultura podem ser de temperatura, umidade, gás e biossensores, como sensor enzimático e microbiano, que são usados para detectar resíduos de pesticidas, íons de metais pesados, resíduos de antibióticos e gases tóxicos (SHI *et al.*, 2019). A análise dos dados coletados na agricultura pode sugerir tendências e trazer previsões de futuros problemas, podendo ser realizadas correções antes de causar efeitos danosos à plantação. Estratégias com uso de IoT podem ser usadas para solucionar a perda de comida e lixo (NIŽETIĆ *et al.*, 2019).

No ambiente urbano, o conceito de cidades inteligentes busca trazer melhorias nos serviços das cidades e, conseqüentemente, melhoria na qualidade de vida de seus habitantes. São usados recursos de IoT para monitorar diferentes serviços em cidades inteligentes (KIM *et al.*, 2017); tecnologias de *big data* e computação em nuvem são responsáveis por analisar os dados coletados pelos sensores distribuídos pela cidade e obter conclusões de melhorias nos serviços ou realizar ações imediatas nos processos. A aplicação da IoT em edifícios inteligentes (*smart building*) desenvolve métodos para tornar edifícios mais sustentáveis, com ajustes precisos na iluminação e climatização, de acordo com a claridade e a temperatura do ambiente, coletados por sensores IoT. Nos grandes centros, problemas de mobilidade urbana podem ser solucionados com aplicações IoT. Por exemplo, com monitoramento instantâneo do tráfego das principais vias, pode-se ajustar o tempo e o *status* de semáforos de acordo com o fluxo, deixando o trânsito mais distribuído (NIŽETIĆ *et al.*, 2019). O monitoramento de pessoas pode trazer melhorias no planejamento do transporte público.

Dentro do ambiente industrial, a revolução da Indústria 4.0, composta por componentes para *Industrial Internet of Things* (IIoT), utiliza aplicações IoT no meio industrial. A ideia principal da Indústria 4.0 é a de promover mais inteligência para o processo de manufatura, tornando o modelo de produção altamente flexível, personalizado e digital, com interações em tempo real entre pessoas, produtos e dispositivos durante o processo de produção (ZHOU *et al.*, 2017), trazendo mais eficiência nos processos de fabricação e economia de energia durante a produção.

Redes elétricas inteligentes (*smart grid*) garantem a melhor distribuição de energia nas cidades, com as limitações de geração de energia, como a hidrelétrica por escassez hídrica. O bom gerenciamento de energia é fundamental para evitar apagões e racionamentos. Com o uso de medidores inteligentes (*smart meters*) é possível criar uma rede inteligente para otimizar o fornecimento de energia (SADEEQ; ZEEBAREE, 2021).

No contexto da automação residencial, nas casas inteligentes é esperada uma economia de tempo com a automatização de tarefas cotidianas, podendo controlar, via aplicativo de celular, alarmes, câmeras, ar-condicionado e iluminação (CAMACHO-GUERRERO; MACEDO, 2013). O jogo proposto nessa pesquisa, Desafio IoT, atua neste contexto.

2.1.1 Casas Inteligentes

Casas inteligentes são residências equipadas com sensores conectados, rede de comunicações, aparelhos domésticos e dispositivos monitorados, acessados ou controlados remotamente, fornecendo serviços de acordo com a necessidade dos moradores (BALTA-OZKAN *et al.*, 2014). Essas casas possuem iluminação, aquecimento, sistema de ar-condicionado, TVs, computadores, lavadoras, refrigeradores e sistema de segurança capazes de comunicar entre si (ISMAIL, 2019).

Mckinsey (2019) apontou as aplicações/dispositivos desenvolvidos para casas inteligentes com maior presença no mercado, utilizando uma classificação com cinco principais segmentos, a saber:

- Segurança e proteção – Sensores de segurança e proteção asseguram o interior e os arredores da casa, fornecendo monitoramento para prevenção de riscos potenciais, tais como alagamento e incêndio. Aplicações: detector de fumaça, monitoramento por vídeo, fechadura conectada e detector de vazamento;
- Gestão dos serviços de utilidade pública – O sistema de monitoramento em uma casa inteligente é usado para otimizar o consumo de energia, gás e água. Aplicações: termostato conectado, iluminação conectada, medidor de energia inteligente e irrigadores conectados;

- Monitoramento de bem-estar – Acessórios que fornecem detalhes sobre a saúde do usuário e podem monitorar condições crônicas. Aplicações: dados vitais em tempo real, balança conectada, acompanhamento de atividades de crianças e idosos e organizador de remédios conectado;
- Eletrodomésticos inteligentes – Equipamentos conectados como: máquina de lavar, fogão/forno, geladeira e aspirador/limpeza;
- Entretenimento inteligente – Reprodução de vídeo e música inteligente sintonizados com os gostos individuais. Aplicações: música multi ambientes, reprodução de música e vídeo sem pausa e sala de *home theater* inteligente.

As aplicações de casas inteligentes do jogo Desafio IoT (detalhadas na seção 3.3) se enquadram nos segmentos de eletrodomésticos inteligentes e gestão de serviços de utilidade pública.

Os benefícios na adoção de casas inteligentes podem ser divididos em quatro grupos (MARIKYAN *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2021):

- Saúde – Os principais benefícios relacionados à saúde são: segurança do usuário, acessibilidade e disponibilidade de cuidados, bem-estar do envelhecimento e pessoas vulneráveis, conectividade social e comunicação;
- Ambiental – A adoção de casas inteligentes pode reduzir os impactos ambientais por meio de, por exemplo, redução do uso de energia, *feedback* sobre consumo e sustentabilidade ambiental;
- Financeiro – Os benefícios financeiros são: melhores custos em consultas virtuais, acessibilidade aos cuidados de saúde e consumo sustentável;
- Psicológico – Entre os benefícios psicológicos destacam-se: bem-estar e conforto, entretenimento e inclusão social.

Sovacool (2020) propõe uma escala que classifica casas inteligentes pelo nível de inteligência, partindo do nível 0 (básico) até o nível 6 (agregação), conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Níveis de inteligência das casas inteligentes. Fonte: Adaptado de Sovacool (2020).

O nível de inteligência da casa inteligente abordada no jogo Desafio IoT está no nível 3, ou seja, é uma casa automatizada na qual eventos podem ser agendados. O nível 3 de inteligência indica que a casa possui uma automação que a permite se interconectar e antecipar determinadas necessidades dos usuários. Adicionalmente, o conjunto de dispositivos pode ser configurado para atender as preferências em vários equipamentos, por exemplo, utilizar temperaturas distintas em diferentes cômodos (SOVACCOOL, 2020).

Além do contexto em casas inteligentes, apresentado nesta subseção, a característica principal de um dispositivo IoT parte da premissa que seja um objeto conectado por uma rede, normalmente sem fio, com sensores realizando algum tipo de processamento, visando trazer benefícios às vidas das pessoas, sendo na saúde, produtividade, lazer, segurança e comodidade.

2.1.2 Rede de Conectividade

Em uma aplicação IoT, os dados gerados por sensores são transmitidos para um servidor onde serão armazenados e analisados em conjunto com outras variáveis do sistema. De acordo com a RFC7452 (TSCHOFENIG *et al.*, 2015), a comunicação

IoT pode seguir o padrão *Device-to-Device*, *Device-to-Cloud*, *Device-to-Gateway* ou *Back-End Data Sharing*. O tipo de comunicação *Device-to-Device* é realizado entre dois dispositivos que podem ser de fabricantes diferentes. A Figura 4(a) mostra o exemplo de uma lâmpada inteligente controlada por um interruptor inteligente via *Bluetooth*. A comunicação entre uma pulseira inteligente com o *smartphone* via *bluetooth* também é uma aplicação que segue o padrão *Device-to-Device*.

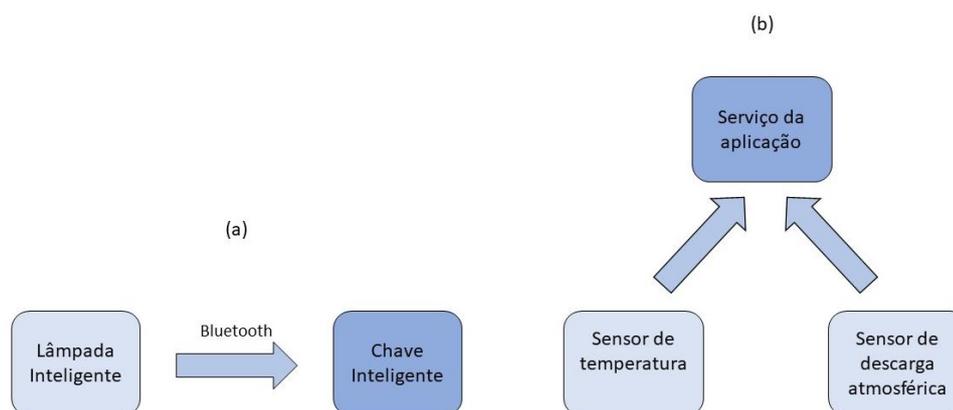


Figura 4: (a) Padrão *Device-to-Device*. (b) Padrão *Device-to-Cloud*. Fonte: Baseado em Tschofenig et al. (2015).

O outro padrão apresentado na RFC7452 é *Device-to-Cloud*, em que o dispositivo IoT se conecta diretamente ao serviço de aplicação em nuvem (Figura 4 b). A interoperabilidade entre dispositivos de fabricantes diferentes é dada pelo protocolo de aplicação, ou seja, basta que o dispositivo possua o protocolo de acesso aceito, que conseguirá trocar dados com o servidor em nuvem.

O outro modelo disponível na RFC7452 é *Device-to-Gateway*, em que os dispositivos precisam se comunicar, primeiramente, com o *gateway*, para acessar o serviço da aplicação. Nesse modelo, a rede de dispositivos pode usar tecnologia de comunicação *low energy* e manter a coleta de informação mesmo sem Internet disponível. A Figura 5 (a) apresenta o modelo *Device-to-Gateway*.

Por último, o modelo *Back-End Data Sharing* tem o objetivo de obter, por meio da coleta de dados, informações úteis para o sistema. Dentro desse modelo há a possibilidade de relacionar os dados de diversas aplicações. O esquema do modelo é apresentado na Figura 5 (b).

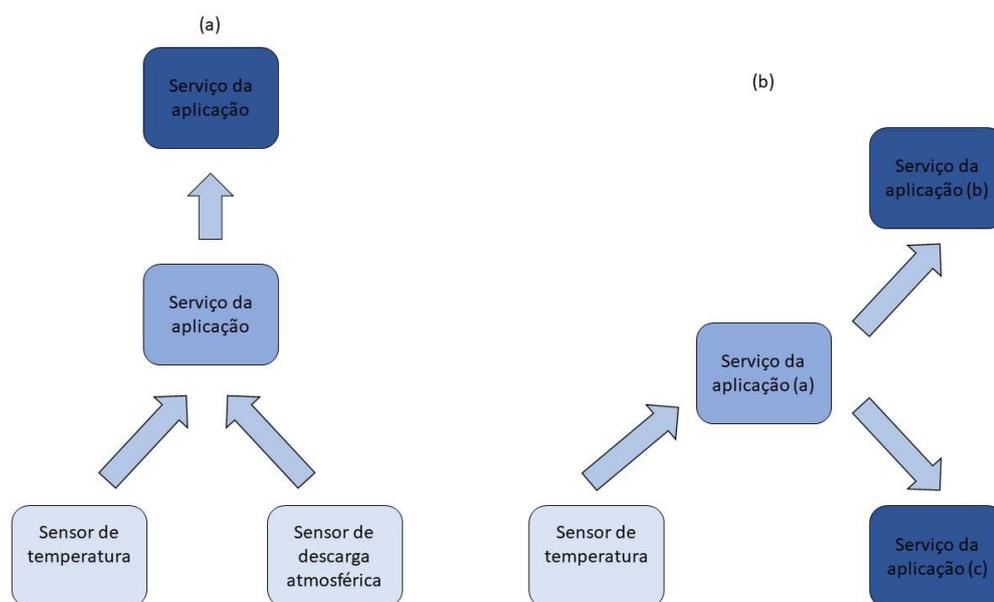


Figura 5: (a) Padrão *Device-to-gateway*. (b) Padrão *Back-End Data Sharing*. Fonte: Baseado em Tschofenig *et al.* (2015).

Dentro do modelo *Device-to-Gateway*, a comunicação entre dispositivos é chamada de tecnologia de comunicação física. A maioria das tecnologias utilizadas na camada física em aplicações IoT é sem fio, por questões de flexibilidade e alcance (LEITE *et al.*, 2017). Para caracterizar a tecnologia de rede sem fio pode ser levada em consideração a frequência de transmissão, o alcance, a taxa de transmissão e o consumo de energia. Se o dispositivo IoT possui energia limitada, por exemplo, e é alimentado por bateria, deve ser escolhida uma tecnologia de rede com baixo consumo de energia.

A Tabela 1 apresenta resumidamente as características de redes sem fio utilizadas em IoT. As redes IoT podem ser classificadas em longo e curto alcance. Observando a Tabela 1, *Bluetooth*, Wi-Fi e Zigbee são arquiteturas de curta distância e LTE 4G, Nb-IoT (*Narrowband-IoT*), Wi-SUN, LoRa e Sigfox, de longa distância. As redes de longa distância e baixo consumo de energia são chamadas de *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), por exemplo, Nb-IoT, LoRa, Wi-SUN e Sigfox. As redes LPWAN podem ser utilizadas em aplicações IoT em que os dispositivos são alimentados por bateria.

Tabela 1: Padrões de redes mais usados em IoT. Fonte: Baseado em Harada (2017), Popli et al. (2019), Wi-Sun, (2019).

Tecnologia	Frequência de operação	Alcance	Taxa de transmissão	Consumo de energia
Wi-fi	2.4/5GHz	100m	600Mbps	Alto
Bluetooth	2.4GHz	50m	2Mbps	Médio
4G LTE	1900/2100/2500MHz	Área de cobertura do celular	0.1-1Gbps	Médio
Nb-IoT	700/800/900MHz	15km	200kbps	Baixo
LoRa	868/915MHz	15km	50kbps	Baixo
SigFox	915-928MHz	50km	100bps	Baixo
ZigBee	868/915MHz e 2.4GHz	1km	250kbps	Baixo
Wi-SUN	800-900MHz	5km (área aberta)	Acima 300Kbps	Baixo

Dentro do modelo *Device-to-Gateway* e *Device-to-Cloud*, a comunicação entre dispositivos e *gateway* é chamada de tecnologia de camada de aplicação, ou seja, é a forma como os dados são enviados para aplicação em nuvem. Um protocolo de camada de aplicação em IoT que pode ser utilizado é o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport Protocol*). Desenvolvido pela IBM e pela Eurotech, o MQTT é baseado na arquitetura *publish/subscribe*. Trata-se de um protocolo leve, simples e fácil de ser implementado, sendo as características ideais para usar em dispositivos IoT (STANDARD, 2014).

A Figura 6 apresenta três clientes conectados a um *broker*, no qual o celular e o sistema de monitoramento realizam um *subscribe* no tópico “temperatura”, ou seja, avisa para o *broker* que deseja receber o conteúdo de publicações realizadas nesse tópico. O outro cliente é um dispositivo de medição inteligente de temperatura, e de forma periódica publica no *broker*.



Figura 6: Comunicação MQTT. Fonte: Mqtt (2021).

O protocolo MQTT, como muitos outros protocolos baseados no TCP (*Transmission Control Protocol*), usa o SSL (*Secure Sockets Layer*) ou TLS (*Transport Layer Security*) para segurança. Quando uma mensagem CONNECT é enviada para o *broker*, um nome de usuário e senha podem ser usados para autenticação. Porém, as credenciais de nome de usuário e senha são transmitidas sem criptografia, causando um dos problemas de segurança do protocolo (MAZZER *et al.*, 2015).

No jogo Desafio IoT, o padrão de comunicação é *Device-to-Cloud* com camada física de rede *bluetooth* e *wi-fi*, enviando os dados dos sensores e monitoramento com o uso do MQTT na camada de aplicação, no contexto de casas inteligentes.

Independente do padrão de conexão IoT utilizado, o componente inteligente do projeto é o microcontrolador, que, por si só, não é um dispositivo IoT, passando a fazer parte de uma solução IoT quando seu *software* embarcado é programado para se conectar à rede via algum protocolo de comunicação, os quais foram abordados nesta seção.

2.1.3 Microcontroladores

A revisão da literatura conduzida por Madakam *et al.* (2015) mostrou que os três principais componentes de Internet das Coisas são: *hardware*, composto por sensores, atuadores e comunicação; *middleware*, sendo o responsável pelo armazenamento e análise dos dados; e a apresentação, em que são criadas ferramentas de visualização e interpretação das aplicações. O desenvolvedor de *software* embarcado atua especificamente na programação do componente de *hardware*, como microcontroladores.

O microcontrolador possui uma unidade de processamento, memória e periféricos (PEREIRA, 2007) e controla, por exemplo, eletrodomésticos como geladeira, micro-ondas, ar-condicionado e máquina de lavar. O microcontrolador é chamado também de SoC (*System on Chip*), pois todo seu sistema está em um único *chip*. A CPU (*Central Processing Unit*) é o cérebro do microcontrolador, sendo responsável pela Unidade Lógica Aritmética (ALU – *Arithmetic Logic Unit*) e uma Unidade de Controle (UC – *Control Unit*). A CPU realiza leituras, decodificações e executa instruções para realizar operações aritméticas, lógicas e de transferência de dados (ELECTRONICS HUB, 2017).

A arquitetura utilizada para acessar as memórias nos microcontroladores pela CPU pode ser do tipo *Harvard* ou *Von Neumann*. A arquitetura *Von Neumann* se caracteriza pela utilização de uma memória para armazenar os dados e a execução do programa, portanto, a CPU utiliza o mesmo barramento. Já na arquitetura *Harvard*, as memórias são separadas, tendo dois barramentos para acesso, sendo um para as instruções do programa e o outro para dados. Uma evolução da arquitetura *Harvard* é a *Harvard* modificada, em que a CPU e as memórias de dados e de instruções compartilham o mesmo espaço de endereçamento, porém possuindo conexões separadas fisicamente (GU, 2016). Nos microcontroladores modernos são predominantes a arquitetura *Harvard* e a *Harvard* modificada (OLIVEIRA; SHIN-TING, 2019). A arquitetura de instruções da CPU pode ser RISC ou CISC. A arquitetura RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) é baseada na regularidade do comprimento e no formato das instruções; e a CISC (*Complex Instruction Set Computer*) utiliza instruções irregulares (GU, 2016). A arquitetura RISC tem alta eficiência energética, sendo uma vantagem em dispositivos IoT (VENKATESAN *et al.*, 2019).

A principal diferença entre microcontrolador e microprocessador é que um microprocessador precisa que a CPU faça interface com uma memória externa e com entradas e saídas para funcionar como computador. Já o microcontrolador tem todos os componentes necessários em um mesmo *chip* junto com a CPU (ELECTRONICS HUB, 2017).

Microcontroladores voltados para aplicações IoT possuem transmissores RF embutidos, sendo necessário incluir externamente a antena e um circuito de casamento de impedâncias, facilitando o desenvolvimento tanto de *hardware* quanto de *software*. No mercado atual existem inúmeros tipos de microcontroladores com os mais variados preços. Para caracterização do microcontrolador, pode-se destacar os seguintes itens (OLIVEIRA; SHIN-TING, 2019):

- Capacidade de memória: podem possuir RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read-only Memory*), EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-only Memory*) e Flash;
- Tipo de arquitetura de memória: distinguem-se entre arquitetura Von Neumann e a arquitetura Harvard;
- Arquitetura de instrução: pode ser CISC ou RISC;

- Quantidade de *bits*: é a quantidade de *bits* disponíveis para realizar as operações lógico-aritméticas, sendo que 8-*bits*, 16-*bits* e 32-*bits* são os mais conhecidos. A quantidade de *bits* é diretamente proporcional à precisão dos cálculos numéricos;
- Periféricos: quantidade de pinos disponíveis e interfaces de comunicação.

As arquiteturas da família ARM (*Advanced RISC Machine*) Cortex-M são conhecidas em microcontroladores, compostas por núcleos de processador RISC de 32-*bits*, no qual a variação do “-M” é a evolução dos modelos. A pesquisa IoT Developer Survey 2020 (IOT SURVEYS, 2020), realizada pela Eclipse Foundation com 1717 desenvolvedores na área de IoT, concluiu que as três arquiteturas de CPU mais utilizadas na área de IoT são baseadas em ARM com microcontroladores de 8-*bits*, 16-*bits* e 32-*bits*, sendo: 21% ARM Cortex-M0, 27% ARM Cortex-M3 e 19% ARM Cortex-M7.

A placa apresentada na Figura 7 é um *kit* de desenvolvimento que utiliza o microcontrolador ESP32, modelo ESP-WROOM-32. Esse modelo possui as memórias de 520KB de SRAM (*Static Random Access Memory*) para instruções e dados (ESPRESSIF SYSTEMS, 2022). O ESP32 é produzido pela Espressif Systems e já integra os módulos *wi-fi*, *bluetooth* clássico e *bluetooth low energy* (BLE) ao seu *chip*. Pode ser programado usando a IDE do Arduino (C/C++) ou Visual Studio Code, por meio da extensão ESP-IDF. O fabricante disponibiliza exemplos com protocolos de comunicação, acelerando o desenvolvimento de aplicações IoT. Seu *hardware* é composto por 34 pinos GPIOs, que podem ser configurados como entrada/saída digital ou analógica, sendo o microcontrolador utilizado no jogo Desafio IoT.

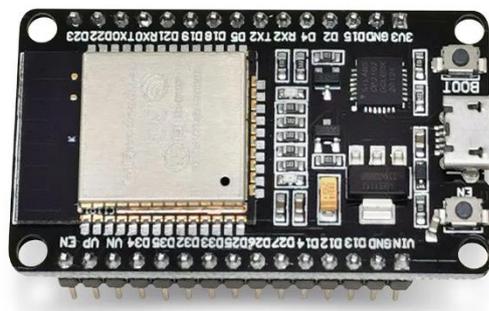


Figura 7: ESP-WROOM-32. Fonte: Esp32-wroom-32 (2022).

2.1.4 Programação

Comumente, microcontroladores disponíveis no mercado podem ser programados na linguagem C. Entre todas as linguagens de programação existentes, C se tornou a linguagem de programadores embarcados (BARR, 1999). De acordo com Changyi (2016), existem várias camadas de *software* acima do *hardware*, mas abaixo dos aplicativos da solução com sistemas embarcados. Essas camadas de *software* de baixo nível, como o *driver* de dispositivo e o sistema operacional, formam a base para o projeto. O *software* embarcado é executado em um nível muito próximo ao do *hardware* e tem que lidar com muitas restrições primitivas que não são percebidas por aplicativos de alto nível. A relação entre as camadas pode ser visualizada na Figura 8.

A linguagem *Assembly* é a que mais se aproxima da linguagem do *hardware*, podendo ser a mais eficiente, de forma que a cada sequência de instruções *Assembly*, resulta em um uso eficiente do espaço e dos ciclos da máquina. Infelizmente, a linguagem *Assembly* comumente confunde as complexidades do sistema com as restrições e peculiaridades de seu conjunto de instruções, estendendo, assim, a quantidade de tempo necessária para projetar e desenvolver o *firmware* (MOSS, 2001).

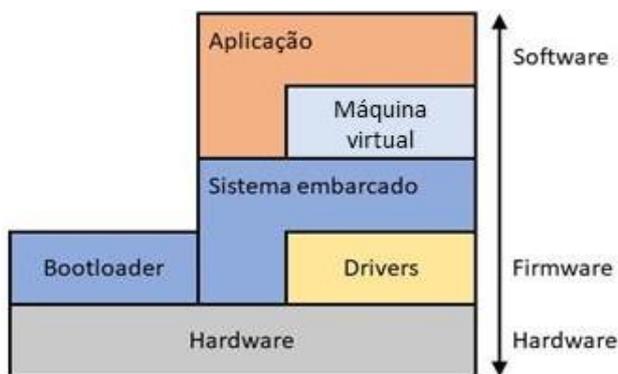


Figura 8: Relação *software*, *firmware* e *hardware*. Fonte: Baseado em Gu (2016).

Independente da linguagem utilizada, o arquivo que é gravado e interpretado pelo microcontrolador é binário. O compilador, o *assembly*, o *linker* e o *debugger* são executados no computador em que é gerada a imagem executável que será gravada no sistema embarcado (BARR, 1999). Como visto anteriormente, o próprio fabricante

já disponibiliza o *software* para desenvolvimento, teste e gravação do microcontrolador. Após a gravação, a memória é dividida em vários espaços, sendo cada um deles chamado de segmento. Cada segmento é uma região de memória que tem uma tarefa definida e um tipo de dado específico (AMINI, 2019). A Figura 9 apresenta os segmentos no *layout* da memória em processo de execução.

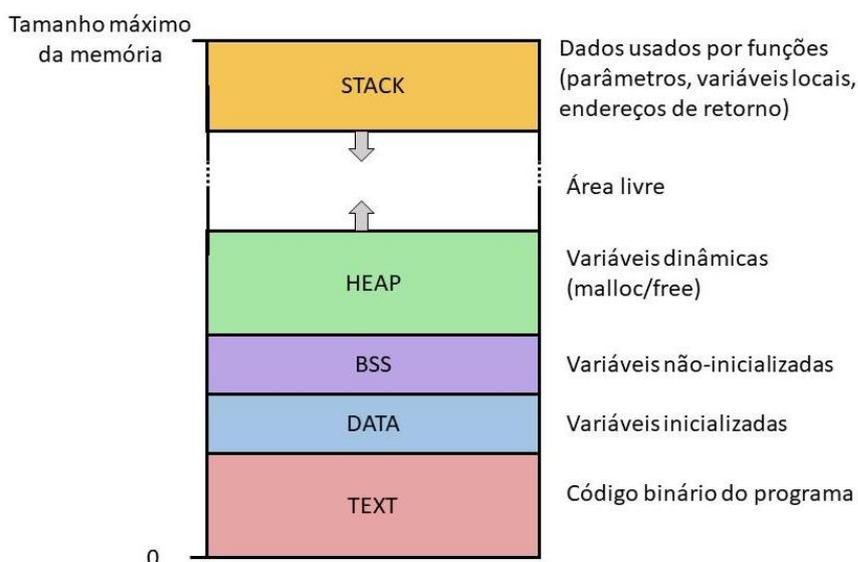


Figura 9: Segmentos da memória do programa. Fonte: Maziero (2021).

Entre as características necessárias no programa, como o microcontrolador interfere diretamente com o ambiente real, é importante que seu sistema operacional seja *real time*. O sistema operacional deve ser o mais próximo possível do RTOS (*Real-Time Operating System*), pois, em sistemas IoT, as mensagens da rede de comunicação não podem sofrer atrasos relevantes. FreeRTOS, Contiki e TinyOS são exemplos de sistemas operacionais utilizados em microcontroladores IoT.

FreeRTOS é um sistema operacional em tempo real para microcontroladores e microprocessadores, distribuído gratuitamente sob a licença aberta do MIT. O FreeRTOS foi desenvolvido por Richard Barry em 2003, e possui um *kernel* composto por bibliotecas IoT adequadas para uso em todos os setores da indústria. Ele é escrito principalmente na linguagem C para facilitar a portabilidade, com algumas funções em *assembly* (Freertos, 2022).

As principais estruturas da linguagem C, como estruturas de controle e repetição, variáveis, atribuições e comparações são muito utilizadas no

desenvolvimento de *software* embarcado (SCHILDT, 1997). Além do conhecimento da linguagem em si, o programador deve ter boas práticas de programação e organização do código desenvolvido para facilitar o entendimento para outras pessoas.

No que tange ao desenvolvimento de *software* embarcado é uma prática separar o código em *drivers*, seja uma aplicação com dois sensores, de energia e luminosidade, podendo ser desenvolvido um *driver* para cada sensor. Os locais que consomem os recursos desses sensores poderão apenas utilizar as funções de configuração e leitura disponíveis pelo *driver*, por exemplo, deixando o código mais limpo. Ao separar em blocos, como *drivers*, o sistema se torna mais fácil de ser testado e de encontrar a fonte de algum problema de funcionamento. No jogo Desafio IoT, os recursos utilizados no *software* embarcado são tratados como *drivers*.

2.2 Jogos Sérios

Na literatura, variados autores buscam definir o conceito de jogos. Huizinga (2012) afirma que jogos são atividades praticadas por humanos e animais para se divertirem e melhorarem suas habilidades. O jogo é uma atividade voluntária e livre, e não uma tarefa.

Quando os jogos trazem aprendizado de um assunto específico, desenvolvem habilidades ou reforçam conceitos já aprendidos pelo jogador, são chamados de jogos educacionais. Os jogos educacionais são utilizados como apoio didático, tendo como objetivo a aprendizagem (MORRISON; PRESTON, 2009). Para Uzunca e Jansen (2016), os jogos educacionais proporcionam o aprendizado em uma realidade virtual, possibilitando simular ambientes complexos e situações perigosas, proporcionando, assim, uma experiência ao jogador. Os jogos chamam a atenção dos jogadores, que são imersos em um mundo envolvente e desafiador, sendo, assim, mais atrativos que os métodos tradicionais da educação.

A revisão da literatura conduzida por Feichas *et al.* (2021) mostrou que o uso de jogos na aprendizagem trouxe um impacto positivo em 22 de 28 publicações analisadas no período compreendido entre os anos de 2015 e 2020. Os principais

benefícios observados nesses trabalhos foram engajamento e motivação por parte dos discentes participantes das pesquisas.

Em um mundo conectado, a tendência é que cada vez mais a abordagem educacional seja baseada em jogos digitais. Entre os tipos de jogos educacionais, o jogo desenvolvido nesta dissertação é caracterizado como um jogo sério, voltado para o treinamento e melhoria de habilidades, podendo ter origem fora do meio acadêmico. A relação entre jogos educacionais e jogos sérios é apresentada na Figura 10.

O conceito de jogos sérios (SG – *Serious Games*), ou jogos de propósito, foi utilizado pela primeira vez em 1987, em um livro por Abt (1987), no qual definiu-se que eles podem ser usados no ensino e treinamento em qualquer idade. Durante o jogo, os jogadores assumem personagens, resolvem problemas e são guiados pela motivação e diversão do jogo. A criação de um cenário para experimentação dentro do jogo traz vivência e construção de conhecimento. Jogos sérios podem prover reabilitação, treinamento, simulação e aprendizagem (WILKINSON, 2016).

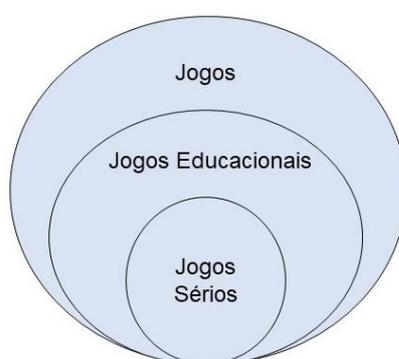


Figura 10: Relação entre jogos, jogos educacionais e jogos sérios. Fonte: O autor.

O mercado de jogos sérios foi avaliado pela Allied Market Research (2022) em 5.94 bilhões de dólares em 2020, com projeção de chegar ao ano de 2030 a mais de 32 bilhões de dólares. É um mercado em crescimento e as empresas estão buscando jogos sérios para capacitarem seus funcionários.

Os jogos sérios são como um jogo digital, com três componentes essenciais, mostrados na Figura 11 (LAAMARTI *et al.*, 2014):

- **Entretenimento:** é a dimensão que diferencia os jogos de simulações digitais. Um jogo proporciona engajamento e diversão ao jogador;

- **Multimídia:** é a interface com a qual o jogador irá interagir. Recorre simultaneamente a dois ou mais meios de comunicação, como texto, som, imagens e animações;
- **Experiência:** é a vivência de aprendizado que o jogo proporciona ao jogador e é o que difere uma atividade com abordagem educativa de um jogo eletrônico casual.

A base de construção de conhecimento vem do processo de execuções, descobertas, erros e acertos. Dentro do contexto do jogo, com simulações de tarefas, é possível que o jogador seja responsável pela própria aquisição de habilidades (BARROS, 2020).

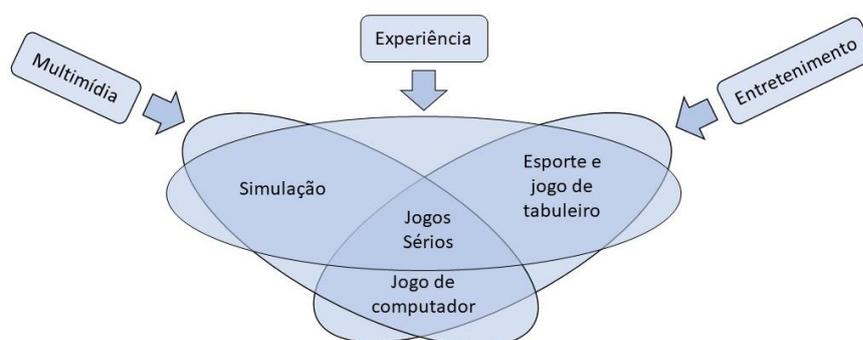


Figura 11: Composição dos jogos sérios. Adaptado de Laamarti et al. (2014).

Os jogos podem ser classificados com base nas mecânicas empregadas e em sua jogabilidade, nas seguintes categorias (SATO; CARDOSO, 2014):

- **RPG (*Role Playing Game*):** Jogos que têm como foco a evolução do personagem. Combinam mecânicas de outros gêneros, incluindo coleta de itens, solução de enigmas e reação rápida aos desafios;
- **Ação:** Jogos em que os desafios normalmente envolvem a agilidade e a destreza do jogador e demandam respostas rápidas para a superação dos obstáculos. Estratégia, liberdade de escolha e flexibilidade na narrativa são, geralmente, ausentes ou de menor relevância em jogos desse gênero;
- **Aventura:** Jogos que utilizam exploração do universo do jogo, coleta e seleção de itens e solução de enigmas como desafios para o jogador. Normalmente, há certa liberdade de escolha e não demandam rapidez e habilidade motora;

- **Estratégia:** Jogos que se caracterizam pela análise e reflexão para encontrar táticas que aproximem o jogador de um objetivo final. As decisões em jogos de estratégia podem ser tomadas em turnos ou em tempo real;
- **Emulador:** Jogos que adaptam aspectos semelhantes à realidade, mas simplificam as variáveis e situações. Normalmente têm narrativas flexíveis sem caminho definido;
- **Simulador:** Jogos que tentam reproduzir quase todas as características, reações e variáveis encontradas na situação real. Normalmente possuem finalidade voltada ao treinamento e aprendizado;
- **Quebra-cabeça/*Puzzle*:** Jogos que têm como característica a solução de problemas e enigmas pela observação e raciocínio. Em geral, são compostos por uma sequência de desafios com dificuldade progressiva.

Vale ressaltar que existem jogos que combinam as características de mais de uma das categorias listadas, com mecânicas e jogabilidades variadas. O jogo desenvolvido neste trabalho é do gênero *puzzle*. Os desafios são de dificuldade crescente, com objetivos claros para o jogador, possuindo limite de tempo, e são resolvidos por meio de quebra cabeças envolvendo inventário de itens, combinação de ferramentas e trechos de programação.

2.3 Trabalhos Correlatos

Desde o surgimento do termo *serious games*, seu escopo e disponibilidade vêm se expandindo, e muitos jogos têm sido criados pelo mundo.

Com o objetivo de apresentar os desafios e oportunidades em ensinar sistemas IoT usando jogos, Souza e Werner (2021) conduziram uma revisão estruturada da literatura que identificou estudos empíricos relacionando ensino, jogos e sistemas IoT, publicados entre 2015 e 2020. Entre os trabalhos selecionados na revisão, os que possuem mais afinidade com ensino em aplicações IoT são listados a seguir:

- Mavroudi *et al.* (2018): O trabalho apresenta um padrão de desenvolvimento de aprendizado para GBL (*Game-Based Learning*) em IoT, que, ao ser aplicado, permite identificar e mapear as competências dos estudantes

fazendo uso de modelos já validados. Além disso, utiliza, como exemplo de aplicação do padrão proposto, um jogo de cartas para aprendizado de IoT;

- Nima *et al.* (2018): Os autores desenvolveram um jogo sério em 2D para apresentar conceitos de IoT em cidades inteligentes, como compartilhamento de informação, mobilidade, segurança, rede de dispositivos, interoperabilidade e conectividade. O jogador aprende sobre como escolher a tecnologia que será utilizada no mundo real. O jogo foi utilizado por 19 estudantes do curso de ciência da computação e, após a experimentação, avaliaram o jogo com uso de um formulário. Dos cinco critérios investigados (*design*, usabilidade, complexidade, flexibilidade e alcance dos objetivos do ensino), a flexibilidade teve resultado inferior a 40% e os demais critérios ficaram acima de 70%. O jogo foi desenvolvido usando a *engine* Phaser¹;
- Oliveri *et al.* (2019): O jogo, em ambiente 3D, apresentado no trabalho busca trazer conhecimento de IoT em Indústria 4.0, com escolha superficial de componentes e soluções. Foi desenvolvido utilizando a *engine* de jogo Unity. A avaliação do jogo foi realizada com número reduzido de jogadores (quatro participantes), portanto, os autores afirmam que o experimento não trouxe resultados conclusivos sobre o desempenho da ferramenta;
- Chochiang *et al.* (2019): Os autores apresentam uma plataforma para ensino IoT, chamada ArViz, compatível com a programação do Arduino. A programação é baseada em blocos, portanto, não é necessário que o jogador tenha experiência com as linguagens C/C++. Foi testada com 28 estudantes do ensino médio, com uso de questionários de pré e pós-teste. A ferramenta apresentou melhoria nos conhecimentos em IoT de 95% dos participantes e a satisfação geral com o ArViz foi de 80%;
- Zarte e Pechmann (2017): Os autores discutem aspectos do uso de simuladores para ensinar Indústria 4.0, tendo como público-alvo estudantes que não são da área de tecnologia da informação. Adicionalmente, foi proposto um método para modificar os simuladores existentes para abranger o ensino de Indústria 4.0.

¹ Phaser: <https://phaser.io/>

Além dos trabalhos citados, Dolinay *et al.* (2011) apresentaram um conjunto de componentes para ensino de programação de sistemas embarcados, uma bancada, composto por microcontrolador, painel de *software* e módulos I/O, sendo possível aos estudantes produzirem aplicações em tempo real. A principal vantagem do uso do *kit* é o *hardware* unificado válido para muitos problemas, que facilita ao estudante a familiarização da interface e ao professor que não precisa montar e desmontar os dispositivos a cada lição.

González *et al.* (2012) propuseram a programação de sistemas embarcados de vídeo games como motivação para melhoria do aprendizado. O curso de sistemas embarcados foi ministrado utilizando consoles de vídeo game portáteis e ferramentas *open-sources*. Os resultados obtidos retrataram boa aceitação dos estudantes em relação ao método de ensino, além de melhorias nas notas dos participantes.

O trabalho de Cristóvão (2017) apresentou um protótipo de jogo sério em cidades inteligentes com cenário 3D, desenvolvido com Unity. O jogo apresenta a construção e gestão de uma cidade inteligente, e o jogador realiza as decisões para tornar a cidade mais sustentável. A análise do desempenho do jogo foi feita por meio de questionário e o teste foi conduzido com nove voluntários desconhecidos, apresentando como resultado desempenho positivo no aprendizado da maioria dos jogadores. O jogo também foi testado em dois eventos com crianças, porém sem aplicação de questionário.

Não foi encontrada qualquer ferramenta para estudo no que se refere ao desenvolvimento de *software* embarcado em linguagem C aberta, no contexto de casas inteligentes, sendo, portanto, um tema pouco explorado. O jogo Desafio IoT busca estimular pessoas a adentrarem na área e proporcionar alguma experiência em desenvolvimento de soluções IoT, sendo, desta forma, inédito.

A Tabela 2 sintetiza as diferenças entre o jogo proposto nesta dissertação, Desafio IoT, e os trabalhos correlatos em IoT apresentados.

Tabela 2: Comparação dos trabalhos correlatos e Desafio IoT. Fonte: O autor.

Pesquisa	Contexto em IoT	Programação/Lógica	Método	Avaliado
Mavroudi <i>et al.</i> (2018)	Quaisquer contextos	Não se aplica	Padrão de desenvolvimento para GBL	Não
Nima <i>et al.</i> (2018)	Cidades inteligentes	Escolha de componentes e tecnologias	Jogo sério 2D	Sim
Oliveri <i>et al.</i> (2019)	Indústria 4.0	Escolha de componentes e tecnologias	Jogo 2D	Sim, mas sem resultados conclusivos
Chochiang <i>et al.</i> (2019)	Quaisquer contextos	Programação em módulos, baseada em blocos	Plataforma	Sim
Zarte e Pechmann (2017)	Indústria 4.0	Aspectos de simulação e visualização	Simulador	Não
Cristóvão (2017)	Cidades inteligentes	Baseado em construção com blocos	Jogo sério 3D	Sim
Desafio IoT	Casas inteligentes	Linguagem C	Jogo sério 2D	Sim

2.4 Conclusão do Capítulo

Este capítulo apresentou uma revisão sobre os temas relevantes para o entendimento e desenvolvimento desta pesquisa, incluindo aplicações IoT e seus componentes, jogos sérios e trabalhos correlatos à proposta do estudo. As ferramentas e componentes IoT que foram explicadas na revisão incluem conteúdos essenciais do jogo Desafio IoT, tais como conectividade *wi-fi* e *bluetooth*/BLE, microcontrolador ESP32 e programação em linguagem C (com uso do FreeRTOS).

Capítulo 3

DESENVOLVIMENTO DO JOGO

Este capítulo apresenta o jogo Desafio IoT, precedido pelas ferramentas e padrões que orientaram seu desenvolvimento. O jogo foi desenvolvido com a *engine* Unity na linguagem C#. O modelo LM-GM (*Learning Mechanics–Game Mechanics*), que será detalhado neste capítulo, foi aplicado no desenvolvimento do jogo e o conteúdo utilizado seguiu as tecnologias e ferramentas mais exploradas pelos profissionais do mercado brasileiro nos anos de 2019 e 2021, de acordo com a pesquisa realizada pelo *site* Embarcados².

3.1 Tecnologias Utilizadas

O jogo foi desenvolvido utilizando o Unity³, na versão Unity 2019.4, que é uma *game engine* criada em 2005, tendo sido usada no desenvolvimento de vários jogos famosos, tais como Pokémon GO, Hearthstone e Among Us. A linguagem de programação utilizada foi C#, sendo a principal no Unity.

O estilo de arte do jogo é em *pixel art*, no qual as imagens são criadas e editadas com base em *pixels*. As referências das imagens utilizadas e a base dos cenários podem ser encontradas no *Game Design Document* (GDD), disponível no GitHub do jogo: <https://github.com/Cleidiana/gamePuzzle>.

Os efeitos sonoros utilizados são de livre acesso, estando disponíveis no *site* Open Game Art⁴.

² Portal Embarcados: <https://embarcados.com.br/>

³ Unity: <https://unity.com/pt>

⁴ Open Game Art: <https://opengameart.org/>

3.2 Aspectos da Implementação

Arnab *et al.* (2015) propuseram o modelo LM-GM (*Learning Mechanics–Game Mechanics*), que suporta análise e desenvolvimento de jogos sérios com base na reflexão sobre vários elementos de jogo e aprendizado. Os autores utilizaram listas não exaustivas contendo 40 mecânicas de aprendizado e 38 mecânicas de jogo, que podem ser incluídas nos jogos sérios para educação e combinadas de forma a otimizar o aprendizado e o engajamento dos jogadores.

A Figura 12 ilustra a relação entre a jogabilidade e o aprendizado que formam os jogos sérios. Além da identificação das mecânicas, a aplicação do modelo inclui a descrição da implementação, o relacionamento entre as mecânicas e a elaboração de um mapa sobre elas.

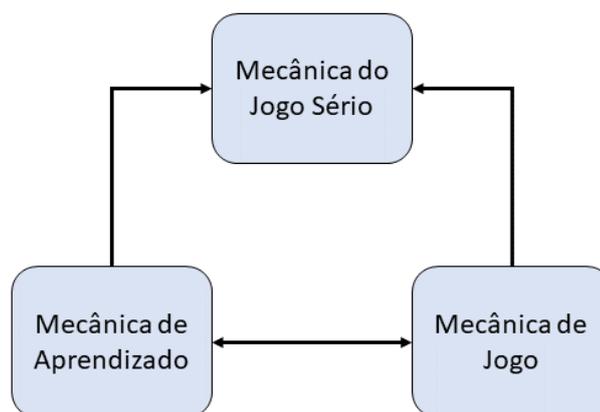


Figura 12: Relação proposta LM-GM. Fonte: Baseado em Lim *et al.* (2013).

O modelo LM-GM foi utilizado na elaboração do Desafio IoT e permite apontar os aspectos educacionais e de entretenimento contidos no jogo e suas relações. O mapa apresentado na Figura 13 mostra as etapas do jogo e aponta as mecânicas presentes em cada uma delas. Com a aplicação da análise, identificou-se oito mecânicas de jogo, representadas por números, e oito mecânicas de aprendizado, representadas por letras.

Dentre as mecânicas de jogo listadas pelo modelo LM-GM, aquelas que foram utilizadas no jogo proposto estão na Tabela 3. A segunda coluna contém as descrições

de como foram aplicadas. Da mesma forma, a Tabela 4 lista as mecânicas de aprendizado exploradas e a descrição de como elas são trabalhadas no jogo.

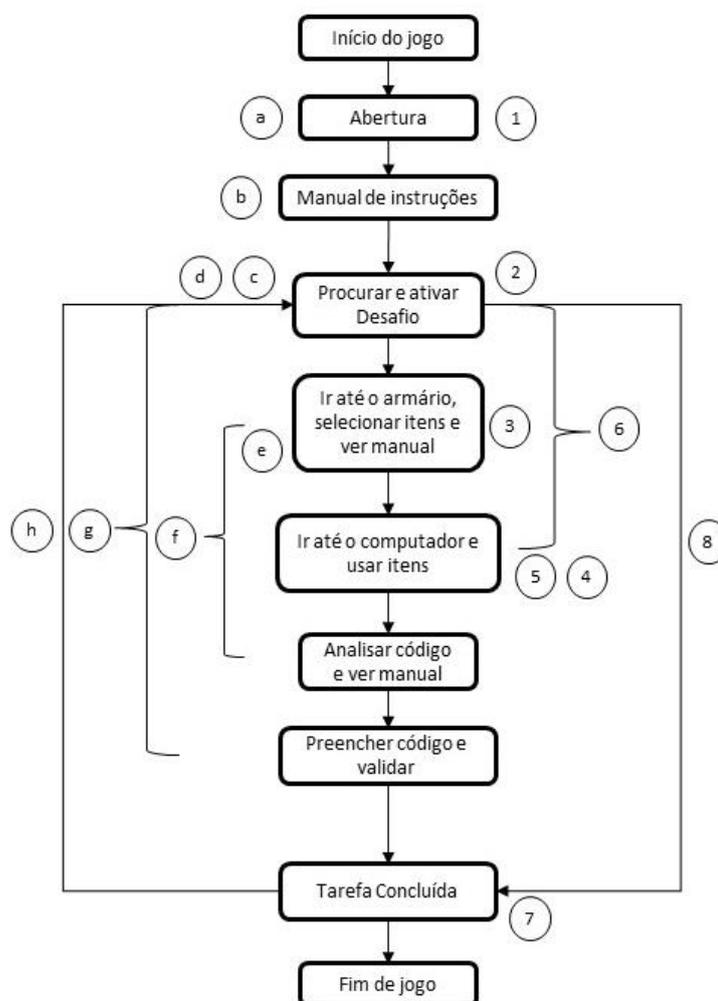


Figura 13: Mapa das mecânicas do jogo. As legendas estão na Tabela 3 e na Tabela 4. Fonte: O autor.

Como passo final da proposta LM-GM, a Tabela 5 mostra a relação dos componentes de mecânica e aprendizado no jogo sério Desafio IoT.

O jogo é disponibilizado como plataforma *web* e busca trazer experiência aos jogadores sobre as ferramentas e abordagens mais recentes e utilizadas no mercado em desenvolvimento de aplicações IoT. Como base para os assuntos abordados durante o jogo, ou seja, os conceitos IoT que o jogo apresenta, foram utilizadas pesquisas sobre “Mercado Brasileiro de Desenvolvimento de Sistemas Embarcados e IoT” realizadas pelo portal Embarcados (2019; 2021) nos anos de 2019

e 2021. O objetivo das pesquisas foi identificar e traçar tendências do mercado brasileiro no desenvolvimento de sistemas embarcados e IoT.

Tabela 3: Mecânicas de jogo. Fonte: O autor.

Mecânicas de jogo	Descrição
1 - História	História do jogo apresentada no vídeo inicial
2 - Nível	Os projetos possuem vários níveis
3 - Seleção	Selecionar o <i>hardware</i> adequado
4 - Tempo limitado	Tempo decrescente para escolher os itens e ir até o computador
5 - Encontro marcado	Ter que ir ao computador para finalizar o desafio
6 - Movimentação	O jogador se move no mapa para chegar aos pontos chave
7 - Eliminação	Após finalizado o desafio, ele é eliminado do mapa
8 - Momento comportamental	A repetição dos passos nos diferentes desafios encoraja o jogador a completar o jogo

Tabela 4: Mecânicas de aprendizado. Fonte: O autor.

Mecânicas de aprendizado	Descrição
a - Instrucional	O vídeo inicial mostra o propósito do jogo
b - Guia	O manual guia o jogador, dando as informações necessárias
c - Objetivo	O objetivo é concluído quando terminar o desafio
d - Descoberta	Deve-se descobrir onde está no mapa o ponto que habilita o próximo desafio
e - Planejamento	O jogador precisa planejar os itens de <i>hardware</i> que serão utilizados no projeto
f - Análise	O jogador deve analisar o problema para concluir o desafio
g - Responsabilidade	O jogo oferece liberdade e responsabilidade para o jogador realizar todas as ações dentro do jogo
h - Repetição	A repetição dos passos nos desafios ajuda a fixar os conceitos mostrados

Tabela 5: LM-GM do jogo. Fonte: O autor.

Mecânicas de aprendizado	Mecânicas de jogo
Instrucional	História
Objetivo Descoberta	Nível Eliminação
Guia Planejamento Análise	Encontro marcado Tempo limitado Seleção
Responsabilidade	Movimentação
Repetição	Momento comportamental

As pesquisas realizadas nos anos de 2019 e 2021 contaram com informações fornecidas por 974 e 577 profissionais que atuam diretamente com o desenvolvimento de sistemas embarcados e IoT. Dos resultados apresentados, destacam-se os que foram abordados no jogo:

- Comunicação sem fio, alimentação por bateria e resposta em tempo real foram os recursos mais utilizados nos projetos desenvolvidos;
- Entre as tecnologias sem fio nos projetos, as mais utilizadas foram *wi-fi* e *bluetooth*, como BLE (*Bluetooth Low Energy*);
- Como sistema operacional em tempo real (RTOS), o mais utilizado foi FreeRTOS;
- A ferramenta de codificação mais utilizada foi Visual Studio Code e a linguagem de programação C;
- Entre os *kits* de desenvolvimento, o mais usado foi o *kit* fornecido por fabricante e, em seguida, o ESP32.

O jogo aborda esses assuntos no ambiente de casas inteligentes, porém as habilidades adquiridas podem ser aplicadas em outras áreas IoT. A próxima seção apresenta as tecnologias/ferramentas abordadas em cada desafio do jogo (Tabela 6).

3.3 Descrição do Jogo

O jogo desenvolvido nesta dissertação pode ser acessado no seguinte *link*: <https://cleidiana.itch.io/desafio-iot> e o projeto se encontra disponível no GitHub: <https://github.com/Cleidiana/gamePuzzle>. No GitHub, além do código fonte, é disponibilizado também o GDD (*Game Design Document*) criado para orientar o desenvolvimento.

Assim que o jogo é iniciado, é reproduzido um vídeo de abertura que apresenta um texto introdutório. Esse texto serve para imergir o jogador no cenário do jogo e dos desafios. Após o vídeo, na tela de *menu*, apresentada na Figura 14, é possível fazer o *download* do manual e ir para o jogo. O cenário do jogo está ambientado dentro de uma casa, apresentado na Figura 15, com vários cômodos iguais e/ou parecidos, sendo que o jogador tem a visão apenas de uma parte da casa enquanto joga (Figura 16). A movimentação por esse cenário é uma mecânica importante do jogo necessária para a realização de todos os desafios, tendo em vista que algumas etapas possuem tempo limitado. O jogador tem liberdade para seguir qualquer caminho e poderá iniciar em qualquer um dos projetos por meio dos pontos de ativação que estão disponíveis no mapa.



Figura 14: Menu do jogo. Fonte: O autor.



Figura 15: Cenário do jogo. Fonte: O autor.



Figura 16: Visão do jogo. Fonte: O autor.

O jogo foi dividido em cinco projetos IoT residenciais. A Tabela 6 mostra o conteúdo abordado em cada projeto no jogo (baseado nas tecnologias mais utilizadas) e as suas respectivas versões. As versões de cada projeto são os desafios no jogo, ou seja, a V0 do projeto 1 é um desafio, a V1 do projeto 1 é outro desafio e, assim, sucessivamente, totalizando um número de 13 desafios. Assim que o jogo é inicializado, estão disponíveis no mapa cinco pontos de ativação para os desafios, sendo a V0 de todos os cinco projetos. A Figura 18 representa a solução de cada desafio, composta por quatro etapas:

- Ativar desafio – Quando não há qualquer desafio na tela, o jogador deve encontrar um marcador de exclamação no mapa para iniciar o desafio. Inicialmente, o mapa possui apenas os desafios V0 dos projetos. Assim que o desafio V0 do projeto é resolvido, ele é eliminado do mapa e surge a V1 do mesmo projeto, para que possa ser ativada;
- Pegar componentes – Com o desafio definido, o jogador deve escolher (com auxílio das informações do manual), se for necessário para resolver o desafio, os componentes que serão usados na solução IoT no armário. São usados até três componentes por desafio e a mochila do jogador possui três

espaços para carregá-los. A Figura 17 mostra o inventário do jogo e, no canto inferior esquerdo, a mochila do jogador;



Figura 17: Inventário do jogo. Fonte: O autor.

- Levar até o computador – Com os itens escolhidos, o jogador deve ir até o computador e clicar sobre eles para adicionar ao projeto. Os passos “Pegar componentes” e “Levar até o computador” devem ser realizados dentro de um tempo específico; caso não chegue a tempo no PC, os itens e o desafio são resetados. Caso os itens escolhidos não estejam corretos para solucionar o desafio, o jogador deve buscar novamente os itens corretos no armário. Assim que acertar todos os componentes de *hardware*, ele irá para o próximo passo de programação;
- Programar solução IoT – A tela do computador abre automaticamente assim que os componentes de *hardware* estiverem corretos. O projeto é programado na linguagem C e os códigos apresentados são, dentro do possível, correspondentes aos usados na prática real de desenvolvimento. O uso da tela do computador durante a programação no jogo tem recurso similar ao *software* de programação Visual Studio com a extensão do ESP-IDF (extensão para programar o ESP-32 pelo Visual Studio). A

documentação necessária para solução do problema está disponível no manual. A Figura 20 mostra a tela de programação do jogo.

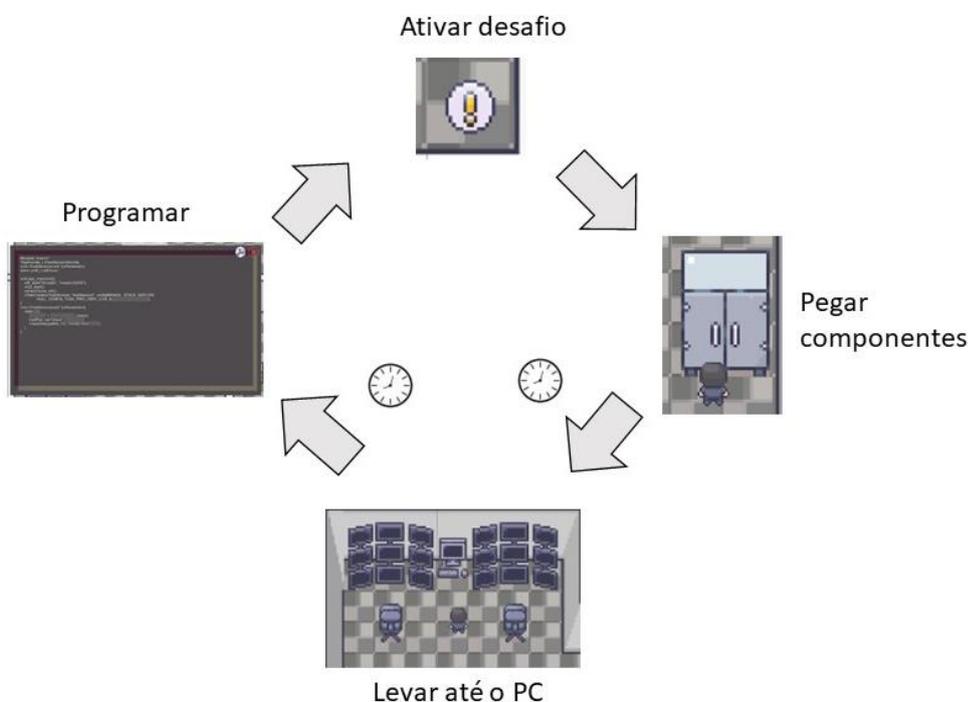


Figura 18: Passos do desafio. Fonte: O autor.

O desafio na etapa de programação é apresentado com espaços vazios que devem ser preenchidos de acordo com o manual, com nomes de funções, variáveis, tipos de variáveis, parâmetros de funções e variáveis de tempo. Se os campos forem preenchidos corretamente, o desafio é concluído, e seu ponto de ativação não aparece mais no mapa. Caso possua mais versões, o ponto de ativação da próxima versão é colocado no mapa. O jogo termina quando todas as versões dos projetos forem concluídas.

A situação atual do jogador em relação aos desafios é assinalada no canto superior esquerdo do cenário do jogo (Figura 16). Quando o desafio ainda não foi descoberto, a situação é representada pela interrogação amarela; quando foi descoberto e não solucionado, é apresentada pela exclamação vermelha; quando o desafio foi resolvido, é assinalada pelo visto verde.

Tabela 6: Projetos do Desafio IoT. Fonte: O autor.

Projeto	Versão	Descrição	Conteúdo abordado
1	V0	Monitore a presença de chuva na casa por <i>wi-fi</i>	ESP32 + Wi-Fi + FreeRTOS + Sensor + Motor
	V1	Feche as janelas quando chover	
2	V0	Monitore a umidade do solo das flores por <i>bluetooth</i>	ESP32 + Bluetooth Clássico + FreeRTOS + Sensor + Bomba de irrigação
	V1	Com ajuda da bomba de irrigação, regue as plantas quando necessário	
	V2	As plantas estão secas, altere a rega para quando a umidade do solo estiver abaixo de 70%	
3	V0	Monitore a corrente elétrica do ar-condicionado por <i>bluetooth</i> .	ESP32 + Bluetooth Clássico + FreeRTOS + Sensor + Relé
	V1	Monitore a temperatura e umidade da casa por <i>bluetooth</i>	
	V2	Desligue o ar-condicionado quando estiver ligado sem necessidade	
4	V0	Ligue o alimentador do cachorro às 8h e às 17h, avisando por <i>wi-fi</i> .	ESP32 + Wi-Fi + BLE + FreeRTOS + RTC (<i>Real Time Clock</i>) externo + Relé
	V1	Prepare um café às 7h, ligando a cafeteira. Avise por <i>wi-fi</i>	
	V2	Agende um alerta sonoro, por 5 min, às 7h30. Avise por <i>wi-fi</i> .	
	V3	Altere a alimentação do projeto para bateria e mude a conectividade para <i>bluetooth</i> .	
5	-	Usando controle de voz, ligue e desligue as lâmpadas, avisando por <i>wi-fi</i> .	ESP32 + Wi-Fi + FreeRTOS + Microfone + Relé

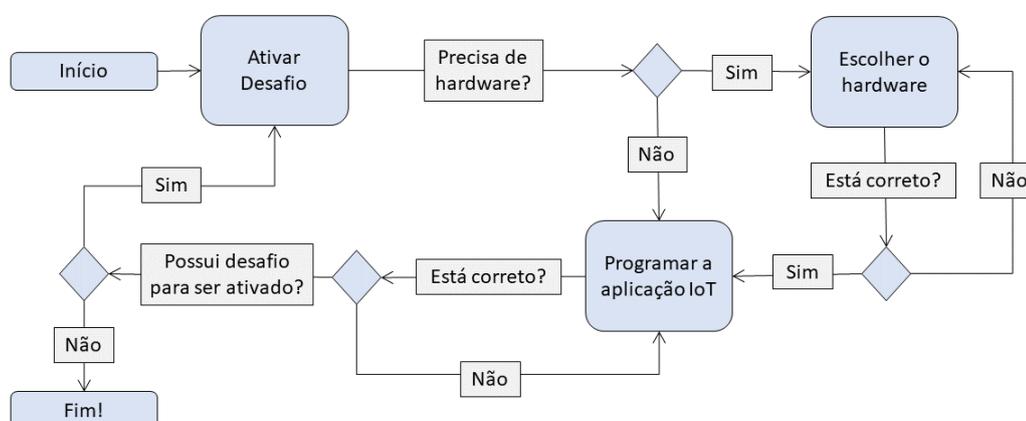
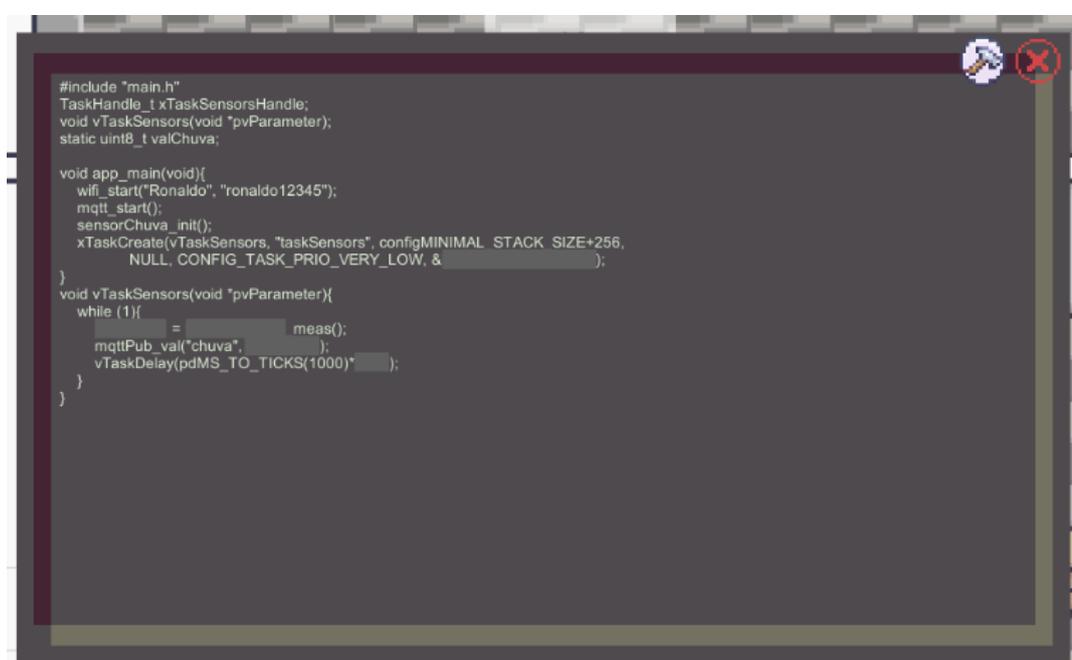


Figura 19: Fluxo do jogo. Fonte: O autor.

A correção de cada desafio é composta por duas etapas – *hardware* e *software*/programação – e são sequenciais; só pode ser jogada a etapa de programação se o *hardware* escolhido (se for necessário para resolver o problema) estiver correto. A combinação de componentes de *hardware* correta para cada desafio é apenas uma, e a validação é feita por comparação de igualdade. A correção na etapa de programação é também feita por igualdade, ou seja, cada campo preenchido possui apenas uma resposta correta. A Figura 19 ilustra o fluxo geral do jogo e onde é realizada a correção do desafio.



```
#include "main.h"
TaskHandle_t xTaskSensorsHandle;
void vTaskSensors(void *pvParameter);
static uint8_t valChuva;

void app_main(void){
    wifi_start("Ronaldo", "ronaldo12345");
    mqtt_start();
    sensorChuva_init();
    xTaskCreate(vTaskSensors, "taskSensors", configMINIMAL_STACK_SIZE+256,
               NULL, CONFIG_TASK_PRIO_VERY_LOW, &
    );
}

void vTaskSensors(void *pvParameter){
    while (1){
        [ ] = [ ] meas();
        mqttPub_val("chuva", [ ]);
        vTaskDelay(pdMS_TO_TICKS(1000)*[ ]);
    }
}
```

Figura 20: Tela de programação do jogo. Fonte: O autor.

3.4 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foi descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento do jogo, incluindo as tecnologias, o modelo de análise LM-GM e a seleção de conteúdo relevante para a área. O jogo é do gênero *puzzle 2D*, com visão *top/down* e gráficos em *pixel art*, composto por 13 desafios no contexto de casas inteligentes. Foram apresentados também o cenário do jogo e as etapas para resolução dos desafios.

Capítulo 4

AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o processo de avaliação do jogo sério proposto nesta pesquisa. Para avaliação do Desafio IoT, foram utilizados questionários, sendo que o teste do jogo foi composto por três etapas: pré-teste, fase de teste e pós-teste. É apresentado também o perfil dos participantes da avaliação.

4.1 *Design* do Processo de Avaliação

Como método avaliativo, foi utilizada uma abordagem baseada na aplicação de questionários aos participantes que usaram o jogo. Os questionários propostos se classificam como estruturados (CHEUNG, 2021), por possuírem um conjunto de questões padronizadas, com redação e ordem fixadas para todos os participantes.

A metodologia aplicada é caracterizada como quantitativa, por utilizar nos questionários perguntas objetivas e ter resultados que podem ser representados de forma numérica. Segundo Manzato (2012), os métodos quantitativos são normalmente aplicados quando a pesquisa visa mensurar opiniões, reações, sensações, hábitos e atitudes de um público-alvo.

O questionário técnico foi elaborado de forma a abranger os conteúdos apresentados no jogo e teve o intuito de verificar se os participantes melhoraram o conhecimento na área de IoT, validando o objetivo da ferramenta. Além disso, possui questões sobre o perfil dos estudantes, auxiliando a caracterizar a situação inicial dos participantes. As questões estão disponíveis no Apêndice B.

As questões sobre a utilização do jogo, apresentadas no Apêndice C, visaram mensurar a percepção de cada aluno com o uso do jogo. As perguntas versaram sobre o interesse por jogos, o tempo jogado e a motivação percebida durante o jogo.

O método da literatura para avaliação de jogos educacionais para o ensino – MEEGA+ (*Model for the Evaluation of Educational GAMES*) (PETRI *et al.*, 2019) – foi

utilizado para avaliar o jogo. Este formulário é uma versão atualizada do MEEGA, criado por Savi *et al.* (2011), para avaliação de jogos educacionais na área de computação, e possui 35 questões que usam uma escala *Likert* de cinco pontos (LIKERT, 1932) para apontar a concordância. As questões avaliam nove dimensões:

- Usabilidade – avalia fatores de utilização das ferramentas e de praticidade, sendo dividida em cinco subdimensões:
 - Estética – questões 1 e 2;
 - Aprendizabilidade – questões 3-5;
 - Operabilidade – questões 6 e 7;
 - Acessibilidade – questões 8 e 9; uma questão apresentada no modelo, nesta dimensão, não foi incluída no questionário, pois o jogo não conta com recurso de personalização;
 - Proteção contra erros do usuário – questões 10 e 11.
- Confiança – avalia o sentimento de que a habilidade e o esforço do jogador lhe permitirão avançar no conteúdo do jogo (questões 12 e 13);
- Desafio – avalia quanto o jogo é suficientemente desafiador ao jogador (questões 14-16);
- Satisfação – avalia o sentimento de que o esforço do jogador é recompensado (questões 17-20);
- Diversão – avalia se o jogo proporciona prazer, felicidade, relaxamento e distração (questões 21 e 22);
- Atenção focada – avalia a capacidade do jogo focar o interesse do jogador (questões 23-25);
- Relevância – avalia o sentimento de que a proposta educacional é consistente com os objetivos do aluno (questões 26-29);
- Aprendizagem percebida – avalia a percepção do efeito geral de aprendizagem (questões 30 e 31);
- Interação social – dimensão que avalia fatores de cooperação e competição. Contém três questões que não foram incluídas no questionário por motivo de não serem aplicáveis ao jogo proposto.

O questionário, com as 31 questões, pode ser consultado no Apêndice D. A análise dos resultados do questionário MEEGA+ foi realizada por meio de distribuição de frequências e medianas para cada dimensão.

A Figura 21 ilustra como foi realizada a avaliação, sendo aplicado um questionário técnico antes e após a experiência de uso do jogo e um questionário sobre a utilização do jogo e formulário MEEGA+ aplicados no pós-teste.

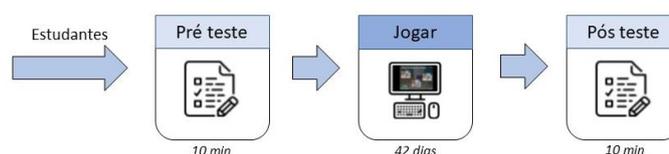


Figura 21: Processo de avaliação. Baseado em Alonso-Fernández (2019).

Para análise dos resultados obtidos com o questionário técnico foram comparadas as respostas dos participantes no pré e no pós-teste. A experiência obtida jogando o Desafio IoT pode ser relacionada com a possível mudança nas respostas dos participantes que apontaram maior conhecimento na área. As respostas do formulário sobre a utilização do jogo mostraram tendências na discussão dos resultados. O pós-teste foi realizado no mesmo dia em que o período de teste do jogo foi encerrado.

4.2 Descrição do Ambiente de Testes

O jogo foi exposto para experimentação no segundo semestre do ano letivo de 2022, da Universidade Federal de Itajubá, na disciplina de Programação de Sistemas Embarcados. Assumiu-se que os discentes já estavam familiarizados com a linguagem C e com estruturas de dados, que são conhecimentos prévios importantes para o bom proveito do jogo. O jogo foi disponibilizado a partir da segunda semana de aula como atividade inicial da disciplina, já familiarizando o aluno para que tivesse melhor rendimento após o conteúdo apresentado no jogo.

Os alunos participantes foram comunicados quanto à experimentação do jogo, o propósito principal da pesquisa, bem como sobre o anonimato e uso dos dados coletados. Portanto, um “**Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**” (Apêndice A) foi preenchido antes do início da avaliação do jogo. Em seguida, os alunos participaram do pré-teste descrito na seção 4.1.

O tempo para utilização do jogo foi de aproximadamente um mês e meio (42 dias). Nesse período, os alunos jogaram quantas vezes quiseram. Após esse período, os estudantes responderam os questionários do pós-teste (detalhados na seção 4.1), descrevendo como foi a experiência, finalizando, assim, a avaliação do jogo.

4.3 Perfil dos Estudantes

O jogo Desafio IoT foi avaliado por 31 estudantes matriculados na disciplina Programação de Sistemas Embarcados, sendo 25 discentes do curso de Engenharia de Computação, cinco do curso de Engenharia Eletrônica e um do curso de Engenharia de Controle e Automação. Os 31 participantes responderam a todos os questionários propostos, sendo que 25 deles estavam no segundo período do seu curso, um no primeiro período e os demais acima do segundo período.

Em relação à faixa etária dos estudantes, apenas um participante possuía idade inferior a 18 anos (3,2%). Entre 18 e 20 anos, a pesquisa contou com 23 participantes (74,2%). A faixa etária entre 21 e 23 anos foi composta por seis estudantes (19,4%) e apenas um participante possuía idade superior a 24 anos (3,2%). A Figura 22 mostra a idade dos participantes e o período do seu curso.

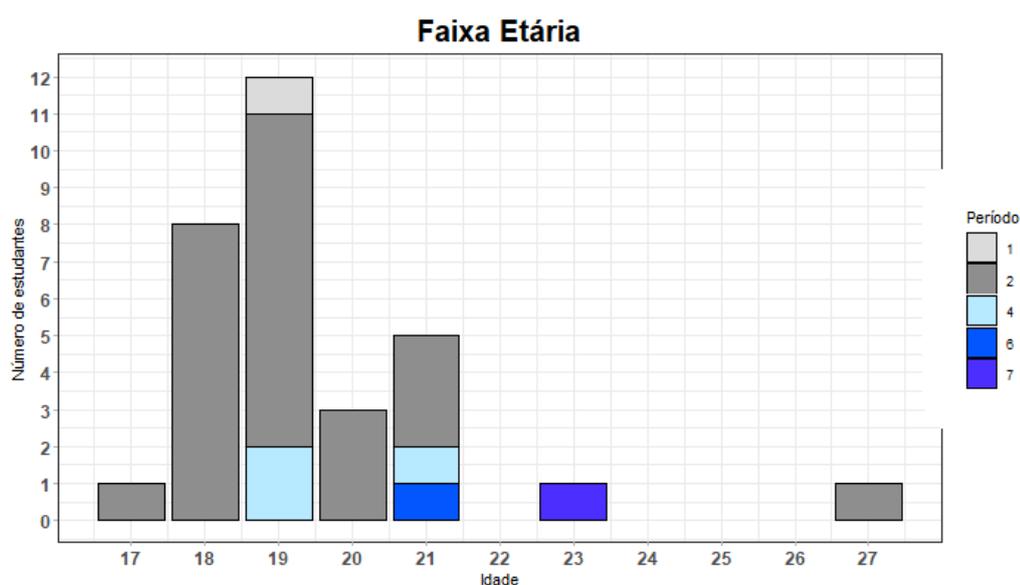


Figura 22: Faixa etária e período dos participantes. Fonte: O autor.

A linguagem de programação 'C' era conhecida por 30 participantes (Q11 - Apêndice B) e um aluno conhecia 'C++' apenas, portanto, todos os alunos participantes conheciam alguma linguagem de programação, indicando que seriam capazes de ler os códigos presentes no jogo.

4.4 Conclusão do Capítulo

Este capítulo descreveu o processo avaliativo utilizado na pesquisa. O questionário de conhecimento técnico aplicado antes e após a utilização do jogo visou obter o nível de entendimento que os participantes possuíam sobre o tema, bem como possíveis variações devido à experimentação. O questionário de utilização do jogo teve como finalidade questionar os participantes sobre como foi a experiência vivenciada. Adicionalmente, utilizou-se o método MEEGA+ para avaliar a qualidade do jogo por meio de oito dimensões.

Capítulo 5

RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio da aplicação dos questionários descritos no Capítulo 4, além do processamento, análise e discussão desses resultados. As seções são divididas de acordo com os questionários aplicados e, na sequência, é apresentada a discussão dos resultados.

5.1 Questionário de Conhecimento Técnico

O **Questionário de Conhecimento Técnico** (Apêndice B), foi aplicado antes e após os participantes jogarem o Desafio IoT. Por meio desse questionário foi possível avaliar a experiência prévia dos estudantes e o conhecimento adquirido com o uso do jogo.

5.1.1 Resultado do pré-teste

No que se refere ao entendimento inicial em IoT, foram avaliadas sete afirmativas pelos alunos e respondidas quatro perguntas. As questões são mostradas no Apêndice B, em que as questões de Q1 a Q7 utilizaram uma escala *Likert* para as respostas. A Figura 23 mostra as respostas dos participantes nas questões de Q1 a Q7.

Ao serem questionados se conheciam a utilidade de aplicações IoT (Q1) e microcontroladores (Q2), a maior parte dos estudantes respondeu afirmativamente. Essas respostas indicaram que o assunto era conhecido para a maioria dos participantes.

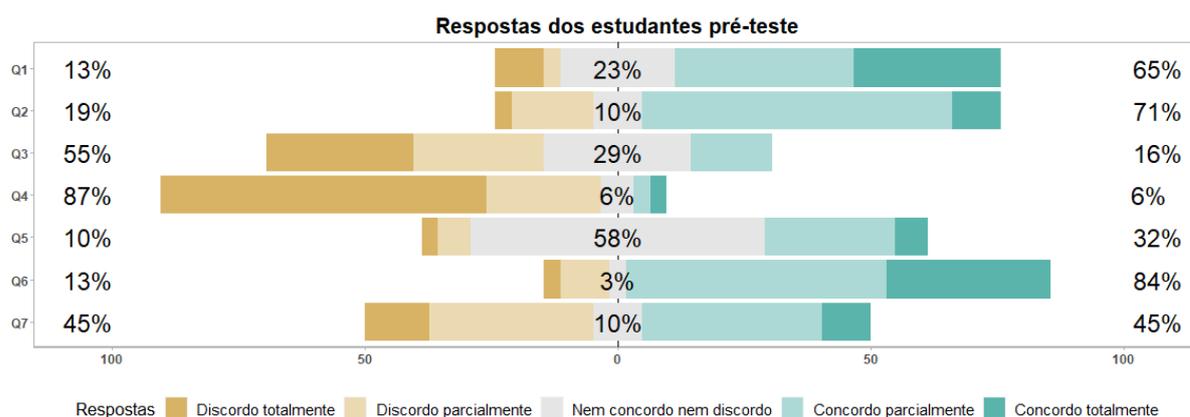


Figura 23: Respostas dos participantes no pré-teste. Fonte: O autor.

Mais da metade dos estudantes (55%) respondeu que não sabia como era feita a programação *firmware* (Q3). Quando questionados sobre terem resolvido algum problema ou desenvolvido um projeto com uso de IoT (Q4), 27 dos 31 estudantes (87%) marcaram ‘discordo totalmente’ ou ‘discordo parcialmente’. As respostas indicaram que os estudantes possuíam pouco contato com programação de *firmware* e quase nenhuma experiência com desenvolvimento de projetos IoT.

As respostas das questões Q5 e Q7 questionaram os estudantes em relação ao interesse em trabalhar com desenvolvimento de *firmware* para IoT e a familiaridade com projetos envolvendo sensores e atuadores. A quantidade de respostas afirmativas foi mediana, sendo 32% e 45% respectivamente, indicando que o tema era razoavelmente interessante e familiar para os estudantes.

Quando perguntados sobre o conhecimento em bibliotecas para escrever códigos (Q6), 84% ‘concordaram parcialmente’ ou ‘concordaram totalmente’, indicando que a maioria dos estudantes iria entender facilmente o manual e a etapa de programação do jogo.

Em relação à quantidade de exemplos IoT já conhecidos pelos participantes (Q8), verificou-se na Figura 24 que 15 alunos não conheciam nenhum exemplo em IoT, oito alunos conheciam mais de três exemplos, quatro alunos conheciam dois, dois alunos conheciam um e dois alunos conheciam três exemplos.

Sobre os tipos de sistemas operacionais que os estudantes já conheciam antes de jogarem o Desafio IoT (Q9), em geral, 17 (55%) dos 31 estudantes não conheciam nenhum, sete alunos conheciam o ‘FreeRTOS’, cinco conheciam o ‘Threadx’, um aluno conhecia ‘Micrium OS’ e um ‘TizenRT’, como mostra a Figura 24.

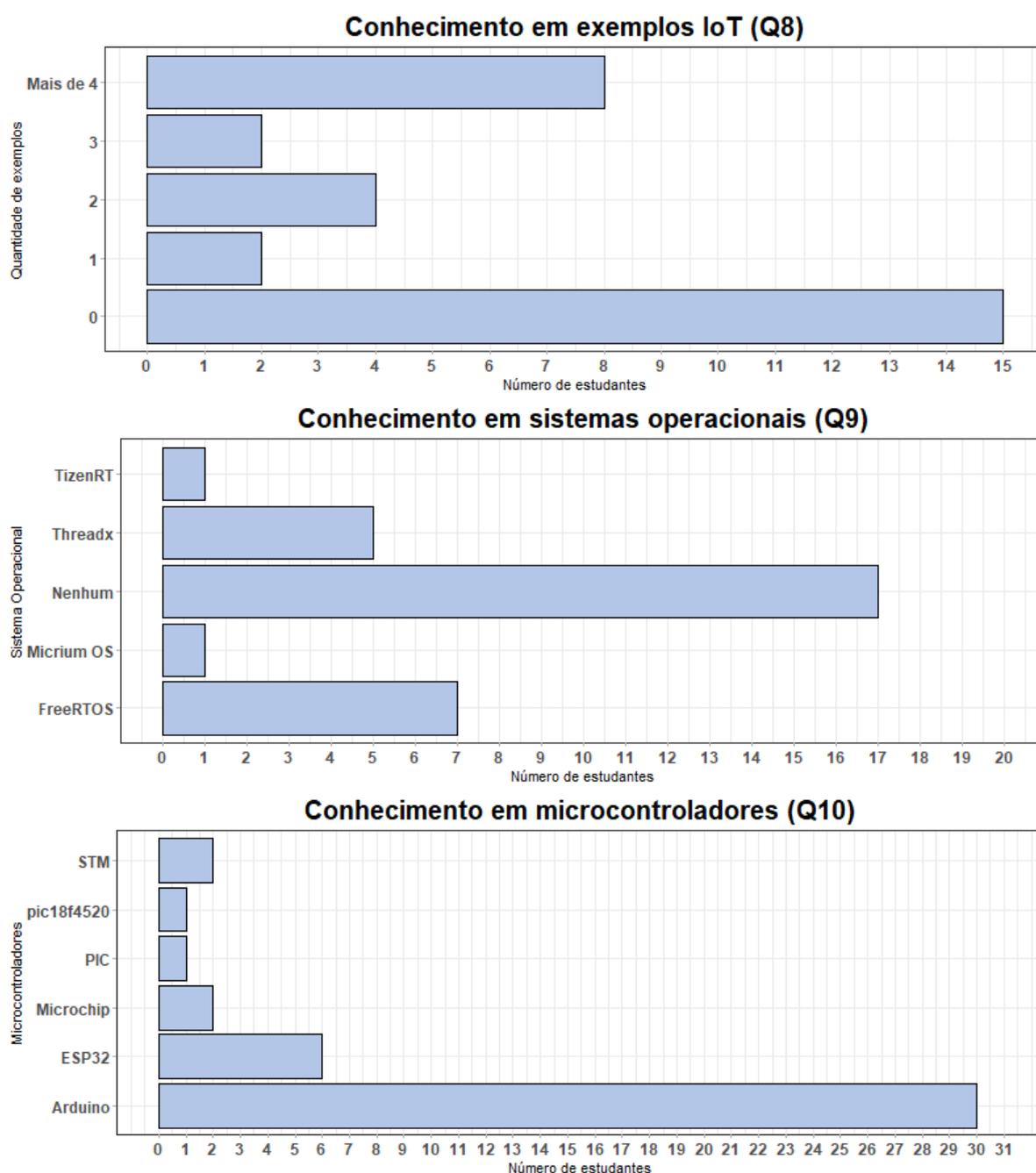


Figura 24: Respostas das questões Q8, Q9 e Q10. Fonte: O autor.

Em relação aos microcontroladores já conhecidos pelos participantes (Q10), observou-se na Figura 24 que 30 alunos conheciam ‘Arduino’ e seis alunos conheciam o ‘ESP32’. Os alunos também conheciam ‘PIC’, ‘Microchip’, ‘STM’, sendo dois alunos em cada.

Entre os 31 participantes, neste questionário inicial, somente um aluno deixou o seguinte comentário no final do questionário (transcrito *ipsis litteris*):

“Eu nunca desenvolvi nada com IoT, porém vejo muitos projetos e acho legal.”

5.1.2 Discussão pós-teste

Por meio da aplicação do mesmo questionário de conhecimento técnico para os participantes após o período de utilização do jogo, foi possível observar e analisar os possíveis efeitos do jogo sobre a percepção dos estudantes em relação ao tema. A Figura 25 apresenta as respostas das questões Q1 a Q7 no pós-teste, a Figura 27 apresenta a comparação isolada para cada questão e a Figura 26 mostra os percentuais de cada resposta, bem como a média para cada questão no pré e no pós-teste. A nota média para as questões foi obtida atribuindo valores de 1 a 5 aos níveis de concordância da escala *Likert*, sendo que uma média 3 indicou concordância e discordância equivalentes para o total de participantes.

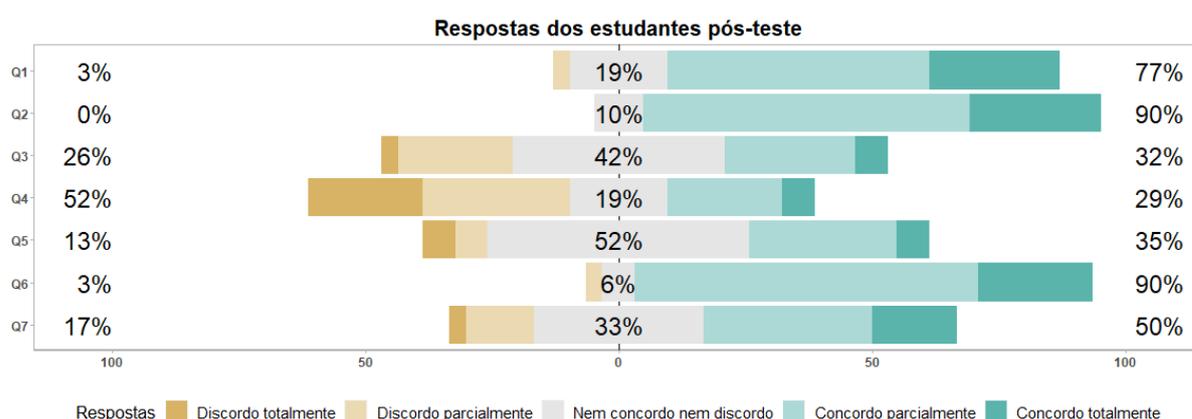


Figura 25: Respostas dos participantes no pós-teste. Fonte: O autor.

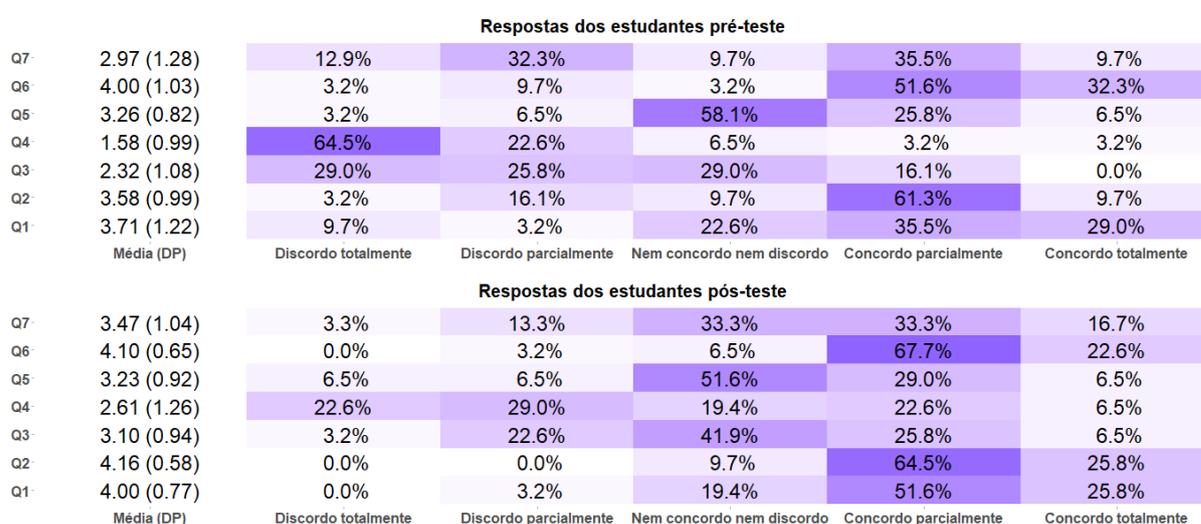


Figura 26: Respostas para as questões Q1 a Q7 no pré e no pós-teste. Fonte: O autor.

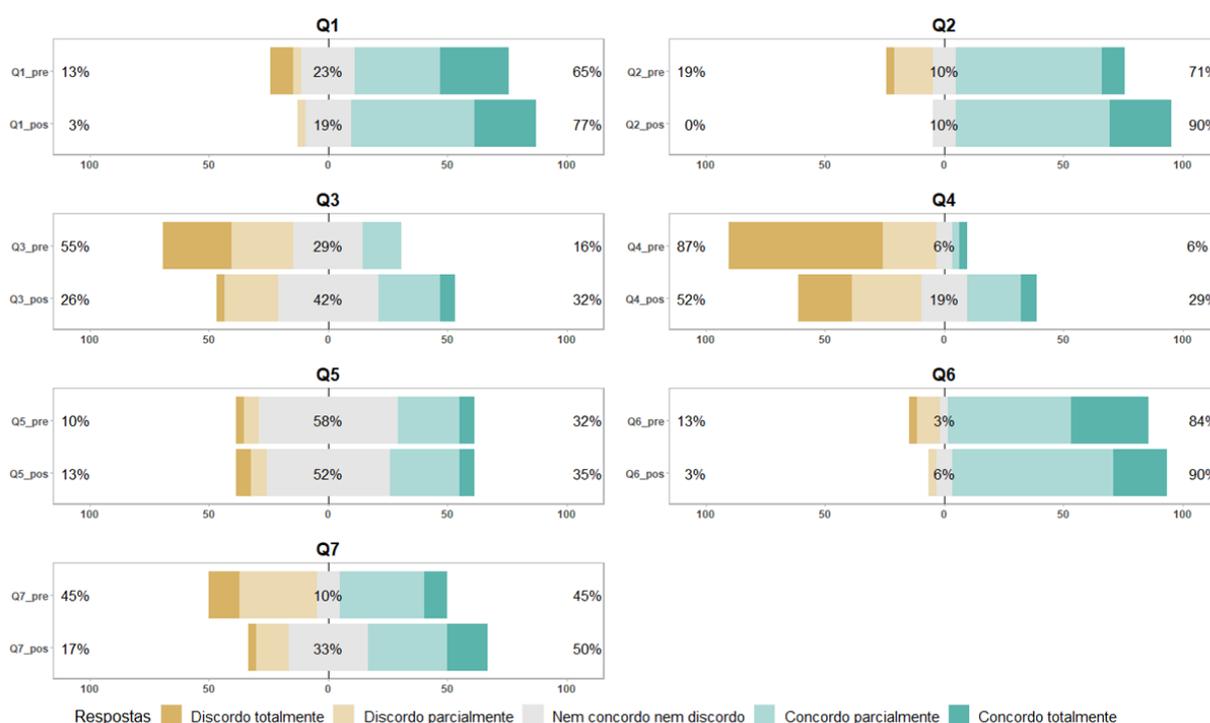


Figura 27: Gráficos isolados para cada questão de Q1 a Q7 no pré e no pós-teste.
Fonte: O autor.

A questão Q4 teve a maior variação média das respostas antes e após a experimentação do jogo, com um aumento da média de 1,03. Em seguida, estão as questões Q3, Q2 e Q7, com aumento da média de 0,78, 0,68 e 0,5, respectivamente. As questões com variação mais suave foram Q1 e Q6, com aumento de 0,29 e 0,1, respectivamente, e a questão Q5, que teve um decréscimo de 0,03.

As questões que tiveram maior aumento indicam que o jogo teve êxito em levar aos participantes a experiência com projetos que usam microcontroladores, sensores, atuadores e programação de *firmware*. O aumento de, pelo menos, um participante escolhendo as opções 'concordo totalmente' ou 'concordo parcialmente' em todas as questões e da média de respostas apontou um efeito positivo da experiência no conhecimento dos participantes. Entretanto, as respostas para a Q5 apontaram que o jogo não teve eficácia em aumentar o interesse dos participantes de trabalhar com desenvolvimento de *firmware* para IoT.

A Figura 28 mostra as respostas dos alunos às questões Q8, Q9 e Q10 no pré e no pós-teste. As respostas à questão sobre quantas aplicações IoT os participantes conheciam (Q8) apontaram que após experimentarem o Desafio IoT, reduziu em 25 p.p. a opção de que não conheciam nenhuma aplicação e aumentou em 15 p.p. a

opção de que conheciam mais de três aplicações. As respostas “duas” e “três” aplicações tiveram variação de 13% para 20% e 6% para 10%, respectivamente, e a resposta “uma” se manteve em 6%.

Na questão Q9, após a utilização do jogo, o número de participantes que respondeu conhecer o sistema FreeRTOS aumentou de 23% para 35%, e que não conhecia qualquer sistema operacional em tempo real (RTOS) caiu de 55% para 52%. As respostas à questão sobre quais microcontroladores conheciam (Q10) mostraram que, após a utilização do jogo, o número de participantes que conhecia o ESP32 aumentou de 19% para 39%. O percentual de respostas dos participantes de que conheciam o Arduino variou de 97% para 90%.

As respostas às questões Q8, Q9 e Q10 mostraram que a experiência do jogo aumentou significativamente o número de aplicações IoT conhecidas dos participantes e o número de participantes que conheciam o sistema operacional em tempo real (FreeRTOS) e o microcontrolador (ESP32) utilizados no jogo.

Os comentários no fim do questionário no pós-teste foram (transcritos *ipsis litteris*):

“Achei a Jogabilidade muito boa, é um excelente projeto, principalmente para quem já está familiarizado com esse tipo de programação. Gostaria de deixar algumas sugestões, acho que balões na hora da interação do boneco com os armários e os computadores seriam de ótimo uso, e também exemplificar um pouco mais, achei bem subjetivo o jogo, se você não tem um conhecimento mais aprofundado sobre as peças e a programação, dificilmente conseguirão jogar.”

“Dificuldade para compreender os códigos no início do jogo. O tempo de 1 minuto para realizar tarefas é desnecessário em minha opinião.”

“A primeira vista, os códigos me deixaram apreensivo, mas quando percebi que era de completar eu senti confiança. A história poderia ser relacionada com algo cômico e relacionada a IoT, como por exemplo uma sátira (referência do jogo portal 1 e 2).”

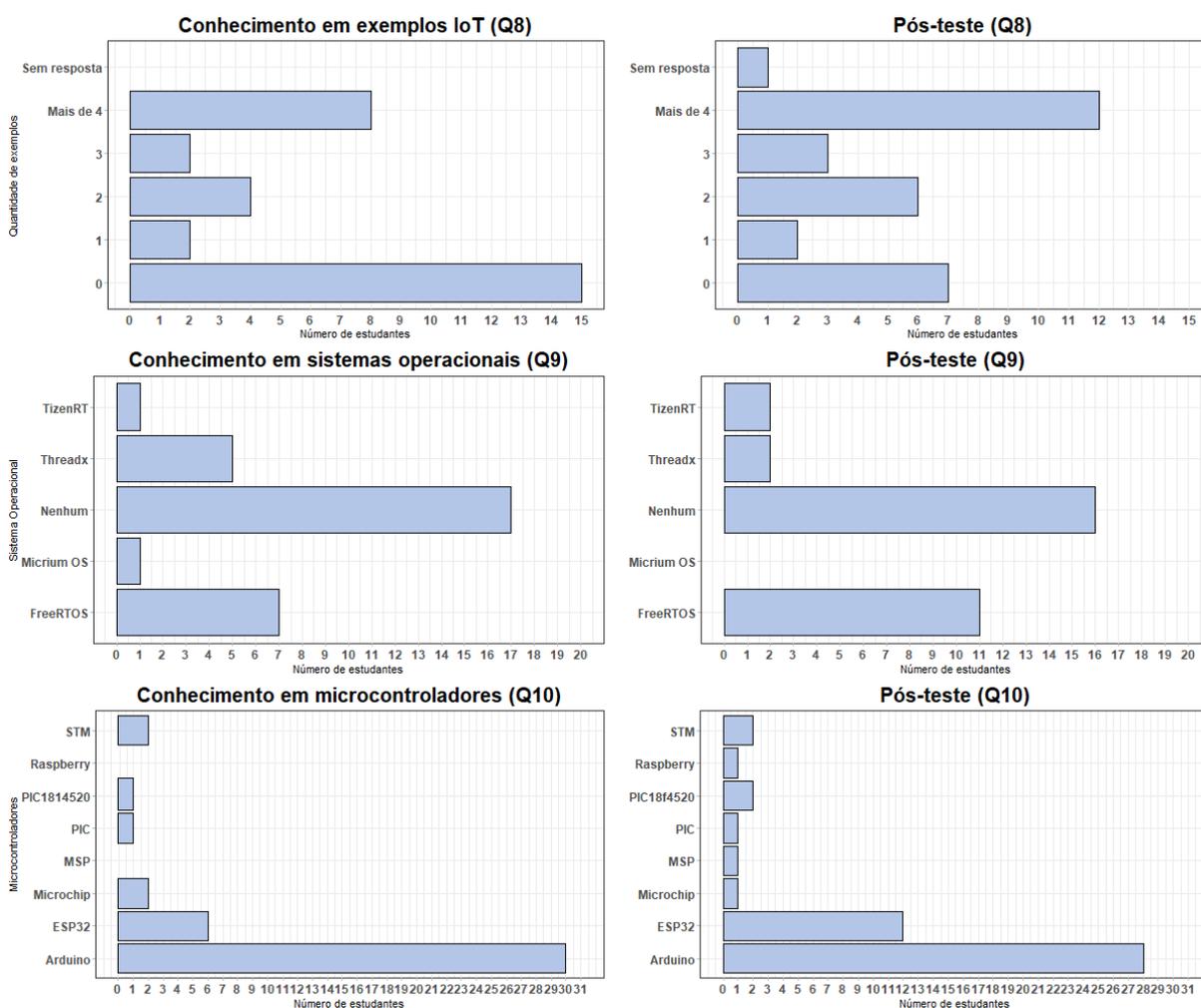


Figura 28: Respostas do pré e pós-teste em relação às questões Q8, Q9 e Q10. Fonte: O autor.

5.2 Questionário sobre a Utilização do Jogo

O questionário sobre a utilização do jogo (Apêndice C) foi respondido após a experiência de uso do Desafio IoT, e permitiu analisar como os participantes interagiram com o jogo. A Figura 29 apresenta as respostas a esse questionário.

Quando questionados se estudaram para jogar o Desafio IoT, a maior parte (17 estudantes) respondeu que ‘não’ e 14 estudantes responderam ‘sim’. Os comentários a respeito da segunda pergunta foram (transcritos *ipsis litteris*):

“Testei apenas os conhecimentos adquiridos em sala de aula sem qualquer adicional.”

“Inicialmente não mas percebi que era necessário.”

“Foi necessário estar atento ao manual.”

“Não para jogar pois não achei que seria necessário, mas ao começar jogar comecei a pesquisar.”

“Acho que poderia ter uma aula básica no início iria ajudar.”

“Eu li o manual algumas vezes antes de jogar para entender como funciona o jogo e tentar cumprir os objetivos.”

“Li algumas vezes o manual do jogo.”

“Li o manual, porém não compreendi tudo.”

“Eu não estudei antes, porém durante o jogo foi necessário.”

“Mantive o manual aberto enquanto jogava, sendo que as informações contidas nele foram o suficiente para cumprir as tarefas.”

“Não fui aprendendo na hora de jogar.”

“Aprendi jogando.”

Na terceira questão, os participantes foram perguntados se possuíam interesse em aprofundar algum conceito aprendido no jogo, tendo a maior parte respondido que tem interesse (22 respostas ‘sim’ e nove ‘não’), indicando que o jogo alcançou um de seus objetivos, o de incentivar os jogadores a terem mais contato com a área de IoT. Os comentários a respeito da terceira pergunta foram (transcritos *ipsis litteris*):

“O conceito de microcontroladores me despertou um grande interesse.”

“Fiquei com curiosidade sobre outros microcontroladores.”

“Sim, me aprofundar na parte do fundamento de sensores e seus códigos.”

“Gosto bastante da área.”

“Pois não tive a oportunidade de avançar no jogo não consegui resolver o primeiro problema.”

“Hoje não tenho tanto interesse em jogos.”

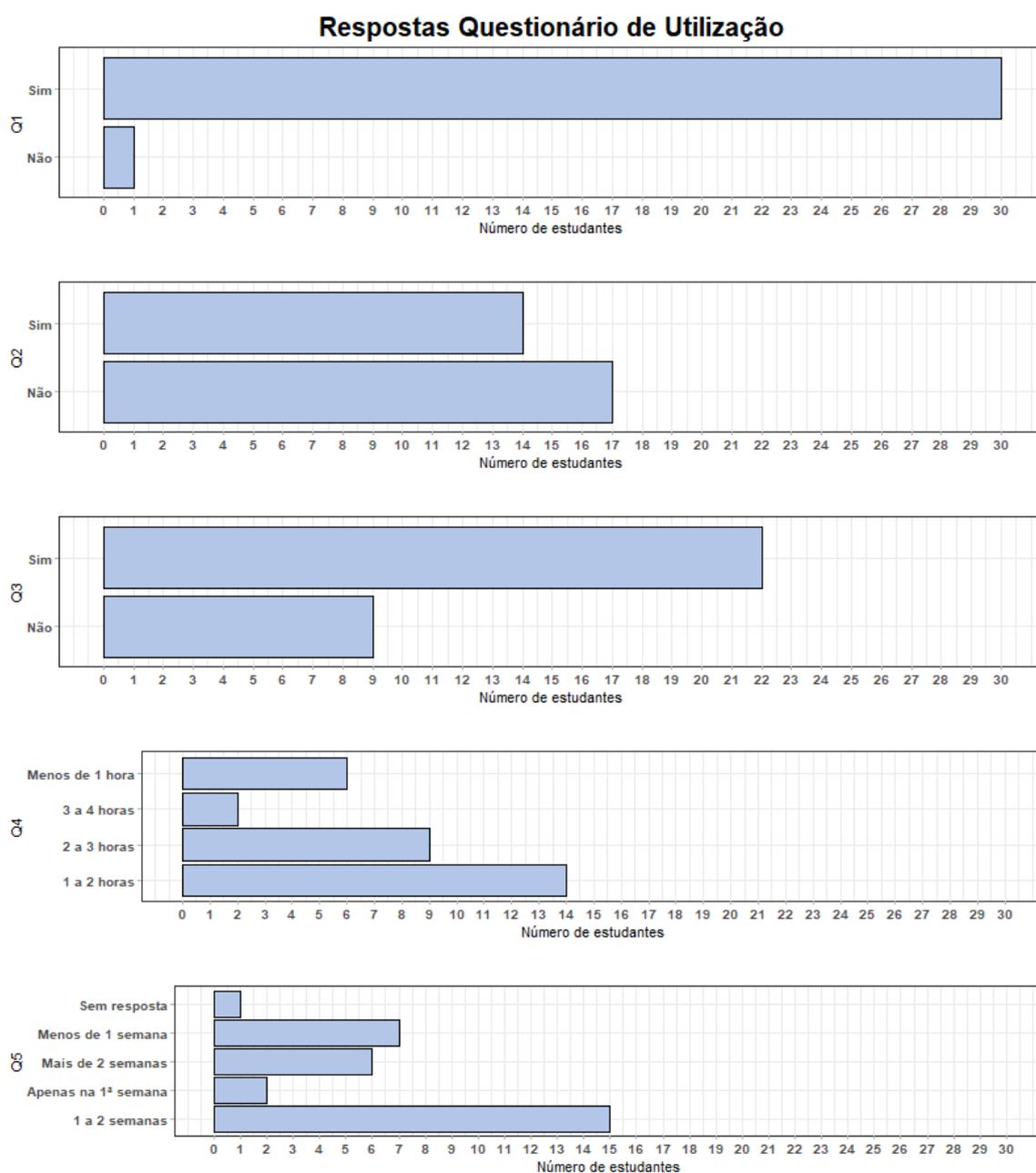


Figura 29: Respostas dos participantes no Questionário de Utilização. Fonte: O autor.

Na quarta questão, os participantes responderam quanto tempo passaram jogando o Desafio IoT. A opção mais escolhida foi ‘uma a duas horas’ (14 participantes) e, em seguida, ‘duas a três horas’ (nove participantes). Seis participantes apontaram ter jogado por ‘menos de uma hora’ e dois afirmaram ‘três a quatro horas’. Os comentários a respeito dessa pergunta foram (transcritos *ipsis litteris*):

“Como sou iniciante senti dificuldades em desenvolver todos os códigos.”

“Mas tive que jogar tudo mais de uma vez pois meu PC desligou seria bom ter uma forma de salvar a partida.”

“Jogo alguns jogos antigos por lazer.”

“Apesar de ter perdido os avanços que já havia feito pois fechei o jogo o tempo total não passou de 2 horas.”

Na última questão, os estudantes informaram há quanto tempo haviam jogado pela última vez antes de preencherem o formulário, e a resposta predominante foi ‘uma a duas semanas’, com 15 respostas. Sete participantes responderam ‘menos de uma semana’ e seis participantes responderam ‘mais de duas semanas’. Essa pergunta teve dois comentários, que foram (transcritos *ipsis litteris*):

“Joguei o jogo no final de semana das eleições.”

“Tentei novamente jogar consegui um pouco mais.”

Como o jogo foi disponibilizado em um *site*, foi possível monitorar os acessos realizados pelos participantes. A Figura 30 mostra os registros que contabilizaram o total de vezes em que o jogo foi executado ao longo do período de teste. Pode-se observar que a maior parte dos acessos ocorreu nas duas últimas semanas e, principalmente, na penúltima, reafirmando as respostas mais marcadas na questão 5.

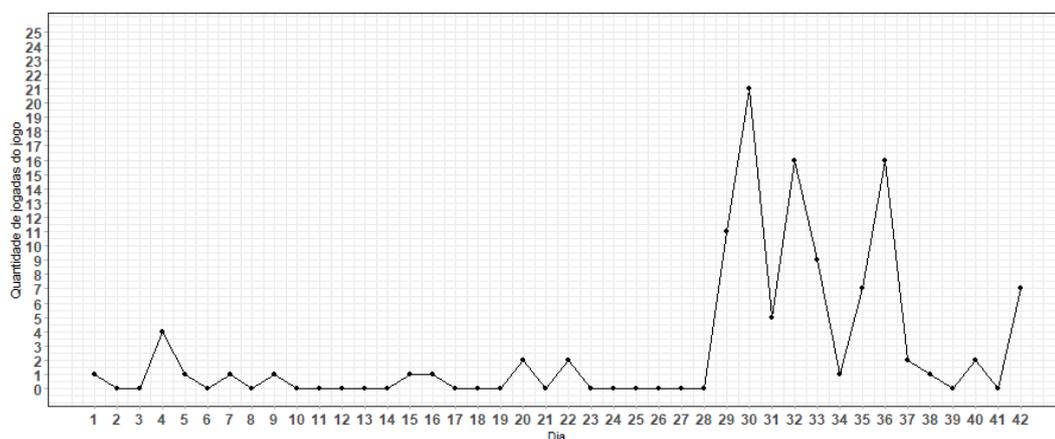


Figura 30: Estatísticas de acesso dos participantes no jogo. Fonte: O autor.

5.3 Formulário MEEGA+

5.3.1 Avaliação do jogo

Conforme apresentado na seção 4.1, utilizou-se o método MEEGA+ para avaliar o jogo Desafio IoT. A Figura 31 mostra o resultado das respostas ao questionário em forma de distribuição de frequências com os valores das médias e desvios padrão para as oito dimensões analisadas. A Figura 32 apresenta as respostas individuais para cada pergunta.

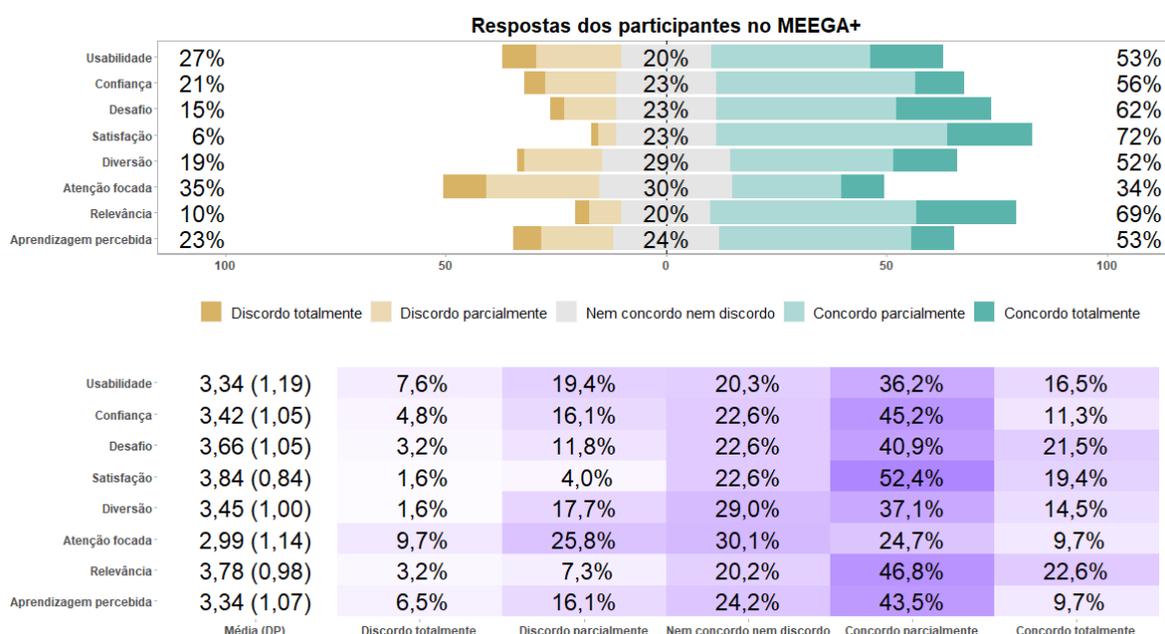


Figura 31: Respostas dos participantes no MEEGA+ por dimensão. Fonte: O autor.

A aprovação foi superior a 60% em três das oito dimensões avaliadas, sendo elas “satisfação”, “relevância” e “desafio”, com 72%, 69% e 62% de respostas ‘concordo totalmente’ ou ‘concordo parcialmente’, respectivamente. Essas três dimensões foram consideradas os aspectos mais positivos do jogo.

Outras quatro dimensões alcançaram mais de 50% de respostas ‘concordo totalmente’ ou ‘concordo parcialmente’, a saber: “confiança” teve 56%; “usabilidade” e “aprendizagem percebida” tiveram 53%; e “diversão” teve 52%. Essas dimensões foram consideradas os aspectos bons do jogo.

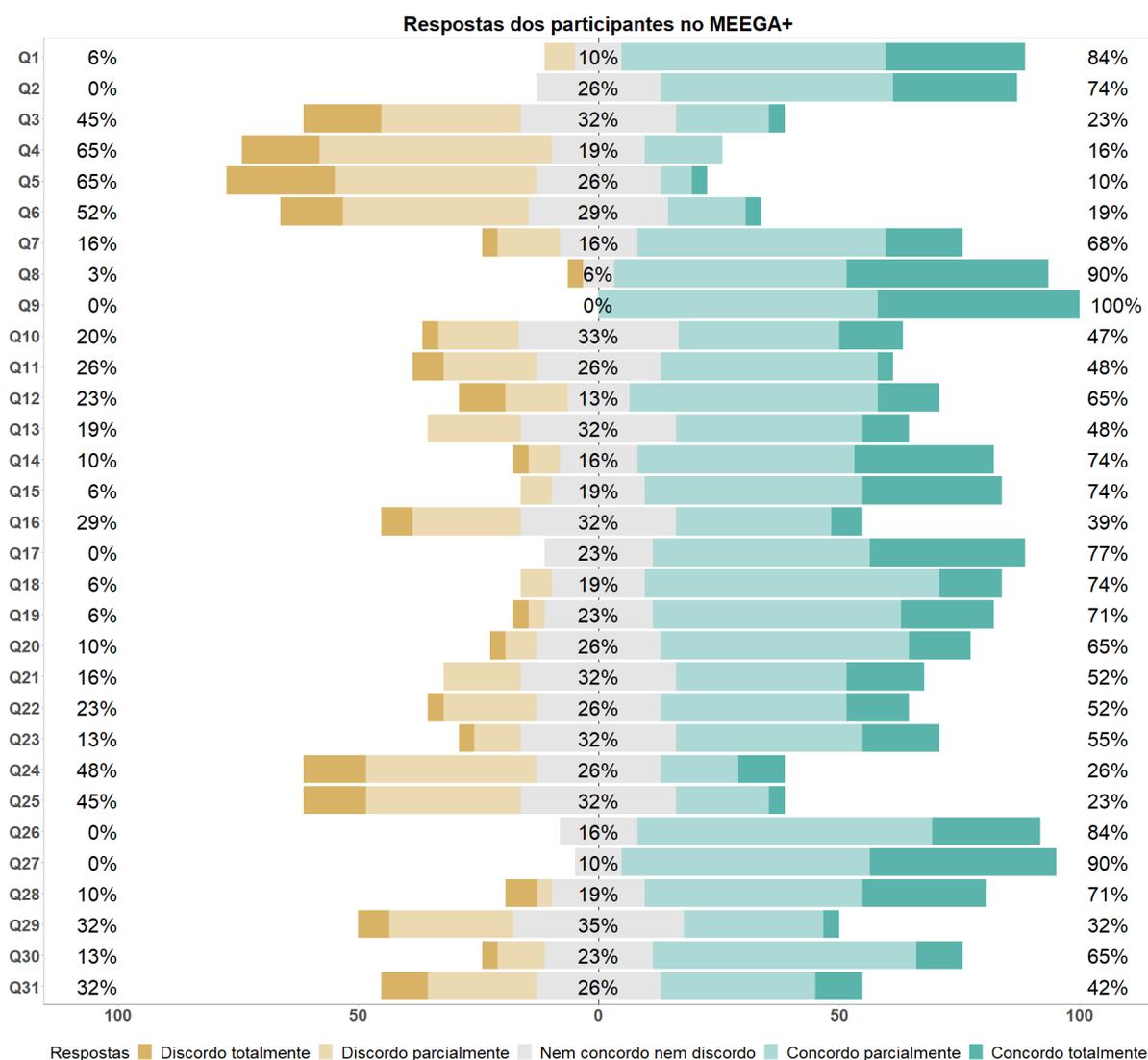


Figura 32: Respostas dos participantes no MEEGA+ por questão. Fonte: O autor.

A dimensão que apresentou pior resultado foi a de ‘atenção focada’, em que apenas 34% das respostas concordaram com as afirmações, sendo o aspecto mais criticado do jogo. Este dado indica que um dos pontos que mais poderia ser melhorado no jogo está relacionado a atrair a atenção do jogador, que possivelmente aumentaria seu envolvimento com o jogo e o aprendizado.

Como explicado na seção 4.1, a dimensão “usabilidade” foi dividida em cinco subdimensões. A Figura 33 mostra o resultado das respostas para cada uma das subdimensões referentes à usabilidade do jogo.

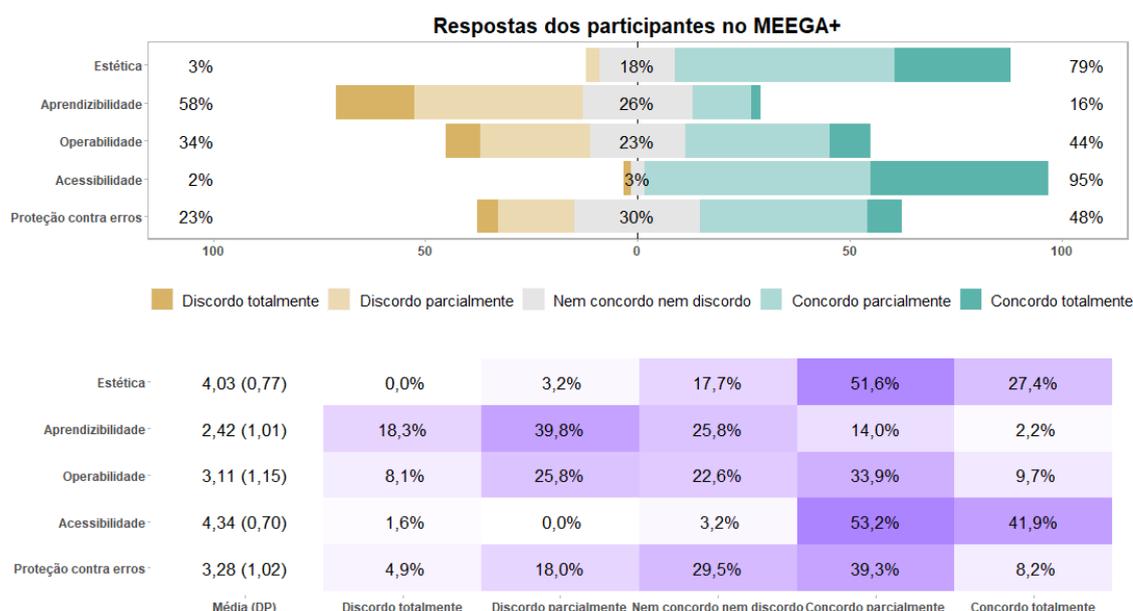


Figura 33: Respostas MEEGA+ para a dimensão usabilidade. Fonte: O autor.

As duas subdimensões que tiveram maior porcentagem de respostas de ‘concordo totalmente’ e ‘concordo parcialmente’ foram “acessibilidade” e “estética”, com 95% e 79%, respectivamente. As subdimensões “proteção contra erros” e “operabilidade” tiveram quantidade mediana de respostas concordantes, 48% e 44%, respectivamente. A subdimensão “aprendizibilidade” ficou com a maior parte das respostas discordantes, com 58% entre ‘discordo totalmente’ e ‘discordo parcialmente’, e 16% entre ‘concordo totalmente’ e ‘concordo parcialmente’. Esse valor apontou um dos critérios mais reprovados do jogo, indicando que ele foi considerado difícil para se aprender a jogar.

Considerando as 31 questões, 16,6% das respostas foram ‘concordo totalmente’ e 40,1% ‘concordo parcialmente’, enquanto 22,7% foram ‘não concordo nem discordo’, 15,2% ‘discordo parcialmente’ e 5,4% ‘discordo totalmente’.

A média geral das oito dimensões foi 3,48, apontando para uma boa avaliação do jogo. As dimensões “satisfação”, “relevância” e “desafio” tiveram as maiores médias, com 3,84, 3,78, 3,66, respectivamente. As dimensões que ficaram com avaliação intermediária foram “diversão”, com 3,45, “confiança”, com 3,42, e “usabilidade” e “aprendizagem percebida” tiveram média 3,34. Somente a dimensão de ‘atenção focada’ teve média inferior a 3, com 2,99.

5.3.2 Correlações

Uma possível correlação entre as respostas às questões do formulário foi analisada por meio do coeficiente de correlação de Pearson. O coeficiente (ρ) mede o grau de correlação entre duas variáveis, obtendo valores entre -1 e 1, em que (MUKAKA, 2012):

- $\rho = 1$, é uma correlação perfeita entre as variáveis;
- $\rho = -1$, é uma correlação negativa perfeita;
- $\rho = 0$, indica que não há correlação linear entre as variáveis.

A Figura 34 apresenta as correlações entre as questões do formulário com base nas respostas dos participantes da pesquisa. Entre todos os coeficientes, nenhum teve valor inferior a -0,5, portanto, observou-se no máximo correlações negativas fracas (entre -0,3 e -0,5), obtidas em 10 situações. Entre as relações que apresentaram correlações positivas, são destacadas 24 correlações com coeficientes superiores a 0,6, e nove ocorrências acima de 0,7. Os diagramas de correlação linear maiores que 0,7 (correlações mais fortes) são apresentados na Figura 35 e discutidos a seguir.

A respeito das questões Q2 e Q9 ($p < 0,001$), é natural que os mesmos alunos que consideraram os textos e cores do jogo consistentes, julgaram as cores do jogo compreensíveis. A questão Q6 teve forte correlação com as questões Q5 ($p < 0,001$) e Q7 ($p < 0,001$), em que os alunos que acharam o jogo fácil de jogar, conseqüentemente acharam as regras do jogo claras e compreensíveis, concordando que qualquer pessoa poderia aprender a jogar o jogo rapidamente.

As questões Q19, Q20 e Q28 ($p < 0,001$ para as três combinações) tiveram uma forte correlação mútua. Essa correlação indicou que as opiniões de satisfação com o aprendizado no jogo, a intenção de recomendar o jogo para outras pessoas e que o jogo é um método de ensino adequado para a disciplina no qual foi aplicado são relacionadas.

Duas correlações que também puderam ser observadas foram entre a questão Q21 e as questões Q20 ($p < 0,001$) e Q30 ($p < 0,001$). Neste caso, os alunos que afirmaram se divertir com o jogo concordaram que ele contribuiu para sua aprendizagem na disciplina e, por conseguinte, recomendaram o jogo para outras pessoas.

Finalmente, foi observada uma correlação forte entre as questões Q24 e Q25 ($p < 0,001$), que são duas afirmações com alta porcentagem de discordância dos alunos. A correlação indicou que as opiniões sobre “*Eu estava tão envolvido no jogo que eu perdi a noção do tempo*” e “*Eu esqueci sobre o ambiente ao meu redor enquanto jogava este jogo*” são relacionadas.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q23	Q24	Q25	Q26	Q27	Q28	Q29	Q30	Q31		
Q1	1,00																																
Q2	0,56	1,00																															
Q3	0,03	0,00	1,00																														
Q4	0,10	0,10	0,68	1,00																													
Q5	-0,02	0,00	0,55	0,36	1,00																												
Q6	-0,09	-0,04	0,64	0,36	0,76	1,00																											
Q7	-0,05	0,04	0,46	0,31	0,36	0,71	1,00																										
Q8	0,36	0,21	0,03	0,21	0,00	-0,10	0,11	1,00																									
Q9	0,26	0,73	-0,02	0,03	-0,02	-0,10	0,11	0,28	1,00																								
Q10	0,12	0,31	0,36	0,24	0,20	0,24	0,15	0,06	0,44	1,00																							
Q11	-0,22	-0,09	0,37	0,17	0,38	0,59	0,52	-0,10	0,44	0,28	1,00																						
Q12	-0,17	-0,15	-0,26	-0,15	-0,44	-0,33	-0,25	-0,12	0,01	-0,10	-0,24	0,28	1,00																				
Q13	0,46	0,30	0,21	0,22	0,18	0,28	0,25	-0,12	0,21	0,32	-0,12	0,01	1,00																				
Q14	0,13	0,14	0,30	0,07	0,42	0,41	0,38	-0,27	0,21	0,42	-0,32	-0,32	1,00																				
Q15	0,33	0,42	0,41	0,25	0,24	0,39	0,28	-0,37	0,35	0,33	-0,37	0,33	1,00																				
Q16	0,35	0,35	0,30	0,20	0,20	0,32	0,27	0,62	0,17	0,14	0,32	0,32	0,52	1,00																			
Q17	0,32	0,43	0,13	0,14	0,10	0,05	0,38	0,27	0,33	0,49	-0,07	0,28	0,41	0,37	1,00																		
Q18	0,35	0,55	-0,21	0,01	-0,15	-0,28	0,08	0,38	0,49	0,26	-0,17	-0,35	0,11	0,06	0,39	1,00																	
Q19	0,15	0,35	0,47	0,27	0,39	0,48	0,24	0,62	0,33	0,58	-0,38	0,37	0,59	0,14	0,62	0,15	1,00																
Q20	0,35	0,25	0,47	0,38	0,44	0,44	0,33	0,60	0,44	0,52	-0,31	0,37	0,61	0,58	0,60	0,62	0,19	1,00															
Q21	0,47	0,33	0,57	0,45	0,48	0,53	0,20	0,60	0,16	0,14	-0,48	0,60	0,46	0,53	0,58	0,62	0,14	0,04	1,00														
Q22	0,16	0,26	0,21	0,22	0,16	0,19	0,22	0,32	0,25	0,14	-0,12	0,32	0,26	0,53	0,21	0,36	0,46	0,53	0,50	1,00													
Q23	0,04	0,23	0,09	0,00	0,36	0,36	0,18	0,46	0,19	0,49	-0,19	0,42	0,45	0,46	0,36	0,46	-0,03	0,48	0,53	0,33	1,00												
Q24	0,30	0,23	0,29	0,20	0,17	0,13	0,23	0,23	0,19	0,14	0,27	0,55	0,23	0,48	0,56	0,48	0,39	0,48	0,47	0,62	0,25	1,00											
Q25	0,50	0,35	0,07	0,05	0,21	0,06	0,28	0,03	0,27	0,26	-0,34	0,52	0,41	0,47	0,55	0,56	0,47	0,56	0,56	0,50	0,60	0,34	0,18	1,00									
Q26	0,38	0,44	0,08	-0,15	-0,03	-0,06	0,03	0,33	0,33	0,16	0,09	0,26	0,27	0,41	0,13	0,18	0,24	0,48	0,48	0,48	0,48	0,34	0,18	0,79	1,00								
Q27	0,22	0,21	0,30	0,21	0,19	0,19	0,16	0,03	0,13	0,16	0,09	0,09	0,45	0,27	0,25	0,25	0,21	0,29	0,33	0,20	0,21	0,16	0,31	0,16	0,18	1,00							
Q28	0,20	0,13	0,20	0,17	0,20	0,20	0,16	0,03	0,20	0,20	0,22	0,22	0,53	0,45	0,35	0,35	0,41	0,78	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,53	1,00							
Q29	0,09	0,33	0,30	0,30	0,52	0,38	0,45	0,33	0,33	0,45	-0,22	-0,22	0,33	0,33	0,55	0,55	0,55	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	1,00						
Q30	0,04	0,00	0,51	0,33	0,52	0,65	0,39	0,33	-0,11	0,09	-0,07	-0,22	0,33	0,33	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	1,00					
Q31	0,20	0,04	0,16	0,12	0,18	0,20	0,38	0,38	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	1,00

Figura 34: Correlações entre as respostas das questões do questionário MEEGA+.

Fonte: O autor.

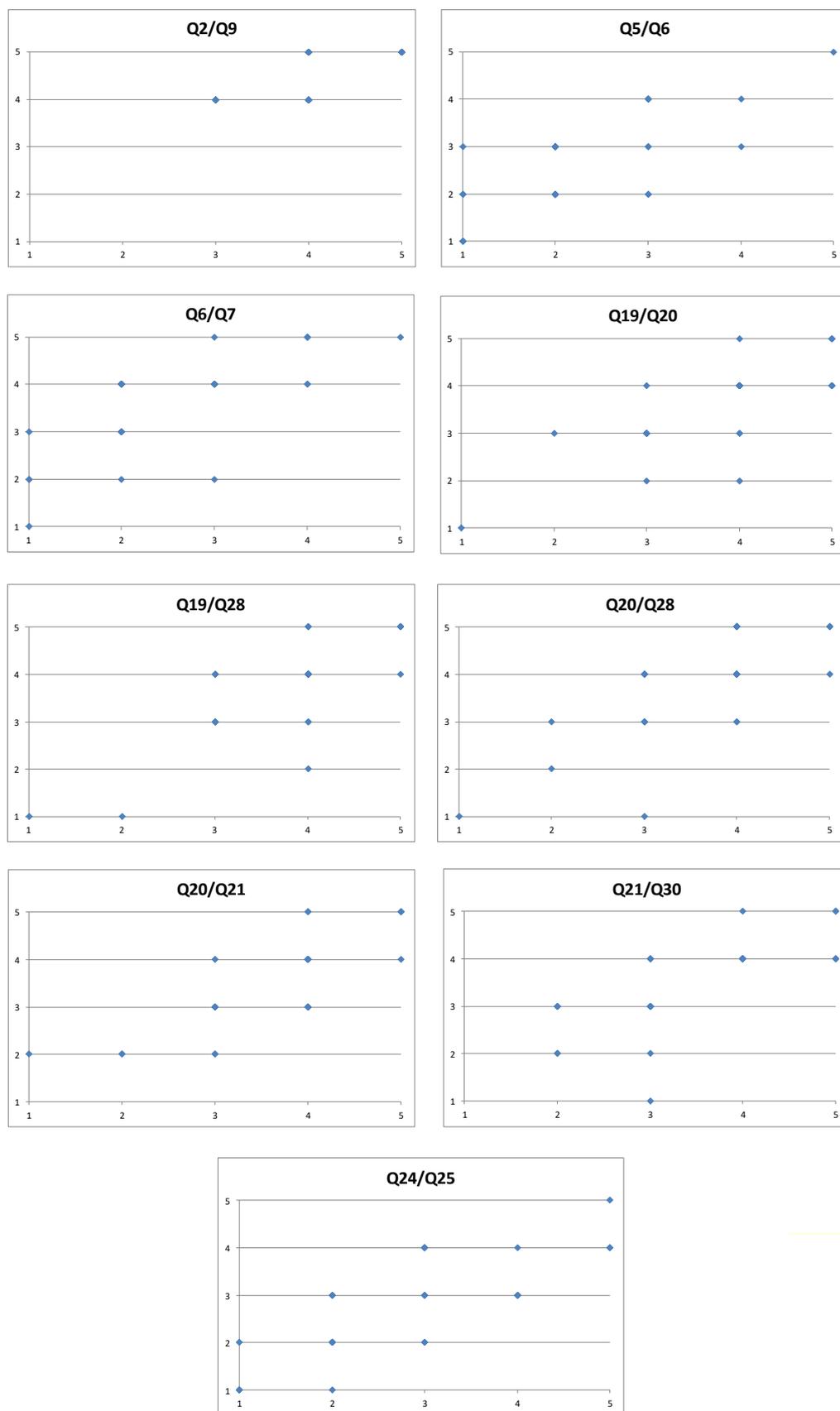


Figura 35: Diagramas de correlações entre as questões. Fonte: O autor.

5.4 Discussão

O jogo foi testado por 31 estudantes de cursos de engenharia, com idades predominantes entre 18 e 21 anos. Todos os estudantes responderam conhecer alguma linguagem de programação e somente um não conhecia a linguagem 'C'. Todos, exceto um, responderam gostar de jogos.

As respostas dos participantes no pré-teste estabeleceram o conhecimento inicial relacionado à IoT. Ao serem questionados se conheciam a utilidade de aplicações IoT e microcontroladores, a maior parte dos estudantes respondeu afirmativamente. A grande maioria dos participantes respondeu que sabia utilizar bibliotecas para escrever códigos, mas também que nunca resolveu problema ou desenvolveu um projeto com uso de IoT. Menos da metade respondeu que sabia como é feita a programação *firmware*, que possuía interesse em trabalhar com desenvolvimento de *firmware* para IoT e que eram familiarizados com projetos envolvendo sensores e atuadores.

Metade dos participantes respondeu que conhecia pelo menos um exemplo de aplicação IoT. Mais da metade dos estudantes não conhecia qualquer sistema operacional em tempo real, sendo o mais conhecido FreeRTOS. Todos os alunos, exceto um, conheciam o microcontrolador Arduíno, sendo ESP32 o segundo mais citado. Observou-se a partir das informações levantadas que os participantes apresentaram características consideradas importantes para a utilização do Desafio IoT e seu aprendizado, tais como gostar de jogos, ter conhecimentos de programação e saber utilizar bibliotecas.

No questionário de utilização os participantes manifestaram informações de como foi a experimentação do jogo. Mais da metade respondeu que não estudou para jogar e dentre os 12 comentários feitos nesta questão, alguns apontaram a importância da leitura do manual de instruções para avançar nos desafios, enquanto outros disseram que tiveram dificuldades mesmo utilizando o manual. A maior parte dos estudantes afirmou que tem interesse em aprofundar algum conceito aprendido no jogo, e dos seis comentários deixados, destacou-se o tema microcontrolador, citado em dois comentários.

A maior parte dos participantes afirmou ter jogado por 'uma a duas horas' ou 'duas a três horas'. Entre os quatro comentários deixados nessa questão, pode-se notar uma insatisfação devido ao jogo não manter o progresso do jogador após fechar o navegador ou desligar o computador, citada em dois comentários. O tempo entre uma e três horas foi considerado adequado para uma boa experiência do jogo.

A maior parte dos estudantes jogou na última e nas 'uma a duas semanas' antes do término do teste do jogo. Portanto, os alunos deixaram para jogar no período final do teste, e quando responderam o pós-teste esperava-se que, em sua maioria, respondessem com clareza por lembrarem os detalhes e percepções em relação ao jogo.

No pós-teste, os alunos responderam novamente o questionário de conhecimento técnico. Em todas as perguntas, com exceção da Q5, houve uma melhora no conhecimento, segundo as opiniões dos participantes. Esse resultado apontou um possível aprendizado sobre: a utilidade da IoT, microcontroladores, programação *firmware*, resolver problemas com IoT, uso de bibliotecas, sensores/atuadores, ESP32 e FreeRTOS, sendo estes os conteúdos abordados no jogo Desafio IoT.

Ao analisar as respostas no pós-teste, divididas entre o questionário de utilização e o questionário de conhecimento técnico, observou-se que os alunos não demonstraram maior interesse em trabalhar com desenvolvimento de *firmware* para IoT após jogarem o jogo, mas relataram interesse em aprofundar algum conceito aprendido no jogo. Conclui-se que o conteúdo apresentado foi ensinado com êxito para os jogadores, pois por meio de questionários eles demonstraram uma percepção maior no que tange ao conhecimento na área de IoT após jogarem o Desafio IoT.

Os comentários deixados pelos discentes nas respostas serviram como base para aprimoramentos futuros do jogo. Sintetizando todos os comentários foi possível destacar que os alunos:

- Demonstraram interesse com uso de jogos para aprendizagem;
- Demonstraram insatisfação em relação ao jogo não salvar a evolução do jogador;
- Manifestaram interesse em aprender mais sobre microcontroladores, sensores e atuadores;

- Demonstraram dificuldade para entender o jogo apenas pelo uso do manual;
- Apontaram a necessidade da adição de uma aula básica sobre o funcionamento do jogo no início do processo de experimentação.

Os resultados do formulário MEEGA+ foram analisados por dimensão e subdimensão. As dimensões que se destacaram por terem as melhores avaliações foram:

- Relevância: indicou que o conteúdo e a proposta educacional do jogo estão de acordo com as necessidades e objetivos dos estudantes;
- Desafio: As tarefas de resolver problemas com aplicações IoT fizeram o jogo adequadamente desafiador para os jogadores;
- Satisfação: O andamento do jogo e o aprendizado têm êxito em recompensar o esforço do jogador.

A dimensão que recebeu a pior avaliação foi a de “atenção focada”, sendo a única com menos da metade das respostas concordando com as afirmações. Desta forma, um dos pontos que mais poderia ser melhorado no jogo está relacionado a atrair a atenção do jogador, o que poderia ser alcançado por meio de um aumento no grau de imersão do jogador no ambiente do jogo.

Dentro das subdimensões de “usabilidade”, a “aprendizibilidade” foi mal avaliada pelos alunos, em concordância com alguns comentários. Entre os comentários deixados pelos participantes, alguns demonstraram dificuldade para jogar e afirmaram que só o manual não foi suficiente, sendo que um aluno propôs um vídeo inicial para explicar o funcionamento do jogo.

Tendo em vista os resultados analisados, aponta-se como um ponto crítico os alunos participantes da pesquisa não demonstrarem maior interesse em trabalhar na área de IoT. Esse resultado pode ser justificado devido ao jogo não ter conseguido imergir o jogador o suficiente no ambiente de desenvolvimento IoT, visto que foi mal avaliado na dimensão “atenção focada” do questionário MEEGA+.

Para melhorar esse resultado poderiam ser incrementadas melhorias no jogo, relacionadas especialmente à mecânica de jogo, como maior interação com o cenário, onde os componentes IoT modificassem os objetos do cenário e executassem visualmente o resultado do desafio quando resolvido. Além disso, a implementação dos recursos sugeridos pelos alunos durante a avaliação, como salvar o jogo e um

tutorial no início, podem trazer impactos positivos na imersão no jogo. Dessa forma, pretende-se que os jogadores tenham a atenção atraída, joguem o jogo por mais tempo e resolvam mais desafios, possivelmente aumentando seu interesse em trabalhar na área de IoT.

De modo geral, as mecânicas de jogo e de aprendizado, implementadas com auxílio do modelo LM-GM, funcionaram em conjunto e foram bem avaliadas, tendo seus resultados publicados, em uma primeira oportunidade, no prestigiado periódico Revista Novas Tecnologias na Educação – RENOTE (SANTOS; SEABRA, 2022). Com o resultado da avaliação foi possível identificar pontos de melhorias e qualidades do jogo para continuação em trabalhos futuros. Os comentários dos alunos poderão auxiliar nos requisitos de melhorias. O uso do MEEGA+ trouxe uma avaliação detalhada de pontos positivos e lacunas a partir das quais o jogo pode ser trabalhado.

5.5 Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados e discutidos os resultados dos questionários de avaliação do jogo. As respostas às questões de múltipla escolha e às afirmações com opções de respostas com base em uma escala Likert foram utilizadas para caracterizar e avaliar a experimentação do jogo pelos participantes, assim como os comentários manifestados por eles.

Neste capítulo também foram analisadas as correlações entre as respostas dos estudantes às questões do formulário MEEGA+. Adicionalmente, foram discutidos os resultados, implicações e conclusões.

Capítulo 6

CONCLUSÃO

A principal motivação desta pesquisa pode ser justificada pela demanda por profissionais qualificados que aumenta com a evolução tecnológica da IoT e o baixo interesse dos estudantes seguirem nesta área. Visando aumentar o interesse dos estudantes por meio de um método de aprendizado mais motivador, este trabalho propôs o jogo sério Desafio IoT como uma ferramenta para auxiliar no primeiro contato com ambientes e aplicações IoT.

Este trabalho apresentou o jogo sério Desafio IoT, o qual promove uma visão geral sobre alguns problemas e soluções no desenvolvimento de software embarcado em IoT para casas inteligentes, voltado para estudantes, recém-formados ou estagiários com conhecimentos básicos em programação.

O Desafio IoT tem como objetivo agregar conhecimento e habilidades técnicas na área de desenvolvimento de *software* embarcado em IoT a qualquer interessado no assunto, promovendo um primeiro contato com o desenvolvimento em IoT, no contexto de casas inteligentes.

Alguns dos diferenciais do Desafio IoT são a imersão no desenvolvimento de soluções IoT no contexto de casas inteligentes, ser um jogo sério e o uso de linguagem C para a programação de *software* embarcado. Após o desenvolvimento do Desafio IoT, o jogo foi disponibilizado por 42 dias na disciplina Programação de Sistemas Embarcados da Universidade Federal de Itajubá, onde foi avaliado por 31 alunos.

Os estudantes responderam ao questionário de conhecimento técnico antes e após utilizarem o jogo, e a outros dois questionários, um sobre a utilização do jogo e um de avaliação, depois do período de testes.

A comparação entre as respostas do questionário de conhecimento técnico pré e pós-teste apontou que a utilização do jogo teve efeito positivo no aprendizado sobre: a utilidade da IoT, microcontroladores, programação *firmware*, resolver problemas com IoT, uso de bibliotecas, sensores/atuadores, ESP32 e FreeRTOS.

Por meio do questionário sobre a utilização do jogo os estudantes puderam responder como decorreu a experiência com o Desafio IoT, por meio de respostas objetivas e o espaço de comentários em cada pergunta. Destaca-se os comentários que apontaram a importância do manual de instruções, assim como outros que consideraram o manual insuficiente para ensinar a jogar e sugeriram um vídeo ou tutorial. Adicionalmente, os alunos queixaram-se da falta da opção de salvar o progresso do jogo.

As respostas ao formulário de avaliação MEEGA+ permitiram identificar os aspectos mais positivos do jogo, assim como pontos de melhorias. As dimensões "relevância", "desafio" e "satisfação" alcançaram resultado considerado ótimo. As dimensões "confiança", "usabilidade", "aprendizagem percebida" e "diversão" tiveram bom desempenho. A dimensão "atenção focada" foi o aspecto do jogo com menor aprovação. Em uma escala de 1 a 5, a avaliação geral do jogo Desafio IoT foi de 3,48. De modo geral, as mecânicas de jogo e de aprendizado foram bem avaliadas e funcionaram em conjunto.

Cumriu-se o objetivo de desenvolver um jogo sério de resolução de problemas com aplicações IoT, o qual foi testado por um grupo de estudantes da área de computação e disponibilizado como jogo final em um *site*, bem como o GitHub do projeto. O jogo foi bem avaliado pelos estudantes nos critérios analisados e teve êxito em apresentar os conceitos para desenvolvimento de aplicações IoT e incentivar os estudantes a aprofundar os conteúdos apresentados no jogo.

As principais limitações relativas à avaliação realizada nesta dissertação são:

- Limitações da amostra – pois o estudo foi realizado com as duas turmas de Programação de Sistemas Embarcados ministradas no segundo semestre de 2022 na UNIFEI, que totalizaram 122 alunos. No entanto, como a participação foi voluntária, 38 estudantes participaram do pré-teste e apenas 31 alunos realizaram todas as etapas avaliativas. A validade e a representatividade dos resultados podem ser melhoradas testando o jogo em outras turmas;
- Acompanhamento da utilização do jogo – os participantes tiveram um período de algumas semanas para utilizarem o jogo extraclasse. Dessa forma, não houve acompanhamento tanto para auxiliar com dificuldades durante a experiência como para garantir a utilização por um tempo mínimo.

Como trabalhos futuros, propõe-se o incremento do Desafio IoT para outras áreas, como cidades inteligentes, além de casas inteligentes, que foi o foco desta abordagem. É preciso também realizar melhorias sobretudo no aspecto de intensificar a atenção do jogador, considerando a avaliação realizada. Além disso, os componentes de *hardware* e *software* utilizados no jogo podem ser ampliados, bem como a quantidade de desafios propostos.

REFERÊNCIAS

ABT, C. C. **Serious Games**. Lanham: University Press of America, 1987.

ALBAHRI, A. S. *et al.* IoT-based telemedicine for disease prevention and health promotion: State-of-the-Art. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 173, p. 102873, 2021.

ALLIED MARKET RESEARCH. **Serious Games Market by Gaming Platform, Application, Industry Vertical, and Region: Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021-2030**. Disponível em: <<https://www.alliedmarketresearch.com/serious-games-market>> Acesso em: 1 jun. 2022.

ALONSO-FERNÁNDEZ, C. *et al.* Predicting students' knowledge after playing a serious game based on learning analytics data: A case study. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 36, n. 3, p. 350-358, 2020.

AMINI, K., 2019. **Extreme C**. Packt Publishing. 1ª edição (31 outubro 2019).

ARNAB, S. *et al.* Mapping learning and game mechanics for serious games analysis. **British Journal of Educational Technology**, v. 46, n. 2, p. 391-411, 2015.

ASGHARI, P. *et al.* Internet of Things applications: A systematic review. **Computer Networks**, v. 148, p. 241-261, 2019.

ASHTON, K. *et al.* That 'internet of things' thing. **RFID Journal**, v. 22, n. 7, p. 97114, 2009.

BALTA-OZKAN, N. *et al.* European smart home market development: public views on technical and economic aspects across the United Kingdom, Germany and Italy. **Energy Research & Social Science**, v. 3, p. 65-77, 2014.

BARR, M. **Programming embedded systems in C and C++**. O'Reilly Media, Inc., 1999.

BARROS, E. S. Aplicação de jogos digitais educacionais e simuladores na capacitação profissional no setor agroindustrial. **Dissertação** (Mestrado em Administração) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Jaboticabal, 126 p. 2020.

BURHAN, M. *et al.* IoT elements, layered architectures and security issues: A comprehensive survey. **Sensors**, v. 18, n. 9, p. 2796, 2018.

CAMACHO-GUERRERO, J. A; MACEDO A. A. “Html5, css3 and jquery mobile for intelligent home control”. In: **Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Multimedia and the Web**. p. 9-10, 2013.

CHEUNG, A. K. Structured questionnaires. In: **Encyclopedia of quality of life and well-being research**. Cham: Springer International Publishing, p. 1-3, 2021.

CHOCHIANG, K. *et al.* ArViz: An IoT Teaching Tool for High School Students. In: **2019 23rd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)**. IEEE, p. 87-91, 2019.

CLUA, E.; RODRIGUES, R. F. **Jogos, entretenimento e expressões digitais**. Cristiano Maciel, José Viterbo. Computação e Sociedade. Cuiabá: EdUFMT Digital, v.3, p. 98-139, 2020.

CRISTÓVÃO, L. T. F. Cidades inteligentes - Um jogo digital sério. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 85 p. 2017.

DOLINAY, J. *et al.* Teaching platform for lessons of embedded systems programming. In: **Proceedings of 13th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling & Simulation**, Lanzarote, Canary Islands, p. 158-161, 2011.

ELECTRONICS HUB. **Basics of Microcontrollers** – History, Structure and Applications, 2017. Disponível em:< <https://www.electronicshub.org/microcontrollers-basics-structure-applications/>> Acesso em: 3 abr. 2021.

EMBARCADOS. **Pesquisa sobre o Mercado Brasileiro de Desenvolvimento de Sistemas Embarcados e IoT 2019**. 2019. Disponível em:< <https://www.embarcados.com.br/pesquisa-mercado-brasileiro-2019/>> Acesso em: 1 jun. 2022.

EMBARCADOS. **Relatório da Pesquisa sobre o Mercado Brasileiro de Sistemas Embarcados e IoT 2021**. 2021. Disponível em:< <https://www.embarcados.com.br/relatorio-da-pesquisa-sobre-o-mercado-brasileiro-de-sistemas-embarcados-e-iot-2021/>> Acesso em: 1 jun. 2022.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32WROOM32 Datasheet**, 2022. Disponível em: < https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf > Acesso em: 1 jul. 2022.

ESP32-WROOM-32, **ESP 32 Wifi e Bluetooth**, 2022. Disponível em: < https://www.wjcomponentes.com.br/esp-32?parceiro=6298&gclid=Cj0KCQjwzqSWBhDPARIsAK38LY_x-FZmPh4BTAbebD10R6gFEHM3aYhWk1knOXOQ_ufzEw2xX0qoXPsaApDgEALw_wcB> Acesso em: 1 jul. 2021.

FEICHAS, F. A.; SEABRA, R. D.; SOUZA, A. D. Gamificação no ensino superior em ciência da computação: Uma revisão sistemática da literatura. **RENOTE**, v. 19. p. 443-452, 2021.

FREERTOS. **FreeRTOS - Sistema operacional em tempo real para microcontroladores**. Disponível em: <<https://www.freertos.org/>> Acesso em: 1 jul. 2022.

GONZÁLEZ, J. *et al.* The use of video-gaming devices as a motivation for learning embedded systems programming. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 2, p. 199-207, 2012.

GU, C. **Building Embedded Systems: Programmable Hardware**. Apress, 2016.

HARADA, H. *et al.* IEEE 802.15.4g Based Wi-SUN Communication Systems. **Special Section on Smart Radio and Its Applications in Conjunction with Main Topics of SmartCom**, p. 23-36, 2017.

HELTZEL, P. **11 posições de TI com falta de profissionais qualificados**, 2018. Disponível em: <<https://computerworld.com.br/carreira/11-posicoes-de-ti-com-falta-de-profissionais-qualificados>> Acesso em: 9 mar 2021.

HUIZINGA, J. **Homo Ludens: o jogo como elemento da cultura**. 7. ed. São Paulo: Perspectiva, 2012.

IOT SURVEYS. **IoT Developer Survey 2020 Results**, 2020. Disponível em: <<https://iot.eclipse.org/community/resources/iot-surveys/>> Acesso em: 14 abr. 2021.

ISMAIL, Y. **Internet of things (iot) for automated and smart applications**. BoD–Books on Demand, 2019.

KIM, T. *et al.* Smart city and IoT. **Future Generation Computer Systems**, v. 76, p.159-162, 2017.

LAAMARTI, F. *et al.* A. An overview of serious games. **International Journal of Computer Games Technology**, v. 3, 2014.

LEITE, J. R. E. *et al.* **A Internet das Coisas (IoT): Tecnologias e Aplicações.** Campinas. BTSYM 2017 Proceedings. Campinas, p. 1-6, 2017.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 140, p. 5-55, 1932.

MADAKAM, S. *et al.* Internet of Things (IoT): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, v. 3, n. 5, p. 164, 2015.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa. **Departamento de Ciência de Computação e Estatística–IBILCE–UNESP**, v. 17, 2012.

MARIKYAN, D. *et al.* A systematic review of the smart home literature: A user perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 138, p. 139-154, 2019.

MAVROUDI, A. *et al.* Game-based learning for IoT: the tiles inventor toolkit. In: **Interactive Mobile Communication, Technologies and Learning**. Springer, Cham, p. 294-305, 2017.

MAZZER, D. *et al.* **Protocolos M2M para ambientes limitados no contexto do IoT: Uma comparação de abordagens.** Inatel. 2015. Disponível em: <<https://www.inatel.br/smartcampus/imgs/protocolos-para-iot-pt.pdf>> Acesso em: 1 out. 2021.

MAZIERO, C. **Alocação de memória.** Disponível em: <http://wiki.inf.ufpr.br/maziero/doku.php?id=prog2:alocacao_de_memoria> Acesso em: 14 mai. 2021.

MCKINSEY. **Connected Home Market.** 2019. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/spcontent/connected_homes/pdf/mckinsey_connect

edhome.pdf?fbclid=IwAR09qUAGhtsNLR37c9n3fAz2kleh-
YLjLNihQGfJhd1r6ceLgiMSqkSahw > Acesso em: 1 jun. 2022.

MORRISON, B. B.; PRESTON, J. A. Engagement: gaming throughout the curriculum. In: **Proceedings of the 40th Technical Symposium on Computer Science Education**. ACM, Nova York, NY, EUA, p. 342-346, 2009.

MOSS, D. G. Efficient C/C++ Coding Techniques. **Embedded Systems Conference**. 2001. Disponível em <http://www.openstd.org/jtc1/sc22/WG21/docs/ESC_Boston_01_304_paper.pdf> Acesso em: 20 mai 2021.

MUKAKA, M. J. M. M. J. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation in medical research. **Malawi Med J**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

NASCIMENTO, D. R.; FETTERMANN, D. Quais os fatores que interferem na aceitação das tecnologias da casa inteligente pelo usuário: uma revisão. **Produto & Produção**, v. 22, n. 3, 2021.

NIMA, U. *et al.* A serious game for competence development in internet of things and knowledge sharing. In: **2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. IEEE, p. 1786-1790, 2018.

NIŽETIĆ, S. *et al.* Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 565-591, 2019.

OLIVEIRA, J. R.; SHIN-TING, W. **Tópico 10**. DCA - FEEC Unicamp. 2019.

OLIVERI, M. *et al.* Designing an IoT-focused, multiplayer serious game for industry 4.0 innovation. In: **2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)**. IEEE, p. 1-9, 2019.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. Saraiva Educação SA, 2007.

PETRI, G. *et al.* MEEGA+: Um Modelo para a Avaliação de Jogos Educacionais para o ensino de Computação. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 27, n. 3, p. 52-81, 2019.

POPLI, S. *et al.* A survey on energy efficient narrowband Internet of Things (NBloT): architecture, application and challenges. **IEEE Access**, v. 7, p. 16739-16776, 2019.

RAJU, K. L.; VIJAYARAGHAVAN, V. IoT technologies in agricultural environment: a survey. **Wireless Personal Communications**, v. 113, n. 4, p. 2415-2446, 2020.

SADEEQ, M. A.; ZEEBAREE, S. Energy management for internet of things via distributed systems. **Journal of Applied Science and Technology Trends**, v. 2, n. 2, p. 59-71, 2021.

SANTOS, B. P. *et al.* Internet das coisas: da teoria à prática. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 1, p. 15–52, 2016.

SANTOS, C. R.; SEABRA, R. D. Jogo sério para imersão no desenvolvimento de software embarcado em internet das coisas no contexto de casas inteligentes. **Revista Novas Tecnologias na Educação – RENOTE**, v. 20, n. 2, p. 155-164, 2022.

SATO, A. K. O.; CARDOSO, M. V. Além do gênero: uma possibilidade para a classificação de jogos. **SBC – Proceedings of SBGames**, v. 8, p. 54-63, 2014.

SAVI, R. *et al.* A model for the evaluation of educational games for teaching software engineering. In: **2011 25th Brazilian Symposium on Software Engineering**. IEEE, p. 194-203, 2011.

SCHILDT, H. **C completo e total**. Makron, 1997.

SOUZA, B.; WERNER, C. Challenges and opportunities on using games to support IoT systems teaching. **Latin American Learning Objects Community (LACLO)**, Arequipa, Peru, p. 1-4, 2021.

SOVACOOOL, B. K.; DEL RIO, D. D. F. Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 120, p. 109663, 2020.

STANDARD, OASIS. **MQTT version 3.1.1**, 2014. Disponível em: <<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3>> Acesso em: 1 out. 2021.

STATISTA. **Smart Home – Worldwide**, 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/outlook/dmo/smart-home/worldwide#smart-homes>> Acesso em: 26 out 2022

TRANSFORMA INSIGHTS. **Transforma Insights makes powerful new IoT forecast resource available for all**, 2021. Disponível em: <<https://transformainsights.com/news/powerful-new-iot-forecast-tool>> Acesso em: 23 out 2021.

TSCHOFENIG, H. *et al.* Architectural considerations in smart object networking. **RFC Editor**, 2015. Disponível em: <<https://rfc-editor.org/rfc/rfc7452.txt>> Acesso em: 1 out. 2021.

UZUNCA, B.; JANSEN, S. **How do Ecosystem Dynamics work in Serious Gaming Ecosystems?** Challenges and Opportunities. Strategic Management Society, 2016.

VENKATESAN, C. *et al.* Design of a 16-bit harvard structure RISC processor in cadence 45nm technology, 2019. **5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)**. IEEE, p. 173-178, 2019.

WI-SUN. **Comparing IoT networks at a glance: How WI-SUN FAN stacks up against LoRaWAN and NB-IoT**, 2019. Disponível em: <<https://www.wi-sun.org/wp->

content/uploads/WiSUN-Alliance-Comparing-IoT-Networks-2019-Nov-A4.pdf>

Acesso em: 1 out. 2021.

WILKINSON, P. A brief history of serious games. In: **Entertainment computing and serious games**. Dagstuhl Castle, Germany: Revised Selected Papers, p. 17-41, 2016.

WU, M. *et al.* Research on the architecture of Internet of Things. In: **2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)**. IEEE, p. V5-484-V5-487, 2010.

ZARTE, M.; PECHMANN, A. Concept for introducing the vision of industry 4.0 in a simulation game for non-IT students. In: **2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)**. IEEE, p. 512-517, 2017.

ZHOU, K. *et al.* Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges., 2015. **12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)**. IEEE, p. 2147-2152, 2015.

APÊNDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, analisei a possibilidade de participar de uma atividade envolvendo o uso de um jogo sério para estudo do desenvolvimento de *firmware* em Internet das Coisas, na disciplina de Programação de Sistemas Embarcados da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Fui informado pelos responsáveis pela atividade que, sob nenhuma hipótese, os participantes desse estudo terão seus nomes citados em qualquer meio de divulgação desta pesquisa. Os pesquisadores responsáveis garantem o sigilo quanto às informações coletadas que me identifiquem, assim como o uso de tais dados apenas em publicações e eventos de natureza científica.

Estou ciente de que minha participação é inteiramente voluntária e gratuita. Não sofrerei nenhuma espécie de prejuízo ou punição se, mesmo depois de iniciado o teste, resolver interromper a atividade. A realização da atividade não atrapalhará o desempenho dos estudos dentro e fora da sala de aula.

Estou de acordo em participar da pesquisa e, pela presente, consinto voluntariamente em participar da mesma.

Itajubá, _____ de _____ de 2022.

Assinatura do pesquisador responsável: _____

Assinatura do Responsável

Assinatura do Participante

Agradeço antecipadamente sua colaboração e me coloco à disposição para o esclarecimento de eventuais dúvidas por meio do telefone (35) 99943-4657, das 8h às 17hs. E-mail: cleidianareis@unifei.edu.br

APÊNDICE B:

QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTO TÉCNICO

Este questionário foi aplicado antes e após a utilização do jogo.

Nome: _____ Data: _____

Idade: _____ Período: _____ Curso: _____

Por gentileza, responda as questões a seguir.

Questão 1: Eu entendo a utilidade de aplicações IoT.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 2: Eu sei para que serve um microcontrolador.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 3: Eu sei como é feita a programação de *firmware*.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 4: Eu já resolvi um problema ou desenvolvi um projeto usando IoT.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 5: Eu gostaria de trabalhar com desenvolvimento de *firmware* para IoT.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 6: Eu sei utilizar bibliotecas para escrever códigos.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 7: Eu estou familiarizado com sensores e atuadores (dispositivos de saída), como partes de um projeto.

- Discordo totalmente
- Discordo parcialmente
- Nem concordo nem discordo
- Concordo parcialmente
- Concordo totalmente

Questão 8: Quantos exemplos IoT você consegue citar?

- Nenhum
- 1
- 2
- 3
- Mais de 3

Questão 9: Selecione os sistemas operacionais de tempo real (RTOS) que você conhece.

- Threadx
- Micrium OS
- TizenRT
- FreeRTOS
- Outro. Especifique _____

Questão 10: Selecione os microcontroladores/fabricantes que você conhece.

- Arduino
- STM
- MSP
- ESP32
- Outro. Especifique _____

Questão 11: Selecione as linguagens de programação que você conhece.

- C
- C++
- R
- Python
- Outra. Especifique _____

O espaço abaixo é destinado a quaisquer comentários adicionais.

APÊNDICE C:

QUESTIONÁRIO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO JOGO

Este questionário foi aplicado após a utilização do jogo.

Nome: _____

Por gentileza, responda as questões a seguir.

Questão 1: Você gosta de jogos?

- Sim
- Não

Disserte sobre sua resposta.

Questão 2: Você estudou para jogar?

- Sim
- Não

Disserte sobre sua resposta.

Questão 3: Você teve interesse em aprofundar algum conceito aprendido no jogo?

- Sim
- Não

Disserte sobre sua resposta.

Questão 4: Quantas horas você passou jogando?

- Menos de 1 hora
- De 1 ~ 2 horas
- De 2 ~ 3 horas
- De 3 ~ 4 horas
- Acima de 4 horas

Disserte sobre sua resposta.

Questão 5: Há quanto tempo jogou o jogo pela última vez?

- Menos de 1 semana
- Entre 1 ~ 2 semanas
- Mais de 2 semanas
- Apenas na semana que o jogo foi apresentado
- Outra. Especifique _____

Disserte sobre sua resposta.

APÊNDICE D: FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO MEEGA+

Este questionário foi aplicado após a utilização do jogo.

Nome: _____

Por gentileza, responda as questões a seguir.

Avalie as afirmações abaixo	Discordo completamente	Discordo	Neutro	Concordo	Concordo completamente
1 - O <i>design</i> do jogo é atraente (interface, gráficos, tabuleiro, cartas).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2 - Os textos, cores e fontes combinam e são consistentes.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3 - Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a jogar o jogo.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4 - Aprender a jogar este jogo foi fácil para mim.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5 - Eu acho que a maioria das pessoas aprenderia a jogar este jogo rapidamente.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6 - Eu considero que o jogo é fácil de jogar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
7 - As regras do jogo são claras e compreensíveis.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
8 - As fontes (tamanho e estilo) utilizadas no jogo são legíveis.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
9 - As cores utilizadas no jogo são compreensíveis.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
10 - O jogo me protege de cometer erros.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11 - Quando eu cometo um erro é fácil de me recuperar rapidamente.	<input type="radio"/>				
12 - Quando olhei pela primeira vez o jogo, eu tive a impressão de que seria fácil para mim.	<input type="radio"/>				
13 - A organização do conteúdo me ajudou a estar confiante de que eu iria aprender com este jogo.	<input type="radio"/>				
14 - Este jogo é adequadamente desafiador para mim.	<input type="radio"/>				
15 - O jogo oferece novos desafios (oferece novos obstáculos, situações ou variações) com um ritmo adequado.	<input type="radio"/>				
16 - O jogo não se torna monótono nas suas tarefas (repetitivo ou com tarefas chatas).	<input type="radio"/>				
17 - Completar as tarefas do jogo me deu um sentimento de realização.	<input type="radio"/>				
18 - É devido ao meu esforço pessoal que eu consigo avançar no jogo.	<input type="radio"/>				
19 - Me sinto satisfeito com as coisas que aprendi no jogo.	<input type="radio"/>				
20 - Eu recomendaria este jogo para meus colegas.	<input type="radio"/>				
21 - Eu me diverti com o jogo.	<input type="radio"/>				
22 - Aconteceu alguma situação durante o jogo (elementos do jogo, competição) que me fez sorrir.	<input type="radio"/>				
23 - Houve algo interessante no início do jogo que capturou minha atenção.	<input type="radio"/>				
24 - Eu estava tão envolvido no jogo que eu perdi a noção do tempo.	<input type="radio"/>				
25 - Eu esqueci sobre o ambiente ao meu redor enquanto jogava este jogo.	<input type="radio"/>				
26 - O conteúdo do jogo é relevante para os meus interesses.	<input type="radio"/>				
27 - É claro para mim como o conteúdo do jogo está relacionado com a disciplina.	<input type="radio"/>				
28 - O jogo é um método de ensino adequado para esta disciplina.	<input type="radio"/>				

29 - Eu prefiro aprender com este jogo do que de outra forma (outro método de ensino).	<input type="radio"/>				
30 - O jogo contribuiu para a minha aprendizagem na disciplina	<input type="radio"/>				
31 - O jogo foi eficiente para minha aprendizagem, em comparação com outras atividades da disciplina.	<input type="radio"/>				

O espaço abaixo é destinado a quaisquer comentários adicionais.
