

iscte

INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Caso de estudo na Reutilização e Reciclagem de Equipamento Informático com a implementação de um Assistente Virtual.

José Fernando Barros

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Orientador:

Professor Doutor, Ruben Filipe de Sousa Pereira, Professor Auxiliar
ISCTE - Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Junho, 2024

iscte

TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Caso de estudo na Reutilização e Reciclagem de Equipamento Informático com a implementação de um Assistente Virtual.

José Fernando Barros

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Orientador:

Professor Doutor, Ruben Filipe de Sousa Pereira, Professor Auxiliar
ISCTE - Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Junho, 2024

Agradecimentos

Agradecer em primeiro lugar aos meus familiares mais diretos pela compreensão da limitação do tempo dedicado, e da alteração das prioridades durante este período.

Agradecer aos colegas Dhiral Chandra e Rui Pereira por estarem sempre presentes e me darem aquela força que no momento certo faz toda a diferença.

Agradecer aos professores, cuja orientação, apoio e compreensão foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, a todos os amigos e colegas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta tese, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

José Barros

Resumo

O avanço tecnológico com prenuncio na lei de Moore, que prevê que o poder de processamento dos computadores dobra a cada 18 meses, resulta num crescimento exponencial da capacidade de computação com custos decrescentes [1]. No entanto, esse progresso, aliado ao desenvolvimento de novos equipamentos com ciclos de vida cada vez mais curtos, torna-os rapidamente obsoletos, incentivando a aquisição de novos equipamentos e o abandono inadequado dos atuais. Esta prática coloca em risco o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade ambiental [2].

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um assistente virtual integrado numa plataforma digital, permitindo diagnósticos precisos e sugestões práticas para a reutilização e abandono adequado de equipamentos eletrônicos. O assistente virtual, oferece diagnósticos precisos e personalizados para equipamentos avariados, propondo soluções que prolongam a vida útil dos dispositivos e apresenta os custos associados. Além disso, a plataforma digital que sustenta este projeto, é concebida não apenas como uma ferramenta para a eficiência operacional, mas também como um meio para promover a consciencialização e a adoção de práticas ambientais responsáveis, alinhadas com os princípios da economia circular [3].

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da abordagem na redução do abandono inadequado e no aumento da consciencialização ambiental dos utilizadores.

Palavras-chave:

Reutilização; Reciclagem; Logística Inversa; Sustentabilidade; Economia Circular; Assistente Virtual; ChatBot.

Abstract

The technological advances foreshadowed by Moore's law, which predicts that the processing power of computers doubles every 18 months, resulting in exponential growth in computing capacity with decreasing costs. However, this progress, combined with the development of new equipment with shorter life cycles, quickly makes it obsolete, encouraging the acquisition of new equipment and the inappropriate abandonment of current ones. This practice puts the ecological balance and environmental sustainability at risk.

This work aims to develop and evaluate a virtual assistant integrated into a digital platform, allowing accurate diagnoses and practical suggestions for the reuse and proper disposal of electronic equipment. This virtual assistant offers accurate and personalized diagnoses for faulty equipment, proposing solutions that extend the lifetime of devices and presents the associated costs. Furthermore, the digital platform that supports this project is designed not only as a tool for operational efficiency, but also to promote awareness and the implementation of responsible environmental practices, aligned with the principles of the circular economy.

The results obtained demonstrate the effectiveness of the approach in reducing inadequate abandonment and increasing the environmental awareness of the users.

Key words:

Reuse; Recycling; Reverse Logistics; Sustainability; Circular Economy; Virtual Assistant; Chatbot.

Índice

Agradecimentos	ix
Resumo	xi
Abstract	xii
Índice de Tabelas	xvi
Índice de Gráficos	xvii
Índice de Figuras	xviii
Acrónimos	xix
Capítulo 1	1
Introdução	1
1.1 Identificação do Problema e Motivação.	1
1.2 Contexto.....	2
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Estrutura do Documento	6
Capítulo 2	7
Contexto Teórico	7
2.1 Revisão de Literatura.	7
2.1.1 A Lei de Moore e a Obsolescência dos Dispositivos Eletrônicos.	7
2.1.2 Impactos Ambientais dos Resíduos Eletrônicos.	8
2.1.3 Sustentabilidade e Economia Circular.	8
2.1.4 Tecnologias Digitais e Sustentabilidade.	8
2.1.5 Logística Inversa e Reutilização de Dispositivos Eletrônicos.	9
2.1.6 Consciencialização e Adoção de Práticas Ambientais Responsáveis.....	9
2.2 Conclusão da Revisão de Literatura	9
Capítulo 3	11
Trabalho Relacionado	11
3.1 Discussão	14
Capítulo 4	19
Metodologia de investigação	19
4.1 Identificação do Problema e Motivação	20
4.2 Definição dos Objetivos da Solução	20
4.3 Design e Desenvolvimento	21
4.4 Demonstração	27

4.5 Avaliação	27
4.6 Comunicação dos Resultados	28
Capítulo 5	29
Demonstração.....	29
5.1 Exemplos de Utilização dos Artefactos	29
5.2 Casos de Uso.....	29
5.3 Construção do Chatbot Baseado em RAG	35
Capítulo 6	37
Avaliação	37
6.1 Metodologia de Avaliação	37
6.2 Detalhe do Perfil dos Entrevistados	38
6.3 Avaliação da Eficácia dos Artefactos	39
6.4 Métricas e Feedback dos Utilizadores	40
6.4.1 Questionário de Satisfação.....	41
6.4.2 Feedback Qualitativo	44
Capítulo 7	47
Conclusão	47
7.1 Resposta aos objetivos	47
7.2 Principais Contribuições	48
7.3 Limitações do Estudo.....	48
7.4 Trabalho Futuro	48
7.5 Considerações Finais	49
Referências Bibliográficas	50

Índice de Tabelas

Tabela 1. Sistematização de Keywords.....	13
Tabela 2. Resumo dos Artigos Relevantes.....	14
Tabela 3. Casos de Uso Comuns.....	27
Tabela 4. Sistematização de Casos de Uso do Assistente Virtual.....	30
Tabela 5. Perfil dos Entrevistados.....	39
Tabela 6. Método de Avaliação.....	40
Tabela 7. Net Promoter Score (NPS)	43

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Nível de Interação com Tecnologia	37
Gráfico 2. Faixa Etária	37
Gráfico 3. Experiência Profissional	37
Gráfico 4. Experiência Geral no uso do Chatboot	41
Gráfico 5. Usabilidade do Chatbot	41
Gráfico 6. Utilidade das Soluções Propostas	42
Gráfico 7. Satisfação Geral com a Ajuda Recebida	42
Gráfico 8. Avaliação da satisfação dos utilizadores na Solução do Problema.....	43
Gráfico 9. Avaliação da Probabilidade de recomendação.....	44

Índice de Figuras

Figura 1. Quantidade de E-waste Gerado e Recolhido per capita em Kg no ano 2022.	2
Figura 2. Processo de seleção, diagrama PRISMA.	12
Figura 3. Modelo do processo da metodologia DSRM.	19
Figura 4. Base de Conhecimento.	23
Figura 5. Ficha Técnica.	24
Figura 6. Código Consolidação de Dados.	25
Figura 7. Teste de usabilidade Q&A, formuladas por um utilizador.	31
Figura 8. Teste de usabilidade Q&A, formuladas por um utilizador.	31
Figura 9. Teste de usabilidade Q&A, evidenciando um fluxo na conversação.	32
Figura 10. Teste de usabilidade Q&A, com despistagem a levar a cabo pelo utilizador.	32
Figura 11. Teste de usabilidade Q&A, problema e custos associados.	33
Figura 12. Teste de usabilidade Q&A, apresentação do sintoma com a indicação do provável problema e solicitação do custo para resolução. Mantendo um fluxo na conversação.	33
Figura 13. Mapa com indicação de pontos de reciclagem.	34
Figura 14. Informação como preparar o dispositivo.	34
Figura 15. Exemplo de informação útil sobre gestão de resíduos.	34

Acrónimos

EEE - Electrical and Electronic Equipment

End of Life - End of Live

EPR - Extended Producer Responsibility

EU - European Union

EU RoHS Directive - Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council

EU WEEE Directive - Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council

IA - Inteligência Artificial

IoT – Internet of Things

ITU - International Telecommunication Union

LCD - Liquid Crystal Display

LED - Light-Emitting Diode

LLMs - Large Language Models

ML - Machine Learning

NPS - Net Promoter Score

Q&A – Question and Answer

RAG - Retrieval-Augmented Generation

REEE - Waste Electrical and Electronic Equipment

SDGs Sustainable Development Goals

UNIDO - United Nations Industrial Development Organization

UNITAR - United Nations Institute for Training and Research

UNU - United Nations University

WEEE - Waste Electrical and Electron

Capítulo 1

Introdução

1.1 Identificação do Problema e Motivação.

No limiar do século XXI, a sociedade enfrenta desafios sem precedentes que carecem de uma reavaliação crítica dos nossos hábitos de consumo e da gestão de recursos. A tecnologia, que avança a passos largos, deixa no seu rasto um volume crescente de equipamentos informáticos obsoletos, colocando em risco o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade ambiental [4]. Este avanço tecnológico tem sido um dos principais motores de transformação da sociedade contemporânea. A Lei de Moore, formulada por Gordon Moore em 1965, prevê que o número de transístores num circuito integrado dobraria a cada 18 meses, implicando num aumento exponencial do poder de processamento dos computadores ao longo do tempo [1]. Essa previsão não apenas se concretizou, mas também acelerou a inovação tecnológica e a criação de novos equipamentos com ciclos de vida cada vez mais curtos. Consequentemente, a rápida obsolescência dos dispositivos eletrónicos tem fomentado um padrão de consumo caracterizado pela frequente aquisição de novos aparelhos e pelo abandono prematuro dos antigos. Este padrão de consumo, entretanto, traz consigo sérias implicações ambientais. O abandono inadequado de computadores e outros dispositivos eletrónicos contribui significativamente para a geração de resíduos eletrónicos (e-waste), que representam uma ameaça ao equilíbrio ecológico e à sustentabilidade ambiental [5]. Esses resíduos contêm substâncias tóxicas, como mercúrio, chumbo e cádmio, que podem contaminar o solo e a água, causando danos à saúde humana e à biodiversidade [6], [7]. Além disso, a extração e o processamento de materiais para o fabrico de novos equipamentos eletrónicos exigem grandes quantidades de recursos naturais e energia, aumentando a pegada ecológica [6].

Neste contexto, torna-se imperativo encontrar soluções que minimizem o impacto ambiental negativo do abandono de dispositivos eletrónicos. Este trabalho aborda o problema do abandono inadequado, em muitos casos prematuro, de computadores e outros dispositivos eletrónicos, que contêm substâncias tóxicas prejudiciais ao meio ambiente.

Para uma melhor perceção desta necessidade, na Figura 1, estão representados os dados distribuídos pelos cinco continentes, com a quantidade de resíduos eletrónicos gerados e recolhidos per capita, em Kg, por região referente ao ano 2022 [5]

Lixo eletrônico gerado e documentado como formalmente recolhido e reciclado por região em 2022.

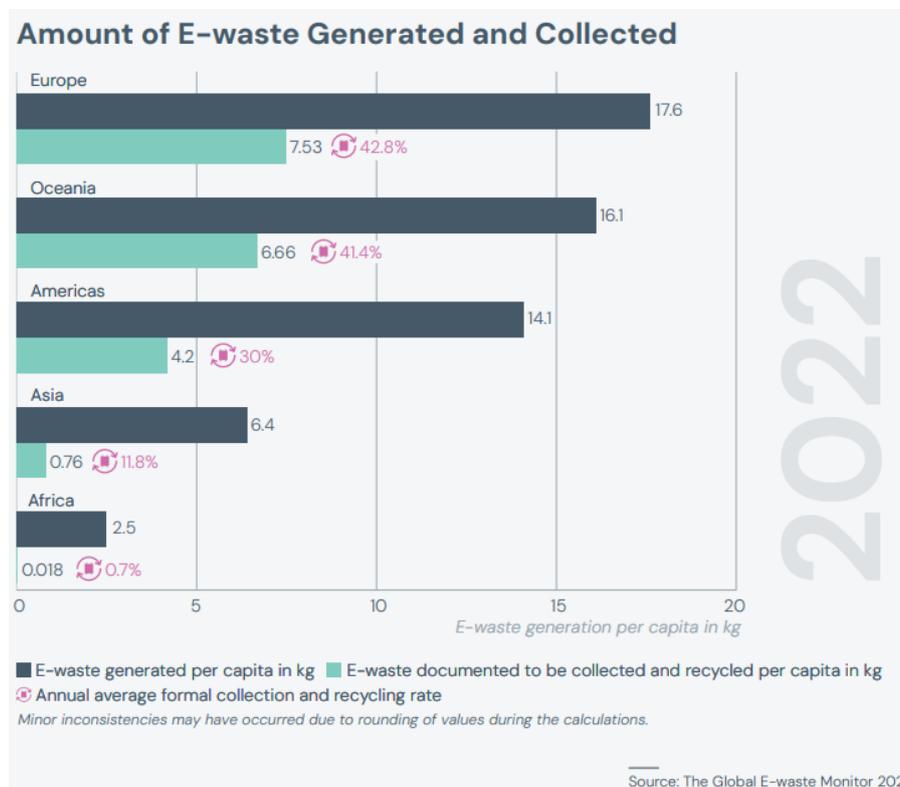


Figura 1. Quantidade de E-waste Gerado e Recolhido per capita em Kg no ano 2022.
Fonte: the Global E-waste Monitor 2024.

As taxas documentadas de recolha formal e reciclagem variam significativamente entre as regiões. Em 2022, a Europa foi a região que mais gerou lixo eletrônico (17,6 kg per capita) e teve a maior taxa de recolha e reciclagem documentada (7,5 kg per capita), reciclando 42,8% do lixo eletrônico gerado. Os países africanos tiveram a taxa mais baixa, com menos de 1% do lixo eletrônico sendo documentado como formalmente recolhido e reciclado.

Na interseção entre inovação tecnológica e responsabilidade ambiental, encontramos não apenas os desafios do presente, mas também as oportunidades para moldar um futuro mais sustentável e equitativo. Que este trabalho inspire ações concretas e soluções criativas para transformar resíduos em recursos e obsolescência em oportunidades de renovação.

1.2 Contexto

A transição digital, que serve de alicerce para este projeto, é concebida não apenas como uma ferramenta para a eficiência operacional, mas também como um meio para promover a consciencialização e a adoção de práticas ambientais responsáveis [2]. Este projeto contempla

o desenvolvimento de um assistente virtual numa plataforma digital como uma abordagem inovadora para enfrentar esse desafio [8], [9].

A tecnologia dos assistentes virtuais, como chatbots, oferece uma solução promissora para mitigar este problema, através de diagnósticos precisos e personalizados, um assistente virtual pode prolongar a vida útil dos dispositivos eletrónicos, promovendo a reutilização e reciclagem.

A integração de um assistente virtual (chatbot), alimentado por uma base de dados robusta de registos de intervenções técnicas, representa um salto qualitativo na interação com o utilizador, oferece diagnósticos precisos e personalizados para equipamentos avariados, propondo soluções que visem prolongar a vida útil dos dispositivos.

A plataforma digital, por sua vez, atua como uma ferramenta não apenas para melhorar a eficiência operacional, mas também para promover a consciencialização e a adoção de práticas ambientais responsáveis, em conformidade com os princípios da economia circular [3], [10].

A economia circular é um modelo económico que procura redefinir o conceito de crescimento, focado em benefícios positivos para toda a sociedade [11]. Este modelo implica desvincular progressivamente a atividade económica do consumo de recursos finitos e em eliminar resíduos do sistema desde o início. Ao promover a reutilização, a reciclagem e a logística inversa, a economia circular oferece um caminho viável para a sustentabilidade, preservando o valor dos produtos, materiais e recursos na economia pelo maior tempo possível.

Neste estudo de caso, a empresa em análise com mais de 20 anos de experiência na utilização de componentes recondicionados, dispõe de um acervo inicial de mais de 900 equipamentos, focado na reutilização de partes dos seus componentes. Adicionalmente, uma base de dados com mais de 20 mil intervenções técnicas fornece os recursos iniciais para avaliar a viabilidade técnica e comercial da reutilização de equipamentos informáticos. Além disso, discute-se o impacto social do projeto, que inclui a criação de empregos especializados e a promoção de uma cultura de responsabilidade ambiental.

Assim, este trabalho não só contribui para o corpo académico de conhecimento sobre sustentabilidade e tecnologia, mas também oferece um modelo prático e replicável para a gestão de resíduos eletrónicos e recuperação de equipamentos informáticos prolongando-lhes a vida útil.

Que tipo de incidências estão na origem do maior número de reparações que promovem a reutilização do equipamento em análise e conseqüentemente o aumento da sua vida útil? Que solução promove o aumento da vida útil e que custos estão associados?

As respostas a estas questões são fornecidas pelo assistente virtual, Chatbot, com base no conjunto de informações textuais recolhidas a partir dos registos de intervenções técnicas.

Sendo um modelo de Recuperação de Informação Personalizado, de Inteligência Artificial Generativa, otimizado com uma base de conhecimento privada, foi projetado para que, dado um conjunto de dados de informações textuais, o algoritmo seja capaz de recuperar as informações necessárias com base na entrada do utilizador [12]. O algoritmo usado é um algoritmo de Aprendizagem Superficial que inclui um conjunto pré-definido de respostas possíveis [13], [14]. O chatbot processa a consulta feita pelo utilizador e, com base nessa entrada, escolhe uma das respostas disponíveis no seu conjunto. A base de conhecimento para esse tipo de modelo é formada por um banco de dados de pares de perguntas-respostas. Um índice de diálogos é construído a partir desse banco de dados, com o fim de listar todas as respostas possíveis tendo por base a mensagem que as solicitou. Quando o utilizador fornece uma entrada ao chatbot, o chatbot trata essa entrada como uma consulta e um modelo de recuperação de informação, semelhante aos usados para consultas da Web, é usado para corresponder a entrada do utilizador a outras semelhantes no índice do diálogo [13]. A saída devolvida ao utilizador é, portanto, a resposta emparelhada com a pergunta selecionada dentre das presentes no índice de diálogo [15]. A principal vantagem deste modelo é que ele garante a qualidade das respostas, já que elas não são geradas automaticamente. Estes modelos viram um aumento na popularidade com o advento da Web 2.0 e o aumento da informação textual disponível que poderia ser recuperada em plataformas de mídia social, fóruns e chats [9].

Uma das principais vantagens desta abordagem é que a base de conhecimento necessária para o efeito, já existia. No entanto, não dispensou uma quantidade significativa de tempo e recursos para organizar, adaptar e treinar o sistema a selecionar uma das respostas corretas disponíveis [9].

Finalmente, devido ao fato deste modelo de chatbot recuperar e gerar respostas contextualmente relevantes a partir de um conjunto pré-definido na sua base de conhecimento, quanto maior a coocorrência, mais estreitamente relacionados estão os termos. Assim, uma alta coocorrência textual local vai influenciar o processo de recuperação da informação associada a um modelo de geração aumentada por recuperação.

A solução desenvolvida é avaliada através de testes com utilizadores para verificar a sua eficácia na promoção da reutilização e no abandono responsável de equipamentos eletrónicos.

1.3 Objetivos

Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar um assistente virtual integrado numa plataforma digital, capaz de fornecer diagnósticos precisos e orientações práticas para a reutilização e abandono adequado de equipamentos eletrónicos, promovendo a sustentabilidade e a economia circular.

Objetivos Específicos

- 1. Desenvolver um assistente virtual** que diagnostique problemas em dispositivos eletrónicos e sugira soluções de reparação para prolongar a sua vida útil.
- 2. Criar uma plataforma digital** que forneça informações sobre pontos de recolha e práticas de abandono responsável, incentivando a reciclagem e reutilização de componentes eletrónicos.
- 3. Avaliar a eficácia da solução** através de testes com utilizadores, medindo o impacto na adoção de práticas sustentáveis e na redução do abandono inadequado de equipamentos eletrónicos.

O assistente virtual tem como função oferecer diagnósticos precisos e personalizados para equipamentos avariados, propondo soluções que prolonguem a vida útil dos dispositivos. Com a integração do assistente virtual, a solução não só facilita a experiência do utilizador, como também reforça a viabilidade do modelo de negócio proposto.

A plataforma digital ajuda a transformar a forma como as pessoas lidam com equipamentos informáticos em fim de vida, tornando a reutilização e reciclagem mais acessíveis e eficazes.

Esta abordagem visa reduzir o volume de resíduos eletrónicos, promovendo a reutilização e reciclagem de componentes, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade ambiental. Além disso, a plataforma digital servirá como uma ferramenta essencial para promover a conscientização e a adoção de práticas ambientais responsáveis. Ao educar os utilizadores sobre os benefícios e métodos de reutilização e reciclagem de equipamentos, a plataforma incentivará comportamentos que minimizem o impacto ambiental e fomentem uma cultura de responsabilidade ecológica.

Alinhada com os princípios da economia circular, que procura manter produtos, componentes e materiais no seu mais alto valor e utilidade, a plataforma promove a reutilização e reciclagem através de um sistema eficiente e intuitivo.

Este projeto contribui para a criação de um ciclo contínuo de uso e recuperação de recursos, essencial para a economia circular. Assim, não apenas mitigamos os impactos ambientais negativos, mas também promovemos um modelo económico sustentável e inovador.

Os objetivos apresentados alinham-se diretamente aos princípios da economia circular, abordando a reutilização, reparação e reciclagem como estratégias para mitigar os impactos ambientais.

1.4 Estrutura do Documento

A estrutura deste trabalho está organizada da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução - Este capítulo aborda a identificação do problema e a motivação para a realização deste estudo, além de fornecer o contexto e definir o objetivo específico e a solução proposta.

Capítulo 2: Contexto Teórico - Contém uma revisão da literatura relacionada aos resíduos eletrónicos, economia circular, sustentabilidade e tecnologias digitais, fornecendo a base teórica para o desenvolvimento do projeto.

Capítulo 3: Trabalho Relacionado - Descreve a metodologia de pesquisa utilizada e a base de dados consultada, analisando os trabalhos anteriores relevantes para o tema em questão.

Capítulo 4: Metodologia de Investigação - Detalha a aplicação da Metodologia DSRM (Design Science Research Methodology) no desenvolvimento do projeto, incluindo o design e desenvolvimento dos artefactos.

Capítulo 5: Demonstração - Apresenta exemplos de utilização dos artefactos desenvolvidos e descreve casos de uso específicos para ilustrar a aplicação prática da solução.

Capítulo 6: Avaliação - Foca na avaliação da eficácia dos artefactos, utilizando métricas específicas e feedback dos utilizadores para medir o sucesso da solução proposta.

Capítulo 7: Conclusão - Comunica os resultados obtidos, discute as contribuições do trabalho e oferece recomendações para futuras pesquisas no campo de resíduos eletrónicos e sustentabilidade.

Capítulo 2

Contexto Teórico

2.1 Revisão de Literatura.

Nos últimos anos, os Assistentes Virtuais evoluíram significativamente devido à integração de Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs), como o ChatGPT. Estes modelos, com capacidades generativas, permitem que os assistentes compreendam e produzam linguagem natural com precisão. No contexto deste trabalho, propõe-se a utilização de Assistentes Personalizados de Inteligência Artificial Generativa, otimizados com bases de conhecimento privadas. Estes assistentes são capazes de:

Recuperar e gerar respostas contextualmente relevantes, facilitando diagnósticos detalhados e soluções práticas.

Minimizar a necessidade de programação intensiva, adaptando-se a diferentes necessidades com pouco feedback humano.

Esta abordagem quebra o paradigma tradicional dos chatbots, promovendo interações mais humanas e eficazes, alinhadas com os princípios da economia circular e a gestão de resíduos eletrônicos.

A presente revisão de literatura visa contextualizar e fundamentar teoricamente este estudo, explorando as principais abordagens e pesquisas anteriores sobre os temas de obsolescência dos dispositivos eletrônicos, de economia circular, sustentabilidade ambiental e gestão de resíduos eletrônicos. Esta revisão está sistematizada no tópico Trabalho Relacionado, onde são discutidas as contribuições relevantes de diversos estudos, com o objetivo de identificar lacunas na pesquisa existente e justificar a necessidade e a inovação do desenvolvimento de um assistente virtual numa plataforma digital. Por meio dessa análise, procura-se oferecer uma visão abrangente sobre as práticas e os desafios na reutilização e reciclagem de componentes eletrônicos, bem como as oportunidades proporcionadas pela adoção de tecnologias digitais e inteligência artificial nesse contexto.

2.1.1 A Lei de Moore e a Obsolescência dos Dispositivos Eletrônicos.

A Lei de Moore, proposta por Gordon Moore em 1965, previu que o número de transístores em um circuito integrado dobraria aproximadamente a cada 18 meses, resultando num aumento exponencial do poder de processamento dos computadores [1]. Essa previsão tem-se mostrado precisa ao longo das décadas seguintes, impulsionando a rápida inovação tecnológica e a

criação de novos dispositivos com ciclos de vida cada vez mais curtos. Conforme observado por Pinto no artigo *E-waste hazard: The impending challenge* [17], essa tendência tem levado a um aumento significativo da obsolescência planejada, onde dispositivos eletrônicos são substituídos antes do fim da sua vida útil devido ao lançamento constante de modelos mais avançados [17].

2.1.2 Impactos Ambientais dos Resíduos Eletrônicos.

O abandono inadequado de dispositivos eletrônicos gera uma série de problemas ambientais. Segundo o relatório da United Nations University, os resíduos eletrônicos contêm substâncias tóxicas, como mercúrio, chumbo e cádmio, que podem contaminar o solo e a água, causando danos à saúde humana e ao meio ambiente [18]. Kiddee, Naidu, e Wong destacam que a gestão inadequada desses resíduos pode resultar em poluição severa, afetando ecossistemas inteiros e representando um risco significativo para a saúde pública [18].

2.1.3 Sustentabilidade e Economia Circular.

A economia circular surge como um modelo alternativo ao tradicional modelo linear de produção e consumo, que segue a sequência "extrair, fabricar, descartar". Stahel define a economia circular como um sistema econômico que procura eliminar o desperdício e promover a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, mantendo-os em uso pelo maior tempo possível [19]. Geissdoerfer no World Economic Forum, reforça que a economia circular não reduz apenas a dependência de recursos finitos, mas também minimiza os impactos ambientais e promove a sustentabilidade a longo prazo [11].

2.1.4 Tecnologias Digitais e Sustentabilidade.

As tecnologias digitais, incluindo assistentes virtuais e plataformas online, têm um papel crucial na promoção da sustentabilidade. Segundo o World Economic Forum, essas tecnologias podem ajudar a gerir de forma eficiente os recursos e a reduzir os resíduos [7]. Num estudo publicado no Proceedings - 2022 IEEE International Conference on Agents, ICA 2022, pp. Foi utilizado um chatbot como tecnologia persuasiva para melhorar hábitos de reciclagem. Segundo este artigo, foram realizados testes de conhecimento sobre reciclagem com 69 estudantes universitários antes e depois de usarem o chatbot. Nos resultados obtidos, após a interação com o chatbot, os estudantes aumentaram os seus conhecimentos sobre reciclagem em 70,49% [20]. Podemos concluir que o uso de assistentes virtuais pode ser eficaz para promover comportamentos sustentáveis. A utilização de um assistente virtual numa plataforma digital,

conforme proposto neste trabalho, representa uma inovação significativa na gestão de dispositivos eletrônicos [21]. Esse assistente pode oferecer diagnósticos precisos e personalizados para equipamentos avariados, propondo soluções que prolonguem a vida útil dos dispositivos e reduzam o impacto ambiental.

2.1.5 Logística Inversa e Reutilização de Dispositivos Eletrônicos.

A logística inversa é uma estratégia fundamental na economia circular, focada na recuperação e reutilização de produtos e materiais pós-consumo [22]. A reutilização e reciclagem de dispositivos eletrônicos não só contribuem para a conservação de recursos naturais, mas também reduzem a quantidade de resíduos enviados aos aterros sanitários [23]. V. K. Garlapati, sugere que iniciativas de logística inversa podem ser economicamente viáveis e tecnicamente sustentáveis, promovendo um ciclo de vida mais longo para os produtos eletrônicos [24].

2.1.6 Conscientização e Adoção de Práticas Ambientais Responsáveis.

Promover a conscientização sobre os impactos ambientais do abandono inadequado de dispositivos eletrônicos é crucial para a adoção de práticas mais sustentáveis. A plataforma digital proposta neste trabalho visa não apenas melhorar a eficiência operacional, mas também educar os consumidores sobre a importância da economia circular e a sustentabilidade. A Ellen MacArthur Foundation argumenta que a transição para uma economia circular requer mudanças significativas nos comportamentos dos consumidores e nas práticas empresariais [10], [24].

2.2 Conclusão da Revisão de Literatura

A revisão de literatura realizada demonstra claramente a importância e a urgência de abordagens inovadoras para a gestão de resíduos eletrônicos, destacando a relevância da economia circular e da sustentabilidade ambiental. Os estudos verificados evidenciam que, apesar das diversas iniciativas e políticas existentes, ainda há um considerável espaço para melhorias, especialmente no que diz respeito à reutilização e reciclagem de equipamentos eletrônicos. Embora existam diversos estudos sobre a utilização de assistentes virtuais e a gestão de resíduos eletrônicos, nenhum dos artigos revistos aborda especificamente a combinação destas tecnologias para prolongar a vida útil de equipamentos informáticos.

Este trabalho propõe uma solução inovadora, integrando um chatbot numa plataforma digital para promover o prolongamento da vida útil de equipamentos informáticos e a reutilização e reciclagem de componentes eletrônicos, contribuindo para a sustentabilidade ambiental.

Além disso, a consciencialização e a educação dos utilizadores sobre práticas sustentáveis são cruciais para a adoção de uma cultura de responsabilidade ecológica de forma a minimizar os impactos ambientais negativos.

Desta forma, este trabalho propõe-se preencher algumas das lacunas identificadas, investigando a viabilidade técnica e económica de uma plataforma digital que utiliza um assistente virtual para promover a reutilização e reciclagem de equipamentos eletrónicos e prolongar a vida útil dos equipamentos informáticos.

Com base nas evidências apresentadas, a implementação desta solução pode contribuir significativamente para a sustentabilidade técnica e económica, ao mesmo tempo em que apoia os princípios da economia circular.

Capítulo 3

Trabalho Relacionado

Na pesquisa de trabalhos relacionados, foram utilizadas as seguintes strings de busca: ["reutilização de equipamentos eletrônicos", "reciclagem de e-waste", "logística inversa de dispositivos eletrônicos", "assistentes virtuais em sustentabilidade"].

Estas strings foram aplicadas nas principais bases de dados acadêmicas, que resultaram na seleção de 10 artigos relevantes para este estudo.

A pesquisa foi executada em três bases de dados distintas: Scopus, IEEE e Google Scholar. Os resultados foram guardados na ferramenta Zotero.

A estratégia de pesquisa adotada foi guiada pela metodologia Prisma, um framework estruturado e utilizado para recolher, avaliar e sintetizar informações de forma metódica e transparente em pesquisas científicas.

A aplicação desta metodologia permitiu uma abordagem organizada e criteriosa na seleção de literatura relevante, (Figura: 2).

O número de registros identificados nas três bases de dados foi de 143. Após remover os artigos duplicados e artigos de acesso restrito, restaram 119 registros. Dessas 119 referências foram analisadas com base nos seus títulos e resumos.

Após uma análise, foram excluídos 101 artigos, 18 artigos foram então avaliados em texto completo para verificar a elegibilidade e finalmente, 10 artigos foram incluídos na revisão sistemática.

A Sistematização de *Keywords*, a seguir apresentada na Tabela: 1, foi efetuada com o objetivo de identificar os principais conceitos presentes em cada um dos estudos selecionados na pesquisa realizada

Diagrama PRISMA, fluxograma com relato de revisões sistemáticas e meta-análises.

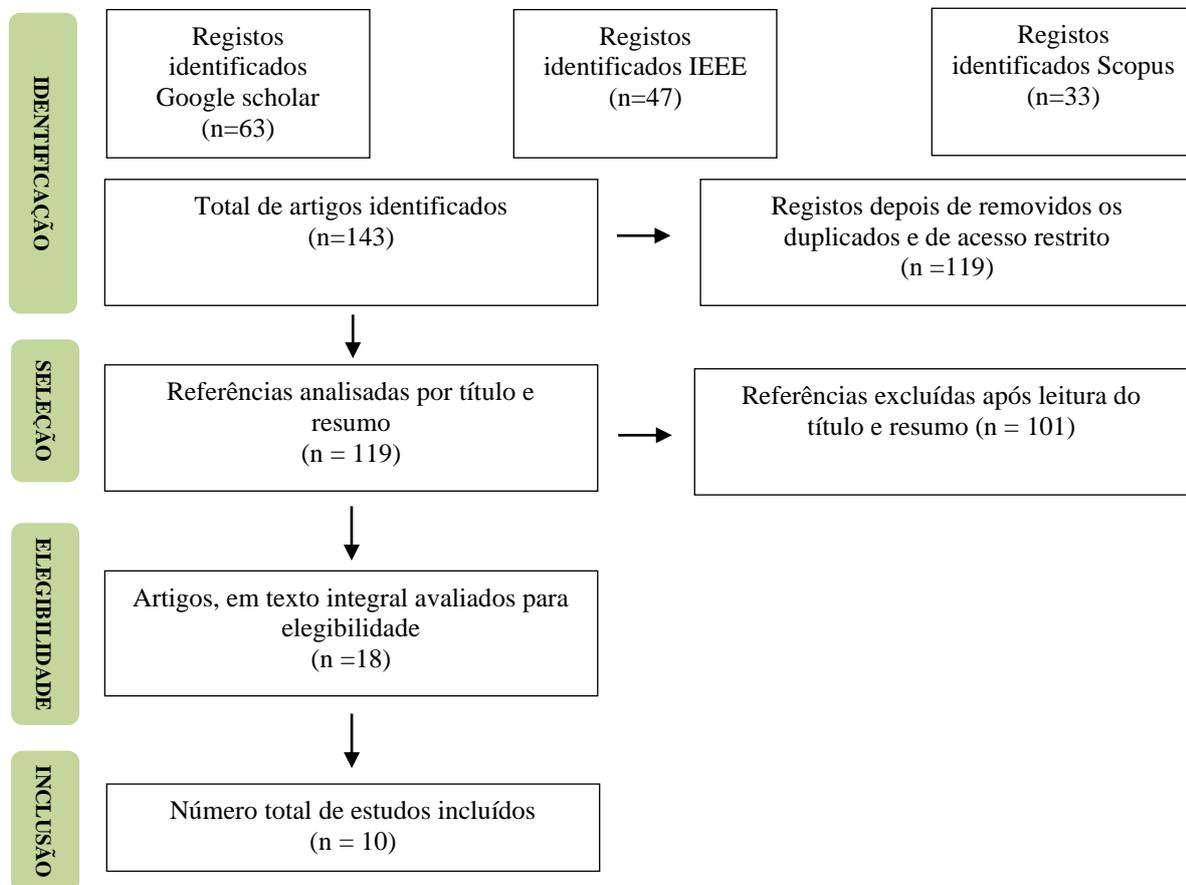


Figura 2. Processo de seleção, diagrama PRISMA.

Fonte: Diagrama Prisma

Tabela 1. Sistematização de Keywords

	Reutilização de equipamentos eletrônicos	Reciclagem de e-waste	Logística inversa de dispositivos eletrônicos	Assistentes virtuais em sustentabilidade
Cramming More Components onto Integrated Circuits	✓	✗	✗	✗
E-waste Hazard: The Impending Challenge	✗	✓	✗	✗
Electronic Waste Management Approaches: An Overview	✓	✓	✗	✗
The Circular Economy	✓	✗	✗	✗
E-waste in India and Developed Countries: Management, Recycling, Business and Biotechnological Initiatives	✓	✓	✗	✗
The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources	✗	✓	✗	✗
The Circular Economy: A New Sustainability Paradigm?	✓	✓	✓	✗
Chatbots: Changing User Experience in Web Services	✗	✗	✗	✓
Chatbot as a Persuasive Technology to Promote Responsible Recycling in the City of Lima	✗	✓	✗	✓
Caso de estudo na Reutilização e Reciclagem de Equipamento Informático com a implementação de um Assistente Virtual	✓	✓	✓	✓

Fonte: Elaboração Própria

3.1 Discussão

Através de diversas fontes de informação, foi possível identificar um conjunto significativo de artigos que fornecem uma base sólida para explorar os temas centrais deste projeto, oferecendo perspectivas diversas sobre sustentabilidade, gestão de resíduos eletrônicos, economia circular e o uso de tecnologias digitais para promover práticas ambientais responsáveis.

Destes, foram selecionados os mais relevantes devido à sua contribuição e pertinência neste estudo, identificados e caracterizados na Tabela 2, a seguir apresentada.

Estes artigos forneceram insights valiosos para o projeto, destacando a relevância de iniciativas como esta, especialmente no que se refere à utilização de um assistente virtual numa plataforma digital para promover a reutilização e reciclagem de equipamentos eletrônicos [20], evidenciando a importância de abordagens inovadoras e sustentáveis, reforçando a viabilidade técnica da solução proposta.

Tabela 2. Resumo dos Artigos Relevantes

Título	Autor	Ano	Resumo
"Cramming More Components onto Integrated Circuits"	Moore, G. E.	1965	<p>Neste artigo seminal, Gordon Moore apresenta a Lei de Moore, que prevê o aumento exponencial do poder de processamento dos computadores ao longo do tempo. Esta lei tem implicações significativas para a obsolescência tecnológica e a necessidade de estratégias eficazes de gestão de resíduos eletrônicos.</p> <p>A Lei de Moore é uma observação empírica que sugere que a capacidade de processamento dos chips de computador dobra aproximadamente a cada dezoito meses. Essa tendência tem implicações profundas para a indústria de tecnologia, pois influencia o ritmo de inovação, a vida útil dos dispositivos e a geração de resíduos eletrônicos. Para lidar com esse desafio, são essenciais estratégias de reciclagem, reutilização e design sustentável para minimizar o impacto ambiental dos dispositivos eletrônicos.</p>
"E-waste Hazard: The Impending Challenge"	Pinto, V. N.	2008	<p>Pinto explora os perigos associados ao crescimento dos resíduos eletrônicos, discutindo os riscos à saúde e ao meio ambiente. O artigo destaca a importância de uma gestão adequada de e-waste e propõe soluções para mitigar esses riscos através de políticas eficazes e práticas de reciclagem.</p>
"Electronic Waste Management Approaches: An Overview"	Kiddee, P., Naidu, R., & Wong, M. H.	2013	<p>Este artigo apresenta uma visão geral das abordagens de gestão de resíduos eletrônicos, destacando os desafios e soluções práticas para a reciclagem e reutilização de componentes eletrônicos. Os autores discutem a</p>

			necessidade de uma gestão eficaz para mitigar os impactos ambientais negativos e propõem políticas e práticas para melhorar a sustentabilidade da gestão de e-waste.
"The Circular Economy"	Stahel, W. R.	2016	Este artigo discute a economia circular como uma alternativa ao modelo linear de produção e consumo. Stahel argumenta que a economia circular pode ajudar a reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade, mantendo os produtos e materiais em uso por mais tempo e através de ciclos de reutilização e reciclagem. Stahel discute, ainda, a economia circular como uma solução para os desafios ambientais globais, destacando como essa abordagem pode transformar a maneira como os produtos são fabricados, usados e reciclados
"E-waste in India and Developed Countries: Management, Recycling, Business and Biotechnological Initiatives"	Garlapati, V. K.	2016	Este estudo compara as abordagens de gestão de resíduos eletrônicos entre a Índia e os países desenvolvidos, enfatizando a importância de políticas eficazes e iniciativas tecnológicas para mitigar os impactos ambientais de e-waste. Garlapati discute as práticas de reciclagem, iniciativas empresariais e biotecnológicas que estão a ser usadas para gerir e reduzir e-waste, destacando as diferenças e similaridades nos métodos aplicados.
"The Circular Economy: A New Sustainability Paradigm?"	Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J.	2017	O artigo explora o conceito de economia circular, contrastando-o com o modelo económico linear tradicional. Os autores analisam como a economia circular pode ser implementada para promover a sustentabilidade, enfatizando a importância de manter os recursos em uso pelo maior tempo possível através da reutilização, reciclagem e recuperação.
"The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources"	Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P.	2017	Este relatório fornece dados detalhados sobre a quantidade e fluxo de resíduos eletrônicos globalmente, destacando os desafios ambientais e a necessidade urgente de sistemas eficazes de gestão de e-waste. Analisa os recursos contidos em e-waste e propõe métodos para melhorar a gestão e reciclagem desses resíduos, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais e promover a sustentabilidade.
"A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot"	World Economic Forum	2019	O relatório do Fórum Económico Mundial propõe uma nova visão para a gestão de resíduos eletrônicos, enfatizando a necessidade de um reinício global para integrar práticas de economia circular. O documento sugere estratégias para melhorar a reciclagem e reutilização de equipamentos eletrônicos, promovendo uma abordagem mais sustentável para a indústria.
"Chatbots: Changing User Experience in Web Services"	Kumar, P., & Rose, R.	2019	Este artigo explora como os chatbots estão a transformar a experiência do utilizador em serviços web. Os autores discutem a evolução dos assistentes virtuais, desde os

			<p>primeiros chatbots até às soluções de inteligência artificial avançadas de hoje. O foco está nas aplicações práticas dos chatbots em diversos setores, incluindo suporte ao cliente, marketing e educação. O artigo também aborda os desafios técnicos e éticos relacionados ao desenvolvimento e implementação de chatbots, além de destacar as oportunidades futuras para a integração dessas tecnologias em plataformas digitais.</p> <p>A análise mostra como os chatbots podem aumentar a eficiência operacional e a satisfação do utilizador, proporcionando interações mais personalizadas e acessíveis.</p>
Chatbot as a Persuasive Technology to Promote Responsible Recycling in the City of Lima	Flores, K.A.F., Perez, J.J.G., Sanchez, L.M.C.	2022	<p>Objetivo: O estudo visa melhorar os hábitos de reciclagem em Lima, Peru, utilizando um chatbot como tecnologia persuasiva.</p> <p>Neste artigo podemos verificar que foram realizados testes de conhecimento sobre reciclagem com 69 estudantes universitários antes e depois de usarem o chatbot.</p> <p>Nos resultados obtidos, após a interação com o chatbot, os participantes aumentaram os seus conhecimentos sobre reciclagem em 70,49%.</p> <p>Conclusão: O uso de assistentes virtuais pode ser eficaz para promover comportamentos sustentáveis e melhorar a educação ambiental.</p>

Fonte: Elaboração Própria

Após a análise dos artigos apresentados, evidencia-se que, embora existam diversas abordagens para a gestão de resíduos eletrônicos e a promoção da economia circular, a integração de assistentes virtuais com base em inteligência artificial generativa apresenta lacunas importantes. A maioria dos estudos centra-se na utilização de métodos tradicionais de reciclagem, logística inversa e consciencialização ambiental, enquanto o potencial de soluções digitais mais avançadas, como chatbots personalizados para diagnósticos técnicos e promoção de práticas sustentáveis, permanece subexplorado.

O que diferencia a proposta deste trabalho é a utilização de uma base de conhecimento robusta e específica, associada a um modelo de geração aumentada por recuperação (RAG), para oferecer diagnósticos personalizados. A capacidade de integrar dados técnicos históricos em um modelo adaptável e iterativo representa uma inovação significativa, permitindo uma interação mais eficaz e contextualizada com os utilizadores. Este foco no diagnóstico preciso e na facilitação de soluções práticas, com custos transparentes, torna a proposta única em relação à literatura existente, que raramente explora estas funcionalidades de forma integrada.

Além disso, a plataforma digital concebida neste estudo combina funcionalidade operacional com um forte apelo educativo, promovendo não apenas a resolução de problemas técnicos, mas também a adoção de práticas sustentáveis. Assim, os capítulos seguintes detalham como estas abordagens inovadoras são desenvolvidas e aplicadas, contribuindo para preencher as lacunas identificadas na literatura.

Capítulo 4

Metodologia de investigação

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para desenvolver e avaliar a solução proposta para reutilização de equipamentos informáticos e a gestão de resíduos eletrónicos. A metodologia escolhida foi a Design Science Research Methodology (DSRM), que é adequada para a criação e avaliação de artefactos tecnológicos com o objetivo de resolver problemas práticos. A DSRM proporciona uma estrutura sistemática para a condução de pesquisas que envolvem a conceção e implementação de soluções inovadoras.

A DSRM consiste em seis etapas principais: Identificação do Problema e Motivação, Definição dos Objetivos da Solução, Design e Desenvolvimento, Demonstração, Avaliação e Comunicação dos Resultados, como é representada, graficamente, na Figura 3.



Figura 3. Modelo do processo da metodologia DSRM.
Fonte: Elaboração Própria

A seguir, cada uma dessas etapas é detalhada no contexto do projeto de desenvolvimento de um assistente virtual e plataforma digital para a gestão da reutilização e reciclagem de dispositivos eletrônicos.

4.1 Identificação do Problema e Motivação

O primeiro passo na aplicação da DSRM é identificar claramente o problema e a motivação para resolvê-lo. O problema central abordado por este projeto está relacionado ao volume crescente de resíduos eletrônicos, que representam uma ameaça significativa ao meio ambiente devido à presença de substâncias tóxicas. Estes resíduos contêm materiais como mercúrio, chumbo e cádmio, que podem contaminar o solo e a água, causando danos à biodiversidade e à saúde humana. Adicionalmente, a crescente obsolescência dos dispositivos eletrônicos, impulsionada por ciclos de vida cada vez mais curtos e pelo lançamento constante de novos modelos, tem intensificado a geração de resíduos eletrônicos.

Neste contexto, a motivação para este trabalho reside na necessidade urgente de soluções sustentáveis que promovam a reutilização e reciclagem de dispositivos eletrônicos, alinhando-se com os princípios da economia circular. Através da criação de um assistente virtual alimentado por inteligência artificial, pretende-se oferecer diagnósticos precisos e recomendações personalizadas, prolongando a vida útil dos dispositivos e minimizando o impacto ambiental. Este projeto também procura consciencializar os utilizadores sobre práticas ambientais responsáveis, promovendo comportamentos sustentáveis e alinhados com a gestão eficaz de resíduos eletrônicos.

4.2 Definição dos Objetivos da Solução

Os objetivos deste projeto foram definidos de forma a garantir que o artefacto desenvolvido contribua, efetivamente, para mitigar o problema identificado. Assim, os principais objetivos incluem:

1. **Diagnóstico Preciso:** Desenvolver um assistente virtual capaz de diagnosticar problemas em dispositivos eletrônicos e sugerir soluções de reparação ou melhorias, alimentado por uma base de dados robusta de registos técnicos.

2. **Incentivo à Reutilização:** Promover a reutilização de dispositivos eletrônicos através de diagnósticos personalizados e recomendações de reparação que prolonguem a vida útil dos equipamentos.

3. Facilitar a Reciclagem: Criar uma plataforma digital que forneça informações detalhadas sobre pontos de recolha, métodos de reciclagem e outras orientações úteis para o abandono adequado de equipamentos eletrónicos.

4. Consciencialização Ambiental: Educar os utilizadores sobre os benefícios da reutilização e reciclagem, incentivando práticas que minimizem o impacto ambiental e fomentem uma cultura de responsabilidade ecológica, aumentando a consciencialização dos utilizadores sobre práticas ambientais responsáveis.

Ao atingir estes objetivos, espera-se reduzir significativamente o volume de resíduos eletrónicos, enquanto se promove uma gestão mais sustentável dos recursos e um impacto ambiental positivo.

4.3 Design e Desenvolvimento

A etapa de Design e Desenvolvimento envolve a criação dos artefactos tecnológicos que compõem a solução proposta. No contexto deste projeto, dois artefactos principais foram desenvolvidos, um assistente virtual e uma plataforma digital.

Design do Assistente Virtual:

Arquitetura

O conceito de assistente virtual evoluiu de sistemas baseados em regras para soluções mais robustas e flexíveis, alimentadas por Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLMs, Large Language Models), como o ChatGPT. Estes modelos não apenas interpretam comandos ou consultas, mas também geram respostas contextualmente relevantes, simulando interações humanas com maior naturalidade.

Neste trabalho, optou-se por explorar o paradigma dos Assistentes Personalizados de Inteligência Artificial Generativa, que são otimizados com bases de conhecimento privadas. Desta forma, o Assistente Virtual assenta no modelo de Recuperação e Geração Aumentada (RAG) que combina a capacidade de um Modelo de Linguagem de Grande Escala (LLM) para interpretar consultas com a recuperação de dados específicos em bases de conhecimento. Esta integração permite que o Assistente Virtual:

Recupere registos técnicos existentes (a partir das 20 mil intervenções técnicas disponíveis) e gere respostas personalizadas, combinando os dados recuperados com linguagem natural fluída.

A plataforma Dante.ai foi utilizada para facilitar a integração entre os dados técnicos e o LLM, possibilitando que o fluxo operacional siga os seguintes passos:

1. **Entrada do utilizador:** O utilizador reporta um problema ou solicita uma solução.
2. **Recuperação de dados:** O sistema procura na base de dados intervenções ou soluções relevantes para o caso.
3. **Geração da resposta:** O LLM combina a informação técnica com uma linguagem clara e acessível, adaptada ao contexto.
4. **Interação Dinâmica:** O utilizador pode refinar a consulta ou pedir detalhes adicionais, ativando um ciclo iterativo de recuperação e geração.

Por exemplo, se a base de dados contém registos sobre falhas em discos rígidos, o assistente pode sugerir: "O problema identificado pode estar relacionado a uma falha no disco rígido. Recomenda-se substituir o componente por um equivalente, disponível por X euros, ou realizar uma manutenção preventiva para evitar danos maiores."

Exemplo Prático: Consulta do Utilizador: "O meu laptop está lento e faz um barulho estranho. O que pode ser?"

Resposta do Assistente: "O problema identificado pode estar relacionado a uma falha no disco rígido ou à acumulação de poeira na ventoinha. Recomendo:

1. Verificar se o disco apresenta erros usando uma ferramenta de diagnóstico.
2. Limpar as ventoinhas para melhorar a refrigeração.
3. Substituir o disco rígido, se necessário, por um modelo SSD (custo aproximado: 67 euros)."

Interface

A interface do assistente é intuitiva e fácil de usar, permitindo que os utilizadores relatem problemas e recebam diagnósticos e soluções de maneira simples e eficiente.

No contexto da gestão de resíduos eletrónicos e promoção da economia circular, estes avanços representam um marco. A integração de tais tecnologias não otimiza apenas a interação com os utilizadores, mas também potencia o impacto ambiental positivo ao prolongar a vida útil de dispositivos através de diagnósticos precisos e soluções customizadas.

Base de Conhecimento

A base de dados técnicos desempenha um papel central na eficácia do assistente virtual, consolidando informações detalhadas sobre problemas comuns, soluções práticas e custos associados para diversos tipos de dispositivos eletrônicos. Esta base de conhecimento, composta por cerca de 20 mil registos, representada na Figura 4, foi projetada para ser atualizada continuamente com novos dados provenientes das interações com os utilizadores, garantindo a relevância e a precisão das informações ao longo do tempo.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Equipamento	Marca	Modelo	Descrição do problema	Trabalho realizado	Custo	Trabalho realizado	reparo	reparação						
PORTATIL	CLASSMATE	LEPT304P	ESTÁ MUITO LENTO, PRINCIPALMENTE QUANDO ENTRA N	OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA OPERATIVO	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
HEAPHONES	CORSAIR	TA-2017/793	PAROU DE DAR SOM DO LADO ESQUERDO ++ DANTES FAZ HEADPHONES COM A BOBIN DO SPEAKER LADO ESQUI	REPARAÇÃO MOTHERBOARD MAUS CONTACTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISCO 2,5	HITACHI	500GB	TENTAR RECUPERAR FICHEIRO "CADELAKUKI"	RECUPERAÇÃO DE DADOS	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSP	SONY	PSP-E1004	BOTÃO LOGO PSP NÃO FUNCIONA	REPARAÇÃO DO CIRCUITO FLAT DO BOTÃO HOME PLA	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
PORTATIL	CLASSMATE	SF20GM7	NÃO LIGA	REPARAÇÃO MOTHERBOARD DC/DC CONVERTER, LIMF	70	0	0	0	0	0	0	0	0	70
IMPRESSORA	HP	ENVY 6010	A IMPRESSÃO SAI COM RISCOS	Limpeza de cabeças de impressão	10	0	13	0	0	0	0	0	0	22,5
TELEMOVEL	APPLE	IPHONE 14 PRO	PROBLEMA NO ECRAN SÓ DÁ LUZ NÃO TEM IMAGEM		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMPUTADOR	DEEPCOOL	SM	NÃO LIGA, DA ERRO BLUESCREEN, DESLIGA SE E NÃO TINH	LIMPEZA FÍSICA INTERNA DO COMPUTADOR COM SUE	30	INSTALAÇÃO DE CI	10	0	0	0	0	0	0	40
COMPUTADOR	QUIIQU	TACTIL10"	NÃO LIGA	REPARAÇÃO MOTHERBOARD MAUS CONTACTOS	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30
PORTATIL	ACER	N17C1	NÃO LIGA	LIMPEZA FÍSICA INTERNA DE PORTATIL COM SUBST. M	40	RECONFIGURAÇ	30	0	0	0	0	0	0	70
CONSOLA	SONY	PS2 SCPH-90004	NÃO LÉ (LASER NÃO RODA)	CALIBRAÇÃO MODULO LASER PS2 LEITURA CD E DVD	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
COMPUTADOR	HP	RYZEN 5 4000	LIGA NÃO ENTRA NO WINDOWS FICA MUITO TEMPO A CA	RECONFIGURAÇÃO SISTEMA OPERATIVO + CONFIG. CC	30	UPDATE BIOS	10	LIMPEZA	30	0	0	0	0	70
PORTATIL	LENOVO	IDEAPAD 530S-1	ENTRA NO SISTEMA PASSADO ALGUM TEMPO DÁ MENSAG	REPOSIÇÃO / ATUALIZAÇÃO DE CONTROLADORES	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20
PORTATIL	LENOVO	TP00105A	PRETENDE ADQUIRIR OFFICE 365	INSTALAÇÃO DE UTILITÁRIOS	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
CONSOLA	SONY	PS4	NÃO LÉ OS JOGOS NO LEITOR	SUBSTITUIÇÃO LASER BLURAY DE UMA CONSOLA PARA	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30
PORTATIL	LENOVO	15ITL05	DOBRADIÇA ESQ SOLTOU-SE	FIXAÇÃO DE APOIOS DE DOBRADIÇA	CORTESI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMPUTADOR			CONFIGURAÇÃO DA COMUNICAÇÃO AUTOMATICA DOS D	CONFIGURAÇÃO DE COMUNICAÇÃO AUTOMATICA	142,28									142,28
PORTATIL	HP	PAVILION X360	AO INSTALAR O TIA PORTAL (QUE ESTÁ NA PASTA TRANSF	RECONFIGURAÇÃO SISTEMA OPERATIVO + CONFIG. CC	55	INSTALAÇÃO DE API	0	CONFIGU	0	0	0	0	0	55
PORTATIL	ACER	N17C4	LIGA E DÁ BLUE SCREEN	LIMPEZA CONTACTOS DE CABO LVDS	30	REPOSIÇÃO DE DR	0	0	0	0	0	0	0	30
TV	SAMSUNG	THE FRAME	CONFIGURAR TV EM CASA DO CLIENTE	CONFIGURAÇÃO TELEVISÃO ON SITE	52,85									52,85
COMPUTADOR			MONTAGEM DE COMPUTADOR ++ ENTREGOU AQUACOOL	MONTAGEM DE COMPUTADOR E LIMPEZA FÍSICA	40	0	0	0	0	0	0	0	0	40
COMPUTADOR	SM	ASUS	LIGA E POUCO TEMPO DEPOIS DESLIGA	LIMPEZA FÍSICA DE PORTATIL COM SUBST. MASSA TÉR	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30
IMPRESSORA	HP	OFFICEJET PRO S	NAO FAZ SCANNER DÁ MSG QUE TEM PAPEL ENCRAVADO +	LIMPEZA GERAL E DE TINTA DERRAMADA	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PORTATIL	TOSHIBA	L50-B-1JR	ENTRA NO WINDOWS MAS BLOQUEIA +++ ESTÁ MUITO LE	RECONFIGURAÇÃO SISTEMA OPERATIVO + CONFIG. CC	30	SUBSTITUIÇÃO / N	10	0	0	0	0	0	0	40
COMPUTADOR	NOX	TORRE	LIGA E PASSADOS ALGUNS SEGUINDOS DESLIGA + ESTÁ N	UM QUARTO QUE TEM MUITA HUMIDADE	60			LIMPEZA	30	REC	30	0	0	60
AMPLIFICADOR	PIONNER	A209R	LIGA MAS NÃO CONSEGUIE REGULAR O VOLUME ++ CLIE	NT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMPUTADOR	HP OMEN	880-106np	LIGA E DESLIGA-SE LOGO + QUER FAZER CLONAGEM PARA	RECONFIGURAÇÃO SISTEMA OPERATIVO + CONFIG. CC	30	LIMPEZA FÍSICA D	30	0	0	0	0	0	0	60
COMANDO	PS5	CFI-ZCT1W	BORRACHA DESCOLADA E ANALOGICO NÃO DETETA MOV	REPARAÇÃO BORRACHA LADO ESQUERDO DO COMAN	10	REPARAÇÃO DO JC	0	0	0	0	0	0	0	20
PORTATIL	ACER	ES1-512	ALGUMAS TECLAS NÃO FUNCIONAM +++ FUNCIONA COM	LIMPEZA DE CONTACTOS	24,6	0	0	0	0	0	0	0	0	24,6
SISTEMA DE REDE			SUSPEITA DE INTRUSÃO INDICIOS DE VULNERABILIDADES	DETEÇÃO E CORREÇÃO DE VULNERABILIDADES NO SIST	260	DESLOCAÇÃO	20	0	0	0	0	0	0	280
PORTATIL	ASUS	X552L	O SOM ESTÁ DISTORCIDO +++ PORTATIL COMPRADO Á	IN CORREÇÃO DE SOM	GARANTI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TELEMOVEL	SAMSUNG		LCD DESCOLADO	COLAR LCD	8,13	0	0	0	0	0	0	0	0	8,13

Figura 4. Base de Conhecimento

Fonte: Elaboração Própria

Origem dos Dados

A base de conhecimento foi desenvolvida a partir dos registos individuais das intervenções técnicas realizadas ao longo dos últimos 10 anos na empresa em análise, conforme ilustrado na Figura 5. Estes registos abrangem uma ampla gama de dispositivos, problemas identificados, soluções implementadas e os respetivos custos, criando um repositório rico e diversificado de dados. Esta abordagem histórica permite que o assistente virtual se baseie em experiências reais para fornecer respostas confiáveis e contextualizadas.


```

import pandas as pd

# Caminho para a pasta contendo os arquivos Excel
folder_path = r #Caminho da pasta

# Lista para armazenar os dados
consolidated_data = []

# Definir as células que desejamos extrair
cell_coords = {
    'K23': (22, 10), 'H25': (24, 7), 'R25': (24, 17), 'H27': (26, 7),
    'D32': (31, 3), 'D41': (40, 3), 'AY41': (40, 50), 'D42': (41, 3),
    'AY42': (41, 50), 'D43': (42, 3), 'AY43': (42, 50), 'D44': (43, 3),
    'AY44': (43, 50), 'D45': (44, 3), 'AY45': (44, 50), 'AY46': (45, 50),
    'D48': (47, 3), 'U53': (52, 20), 'D58': (57, 3), 'F58': (57, 5),
    'AR58': (57, 43), 'D59': (58, 3), 'F59': (58, 5), 'AR59': (58, 43),
    'D60': (59, 3), 'F60': (59, 5), 'AR60': (59, 43), 'D61': (60, 3),
    'F61': (60, 5), 'AR61': (60, 43), 'D62': (61, 3), 'F62': (61, 5),
    'AR62': (61, 43), 'D63': (62, 3), 'F63': (62, 5), 'AR63': (62, 43),
    'D64': (63, 3), 'F64': (63, 5), 'AR64': (63, 43), 'D65': (64, 3),
    'F65': (64, 5), 'AR65': (64, 43), 'AC74': (73, 28)
}

# Iterar por cada arquivo na pasta e subpastas
for root, dirs, files in os.walk(folder_path):
    for file_name in files:
        if file_name.endswith('.xlsx') or file_name.endswith('.xls'):
            file_path = os.path.join(root, file_name)
            try:
                # Determinar o engine de leitura baseado na extensão do arquivo
                if file_name.endswith('.xlsx'):
                    engine = 'openpyxl'
                elif file_name.endswith('.xls'):
                    engine = 'xlrd'
                else:
                    continue

                # Ler o arquivo Excel
                workbook = pd.ExcelFile(file_path, engine=engine)

                # Trabalhar apenas com a primeira folha
                sheet_name = workbook.sheet_names[0]
                sheet = pd.read_excel(file_path, sheet_name=sheet_name,
engine=engine, header=None)
                # Extrair dados das células especificadas
                row_data = [file_name, sheet_name]
                for cell, (row, col) in cell_coords.items():
                    try:
                        if sheet.shape[0] > row and sheet.shape[1] > col:
                            value = sheet.iat[row, col]
                        else:
                            value = None
                    except Exception as e:
                        value = None
                        print(f"Erro ao ler a célula {cell} no arquivo
{file_path}: {e}")
                    row_data.append(value)

                consolidated_data.append(row_data)
            except Exception as e:
                print(f"Erro ao processar o arquivo {file_path}: {e}")

# Criar um DataFrame do pandas com os dados consolidados
columns = ['File Name', 'Sheet Name'] + list(cell_coords.keys())

# Caminho para salvar o arquivo consolidado
output_file_path = os.path.join(folder_path, 'dados_consolidados.xlsx')

# Salvar o DataFrame em uma nova planilha no arquivo Excel consolidado
df.to_excel(output_file_path, index=False)

print('Dados consolidados com sucesso!')

```

Figura 6. Código Consolidação de Dados

Fonte: Elaboração Própria

Evolução e Atualizações Contínuas

Um dos aspectos mais importantes desta base de conhecimento é sua capacidade de evolução. À medida que novas interações ocorrem, os dados recolhidos são incorporados à base de conhecimento, permitindo que ela se expanda e melhore continuamente. Este ciclo iterativo garante que o sistema permaneça relevante, adaptando-se a novos tipos de problemas e dispositivos que surgem no mercado, portanto, a sua manutenção e atualização contínuas é um dos fatores determinantes à eficácia da base de conhecimento, garantindo, assim, que a base de conhecimento acompanhe as mudanças tecnológicas e as necessidades dos utilizadores.

A base de conhecimento, portanto, não apenas sustenta a operação do assistente virtual, mas também estabelece um padrão de excelência para a gestão e utilização de dados técnicos em sistemas inteligentes. A riqueza dos seus dados incentiva a reutilização e a reparação de dispositivos, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade.

Na prática, a existência de uma base de conhecimento organizada e estruturada facilita, ainda, a padronização de atendimento e controle na empresa, permitindo que se atinja um nível de excelência no suporte e com os colaboradores muito mais alinhados.

Desenvolvimento da Plataforma Digital:

Funcionalidades

A plataforma inclui funcionalidades como diagnóstico de falhas, sugestões de reparação, localização de pontos de recolha para reciclagem e recursos educacionais sobre gestão de resíduos eletrónicos.

Integração

A plataforma integra o assistente virtual para fornecer uma experiência de utilizador contínua e eficiente.

Segurança

Serão implementadas medidas de segurança para proteger os dados dos utilizadores e garantir a privacidade das informações.

4.4 Demonstração

A etapa de Demonstração envolve a utilização dos artefactos desenvolvidos para resolver o problema identificado. Esta etapa é crucial para mostrar como a solução funciona na prática e se vai de encontro aos objetivos estabelecidos.

Casos de Uso Comuns

Os casos de uso mais comuns para a plataforma digital e o assistente virtual são apresentados na Tabela 3, destacando as interações típicas e como a solução vai de encontro às necessidades práticas dos utilizadores.

Tabela 3. Casos de Uso Comuns

Caso de Uso	Descrição	Impacto
Diagnóstico de Equipamentos	Um utilizador relata problemas com o seu laptop, e o assistente sugere soluções de reparação.	Reduz o tempo de diagnóstico, prolonga a vida útil do equipamento e minimiza custos para o utilizador.
Localização de Pontos de Reciclagem	A plataforma fornece informações sobre os pontos de recolha mais próximos.	Facilita o abandono responsável e promove a reciclagem.
Promoção de Reutilização	O utilizador é conectado com técnicos que podem restaurar dispositivos para reutilização.	Incentiva a reutilização, reduzindo o volume de resíduos eletrónicos.
Preparação para Reciclagem	O assistente fornece instruções claras para a preparação de dispositivos para reciclagem.	Garante um processo seguro e eficiente, reduzindo riscos de abandono incorreto.

Fonte: Elaboração Própria

4.5 Avaliação

A etapa de Avaliação é fundamental para medir a eficácia dos artefactos desenvolvidos em resolver o problema e alcançar os objetivos estabelecidos.

Métodos de: Avaliação

- **Testes de Usabilidade:** Avaliar a facilidade de uso da interface do assistente virtual e da plataforma digital através de testes com utilizadores.

- **Feedback dos Utilizadores:** Reunir feedback dos utilizadores sobre a precisão dos diagnósticos e a utilidade das soluções de reparação fornecidas.

4.6 Comunicação dos Resultados

A etapa final da DSRM é a Comunicação dos Resultados, onde os resultados da pesquisa são apresentados de maneira clara e compreensível para a comunidade académica e outros stakeholders.

Comunicação dos Resultados: o documento da tese que será público.

Contribuições para a Academia: Apresentamos novas abordagens para a reutilização e reciclagem de dispositivos eletrónicos, contribuindo para a literatura sobre sustentabilidade e economia circular.

Recomendações para a Prática: Sugestão de políticas e práticas para empresas e governantes que incentivem a adoção de tecnologias semelhantes para a gestão de resíduos eletrónicos.

Capítulo 5

Demonstração

5.1 Exemplos de Utilização dos Artefactos

O chatbot pode ser utilizado para interagir com os utilizadores, diagnosticando problemas técnicos em equipamentos informáticos. Por exemplo, ao identificar sinais de falha no funcionamento de um dispositivo (como um computador), o chatbot pode sugerir soluções de reparação simples, a levar a cabo pelo utilizador, como as que são apresentadas na Figura 7. Caso o problema seja mais sério, será sugerido outro tipo de intervenção com custos associados, como nos exemplos apresentados nas Figuras 11 e 12, direccionando o utilizador para a reutilização de peças, reduzindo assim o desperdício e prolongando a vida útil do equipamento.

As informações sobre reciclagem fornecidas pela plataforma digital, representadas nas Figuras 13, 14 e 15, desempenham um papel crucial no processo de conscientização e facilitação de práticas sustentáveis pelos utilizadores. A plataforma apresenta dados claros e acessíveis sobre a localização de pontos de recolha para equipamentos eletrónicos, preparando os utilizadores para a entrega responsável e segura de dispositivos em fim de vida. Por exemplo, a Figura 13 destaca um mapa interativo que permite aos utilizadores identificar os pontos de reciclagem mais próximos, promovendo a conveniência e incentivando ações imediatas.

Além disso, a Figura 14 fornece instruções detalhadas sobre como preparar dispositivos para reciclagem, incluindo etapas como a remoção de dados pessoais e a embalagem adequada de componentes sensíveis. Estas orientações reduzem barreiras e incertezas associadas ao processo de entrega, tornando-o mais acessível e seguro para o utilizador comum.

Finalmente, a Figura 15 ilustra exemplos práticos de gestão de resíduos, destacando benefícios ambientais e económicos da reciclagem responsável. Ao educar os utilizadores sobre o impacto positivo de suas ações, a plataforma fomenta uma mudança de comportamento alinhada aos princípios da economia circular. Este conjunto de funcionalidades não só aumenta a adesão a práticas sustentáveis, mas também fortalece o papel da plataforma como uma ferramenta educacional e operacional de grande valor.

5.2 Casos de Uso

A interação entre o assistente virtual e os utilizadores revela a sua versatilidade em responder a diferentes necessidades. Por exemplo, ao propor soluções de reparação, o assistente virtual oferece estimativas de custos que auxiliam na tomada de decisão. Em diversas situações, como

as demonstradas nas Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12 e em sistematização na tabela 4, abaixo representadas, o assistente virtual apresenta respostas claras e adaptadas ao contexto do utilizador.

Nas Figuras 7 e 8, observa-se o processo de pergunta e resposta (Q&A), em que o utilizador expõe um problema e recebe uma solução esclarecedora. Já nas Figuras 8 e 9, o fluxo da conversação é destacado. Após uma resposta inicial, o utilizador aprofunda a questão ao perguntar sobre custos das soluções, sendo respondido de forma detalhada.

Além disso, a Figura 10 apresenta uma abordagem preventiva, em que o assistente virtual orienta o utilizador a realizar uma despistagem inicial, evitando custos e deslocações desnecessárias. De forma similar, na Figura 11, a solicitação de custos para um problema é respondida com múltiplas soluções e estimativas associadas.

Por fim, na Figura 12, o assistente virtual integra a indicação de sintomas com uma análise das possíveis causas e custos, mantendo o diálogo aberto para novas questões do utilizador.

A tabela a seguir resume os principais casos de uso da interação entre o assistente virtual e os utilizadores, demonstrando como as figuras referenciadas complementam os exemplos descritos:

Tabela 4. Sistematização de Casos de Uso do Assistente Virtual

Caso de Uso	Descrição	Figura(s)	Impacto
Diagnóstico com Pergunta e Resposta	O utilizador relata um problema e recebe uma resposta esclarecedora, ajudando a identificar o próximo passo.	Figuras 7 e 8	Proporciona clareza e orientações rápidas para lidar com o problema reportado.
Fluxo de Conversação	O utilizador aprofunda a consulta inicial ao questionar custos, recebendo respostas detalhadas.	Figuras 8 e 9	Promove uma interação contínua e informativa, permitindo decisões mais bem fundamentadas.
Abordagem Preventiva	O assistente virtual sugere uma despistagem inicial para evitar custos ou deslocações desnecessárias.	Figura 10	Minimiza gastos adicionais e tempo perdido com intervenções técnicas desnecessárias.
Estimativa de Custos	A apresentação do problema inclui a solicitação de custos associados, recebendo múltiplas opções detalhadas.	Figura 11	Auxilia na comparação de soluções disponíveis e na escolha da mais viável financeiramente.
Diagnóstico de Sintomas	O assistente virtual avalia os sintomas apresentados, sugere causas prováveis e detalha custos para resolução.	Figura 12	Oferece um panorama completo do problema e permite um fluxo contínuo para novas questões do utilizador.

Fonte: Elaboração Própria

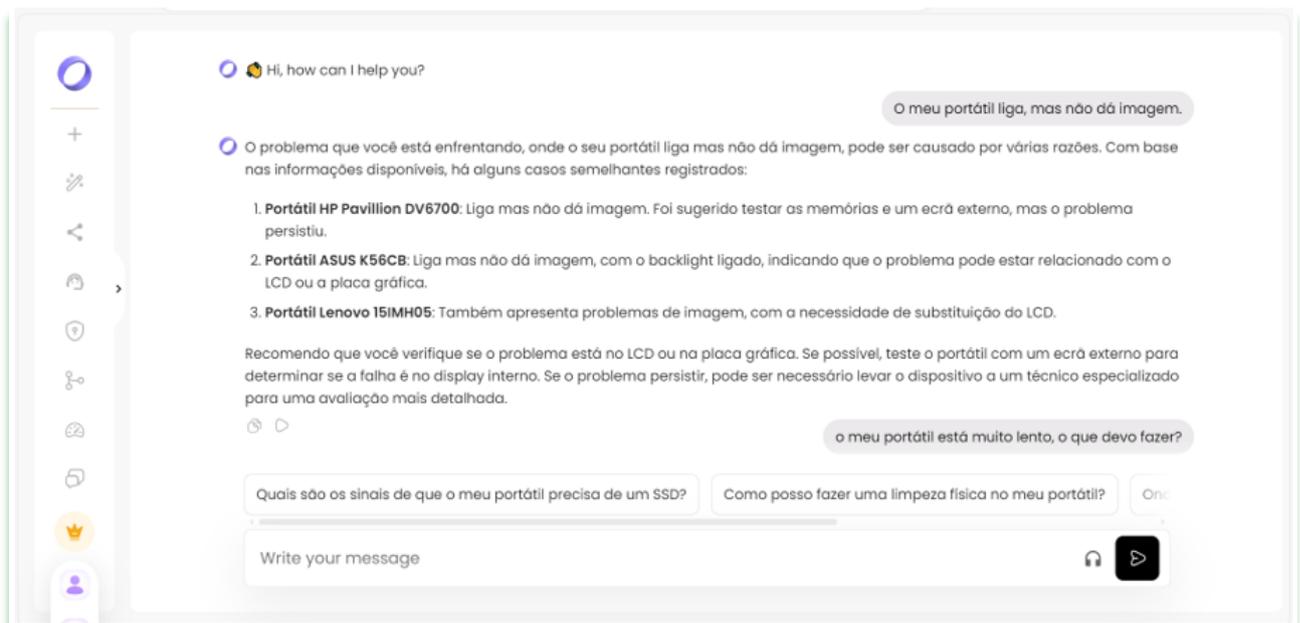


Figura 7. Teste de usabilidade Q&A, formuladas por um utilizador.

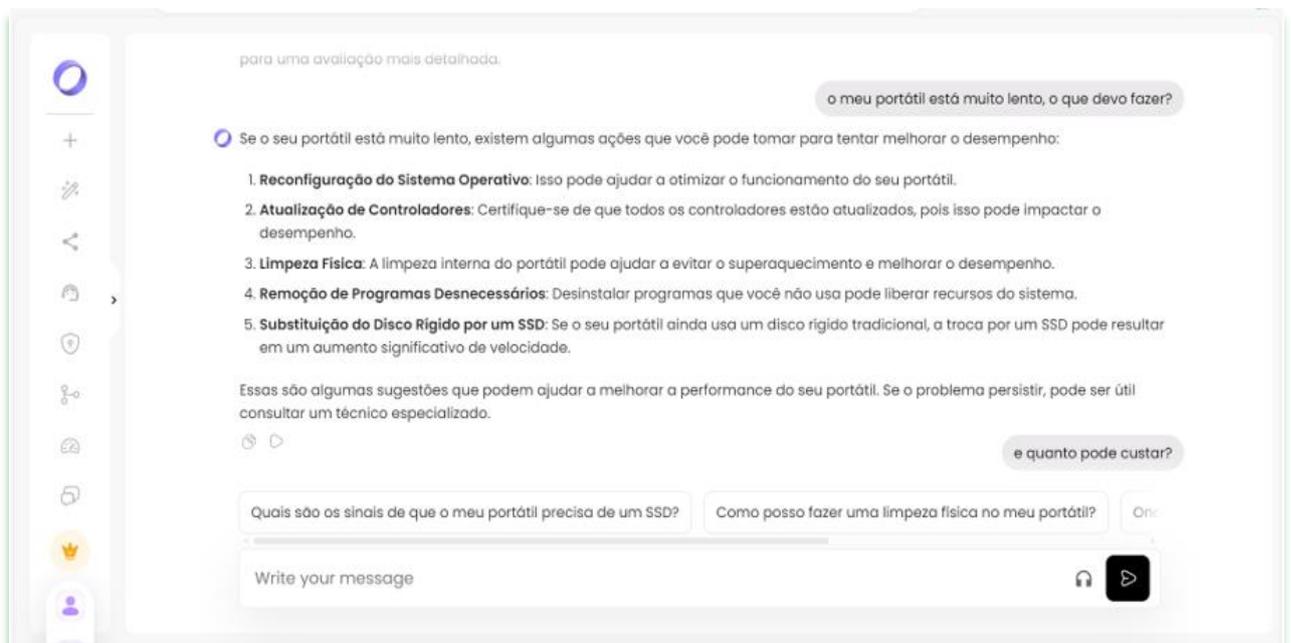


Figura 8. Teste de usabilidade Q&A, formuladas por um utilizador.

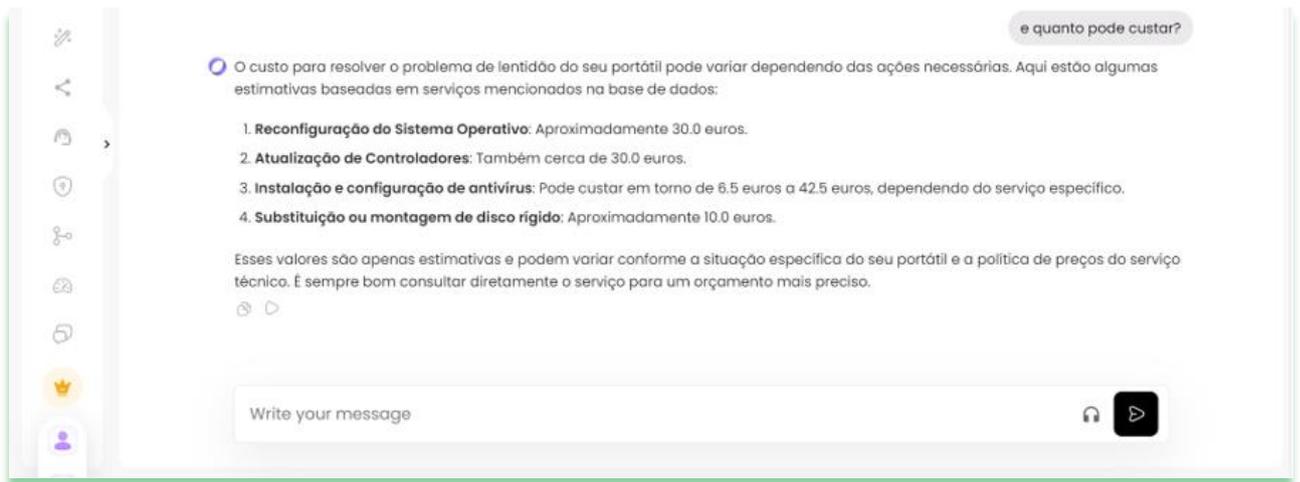


Figura 9. Teste de usabilidade Q&A, evidenciando um fluxo na conversação.

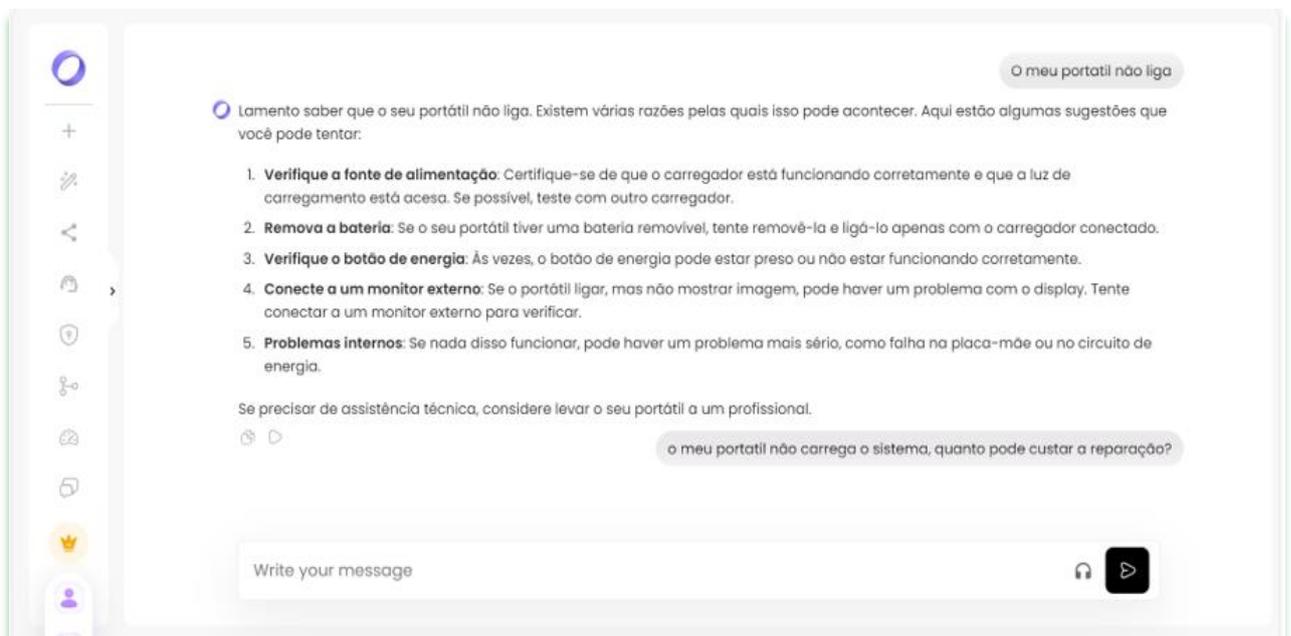


Figura 10. Teste de usabilidade Q&A, com despistagem a levar a cabo pelo utilizador.



Figura 11. Teste de usabilidade Q&A, problema e custos associados.

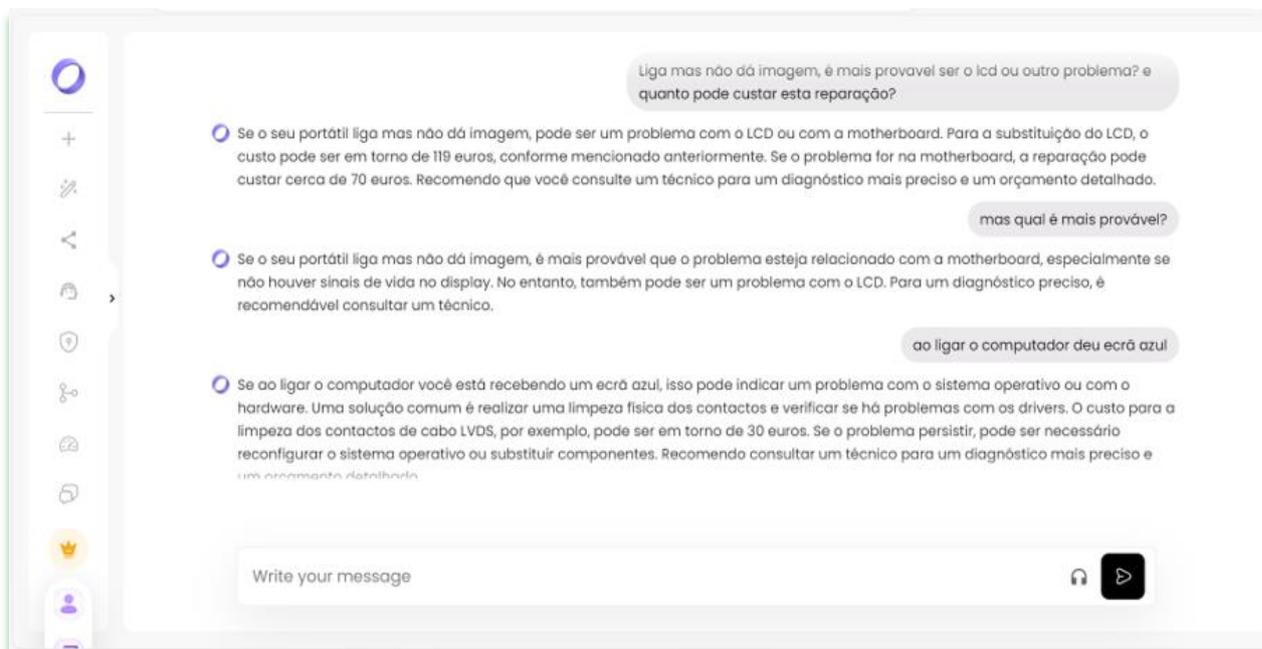


Figura 12. Teste de usabilidade Q&A, apresentação do sintoma com a indicação do provável problema e solicitação do custo para resolução. Mantendo um fluxo na conversação.

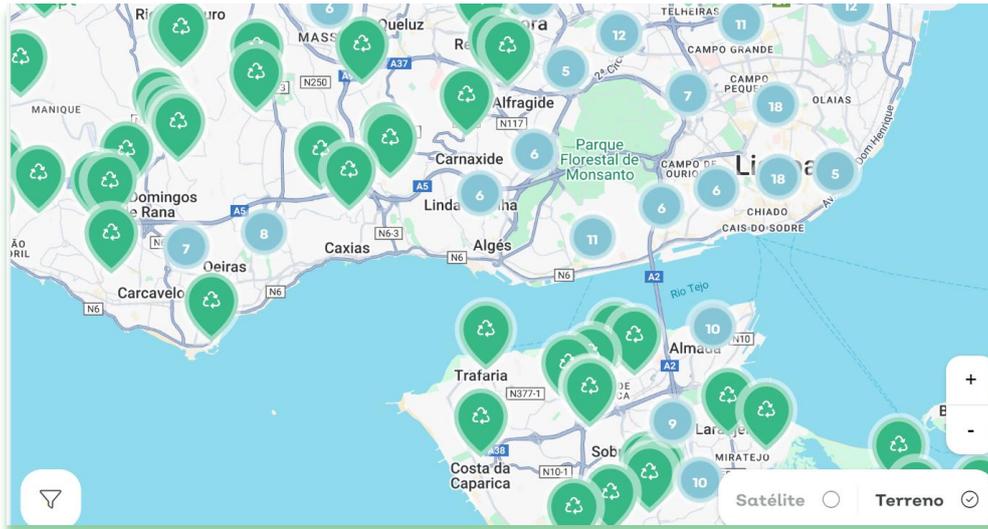


Figura 13. Mapa com indicação de pontos de reciclagem.

Como embalo o dispositivo para reciclagem?

Os dispositivos com baterias devem ser embalados em conformidade com todas as leis, regulamentos e melhores práticas da indústria, que tipicamente incluem as indicações abaixo:

- Descarregue a unidade até menos de 30%.
- Não envie equipamentos eletrónicos desmontados.
- Não envie equipamentos eletrónicos com baterias dilatadas ou danificadas.

Figura 14. Informação como preparar o dispositivo.

Serviço de recolha de electrodomésticos porta a porta do Electrão já chegou a Mafra

20 Novembro 2024 / 3 MINUTOS DE LEITURA

O serviço de recolha de grandes electrodomésticos do Electrão – Associação de Gestão de Resíduos, já chegou ao concelho de Mafra.

Mafra passa a ser o nono concelho da Área Metropolitana de Lisboa a dispor deste serviço gratuito de encaminhamento de equipamentos eléctricos para reciclagem. Com este alargamento ficam abrangidos por esta oferta mais 87 mil habitantes.

Desde que o Electrão iniciou o projecto de recolha de electrodomésticos porta a porta, em 2021, já foram reencaminhadas para reciclagem, no total, mais de 314 toneladas de equipamentos eléctricos avariados ou fora de uso na Grande Lisboa.

Figura 15. Exemplo de informação útil sobre gestão de resíduos.

5.3 Construção do Chatbot Baseado em RAG

O desenvolvimento do chatbot foi fundamentado numa abordagem de geração aumentada por recuperação (RAG), adaptada especificamente para operar sobre uma base de conhecimento restrita. Essa base de conhecimento foi construída a partir de dados históricos da empresa, composta por aproximadamente 20 mil registos técnicos, detalhando problemas comuns, soluções aplicadas e os respetivos custos associados.

Base de Conhecimento Restrita

A base de conhecimento utilizada é o coração do sistema, limitando o escopo das respostas às informações validadas e específicas da organização. Isso garante que as respostas do chatbot sejam altamente relevantes e contextuais, atendendo diretamente às necessidades dos utilizadores. A construção dessa base incluiu:

Extração de Dados: Os registos foram extraídos de intervenções técnicas realizadas ao longo de uma década.

Consolidação: Utilizando scripts em Python, os dados foram organizados em categorias específicas, como tipo de dispositivo, problema identificado, soluções aplicadas e custos.

Indexação: Implementada para permitir uma recuperação rápida e eficiente das informações durante as consultas dos utilizadores.

Dataset Utilizado

O dataset inclui informações técnicas detalhadas, provenientes de milhares de intervenções reais. Este conjunto de dados é único por várias razões:

Granularidade: Cada registo contém descrições detalhadas de problemas e soluções.

Abrangência: Abrange uma ampla gama de dispositivos e cenários, representando a experiência técnica acumulada da empresa.

Atualização Contínua: A base de conhecimento é atualizada iterativamente, incorporando novas informações das interações com o chatbot.

Relevância do Dataset

A utilização deste dataset confere ao chatbot vantagens únicas:

Alta Precisão: Respostas baseadas em dados técnicos reais, evitando generalizações.

Contexto Local: Adaptação específica às práticas e soluções adotadas pela organização.

Facilidade de Diagnóstico: Permite que o chatbot forneça respostas claras, personalizadas e economicamente viáveis.

Valor Acrescentado

Este modelo "restrito" não apenas melhora a confiabilidade das respostas, mas também potencializa a eficiência operacional. Ao limitar o chatbot à base de conhecimento específica, eliminam-se ambiguidades comuns em soluções genéricas, tornando-o uma ferramenta indispensável para o suporte técnico e a gestão de resíduos eletrônicos.

Capítulo 6

Avaliação

6.1 Metodologia de Avaliação

A avaliação da solução proposta foi realizada por meio de um questionário estruturado e de entrevistas qualitativas com 39 participantes. Estes participantes incluíram técnicos especializados e utilizadores finais, selecionados com base na sua relevância para o contexto do estudo. Os participantes foram selecionados com base na sua experiência com dispositivos eletrónicos e frequência no uso de tecnologia, garantindo representatividade dos diferentes perfis de utilizadores.

Os métodos utilizados incluíram:

Questionário Estruturado: Aplicado a todos os participantes, mediu diferentes métricas por meio de escala quantitativa, para o que, foi utilizada a Escala de Likert. O questionário foi projetado para avaliar:

Satisfação geral com o assistente virtual.

Facilidade de uso.

Relevância das respostas fornecidas.

Impacto percebido na resolução de problemas.

Perfil dos Entrevistados

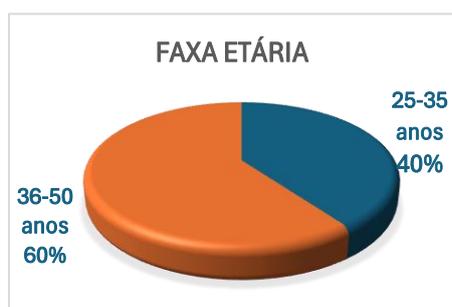


Gráfico 2. Faixa Etária



Gráfico 1. Nível de Interação com Tecnologia



Gráfico 3. Experiência Profissional

Fonte: Excel/Elab.Própria

As métricas obtidas por meio de escala quantitativa, tiveram por base a Escala de Likert, cujos resultados estão apresentados nos Gráficos 4, 5, 6 e 7.

Entrevistas Qualitativas: Realizadas com um subconjunto dos participantes, exploraram opiniões detalhadas sobre a experiência com o chatbot e sugestões para melhorias. Para o efeito foi elaborado um inquérito para os temas seguintes:

Pontos Fortes.

Soluções Propostas.

Usabilidade.

Áreas de Melhoria.

Satisfação Geral.

Os resultados obtidos podem ser verificados em resumo no Feedback Qualitativo, 6.3.2.

A seleção destes participantes foi essencial para garantir diversidade de perfis, refletindo diferentes níveis de competência e necessidades. Tal diversidade permitiu uma avaliação mais abrangente e realista da solução.

Por fim, num segundo **Questionário Estruturado:** Aplicado a um conjunto de 60 participantes, onde se incluem os participantes do primeiro questionário e mais 21 de uma seleção sem critério, mediu:

A satisfação dos utilizadores.

A probabilidade de recomendação.

As métricas obtidas por meio de escala quantitativa, tiveram por base a Net Promoter Score, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7 e nos Gráficos, 8 e 9.

Todos os gráficos estão devidamente legendados e listados no índice do documento para facilitar a navegação. Esta abordagem assegura clareza e organização, permitindo uma análise transparente e objetiva dos resultados.

6.2 Detalhe do Perfil dos Entrevistados

Os participantes incluíram técnicos e utilizadores gerais, com características demográficas e profissionais variadas, contribuindo para uma análise abrangente dos resultados, como é demonstrado a seguir na Tabela 5.

Tabela 5. Perfil dos Entrevistados

Característica	Detalhes
Faixa Etária	25 a 50 anos, com média de 35 anos.
Experiência Profissional	20% possuem de 5 a 15 anos em reparação e manutenção de dispositivos eletrônicos.
	30% têm mais de 10 anos de experiência.
	50% são utilizadores finais sem formação técnica específica.
Nível de Interação com Tecnologia	60% são utilizadores regulares de plataformas digitais.
	40% são especialistas na interação com tecnologias.

Fonte: Elaboração Própria

Esta diversidade de perfis permitiu captar diferentes níveis de experiência e expectativas, enriquecendo a análise e a relevância dos resultados obtidos.

6.3 Avaliação da Eficácia dos Artefactos

Na sequência das instruções de despistagem fornecidas pelo chatbot, como observamos na Figura 7, cerca de 80% dos utilizadores conseguem identificar o problema e cerca de 18% conseguem resolver o problema sem intervenção técnica.

As estimativas de custos fornecidas pelo chatbot, que verificamos nas Figuras 7 e 8, são reais e atualizadas aos valores atuais praticados para os produtos e serviços pela organização em análise. A clareza das soluções propostas, são realistas e correspondem em mais de 90% dos casos.

A utilidade das informações sobre reciclagem fornecidas pela plataforma digital, representadas nas Figuras 13, 14 e 15, desempenham um papel crucial no processo de conscientização e facilitação de práticas sustentáveis pelos utilizadores. A plataforma apresenta dados claros e acessíveis sobre a localização de pontos de recolha para equipamentos eletrônicos, preparando os utilizadores para o abandono responsável e seguro de dispositivos em fim de vida. Por exemplo destaca um mapa interativo, conforme mostrado na Figura 13, que permite aos utilizadores identificar os pontos de reciclagem mais próximos, promovendo a conveniência e incentivando ações imediatas.

Além disso, fornece instruções detalhadas sobre como preparar dispositivos para reciclagem, incluindo etapas como a remoção de dados pessoais e a embalagem adequada de componentes sensíveis, conforme mostrado na Figura 14. Estas orientações reduzem barreiras e incertezas associadas ao processo de reciclagem, tornando-o mais acessível e seguro para o utilizador comum.

Finalmente, ilustra exemplos práticos de gestão de resíduos, destacando benefícios ambientais e económicos da reciclagem responsável, conforme mostrado na Figura 15. Ao educar os utilizadores sobre o impacto positivo de suas ações, a plataforma fomenta uma mudança de comportamento alinhada aos princípios da economia circular. Este conjunto de funcionalidades não só aumenta a adesão a práticas sustentáveis, mas também fortalece o papel da plataforma como uma ferramenta educacional e operacional de grande valor.

Alguns entrevistados destacaram a clareza das respostas, como foi verificado no comentário de um técnico: *'O assistente simplificou o diagnóstico de problemas complexos, economizando tempo.'* Por outro lado, utilizadores finais elogiaram a orientação prática fornecida para a entrega responsável de um equipamento em final de vida.

6.4 Métricas e Feedback dos Utilizadores

Medir a satisfação do utilizador é crucial para entender a eficácia dos artefactos, a Tabela 6, a seguir, apresenta os métodos utilizados para avaliar a satisfação dos utilizadores e compreender a eficácia dos artefactos desenvolvidos:

Tabela 6. Método de Avaliação

Métrica	Descrição	Benefícios
Escala de Likert	Método baseado em perguntas que mede sentimentos e opiniões, gerando dados mensuráveis e fáceis de analisar.	Permite avaliar o nível de experiência dos utilizadores e recolher sugestões para melhorar os artefactos.
Net Promoter Score (NPS)	Avaliação quantitativa e qualitativa da satisfação do utilizador com os artefactos apresentados.	Mede a lealdade do utilizador e a probabilidade de recomendação, fornecendo insights para ajustes futuros.

Fonte: Elaboração própria.

Estes métodos combinam dados qualitativos e quantitativos, permitindo uma análise abrangente sobre a experiência do utilizador e o impacto das soluções apresentadas.

6.4.1 Questionário de Satisfação

Escala de Likert:

Após a interação com o chatbot ainda na fase experimental, foram colocadas as seguintes perguntas aos utilizadores sobre a sua experiência.

1 - Experiência Geral: “Como avalia a sua experiência geral ao usar o chatbot?”

2 - Usabilidade: “Como avalia a facilidade de uso do chatbot?”

3 - Soluções Propostas: “As soluções propostas pelo chatbot foram úteis?”

4 - Satisfação Geral: “Está satisfeito com a ajuda que recebeu do chatbot?”

Para o efeito, foi criado um formulário no Google Forms e convidado um conjunto de utilizadores a avaliar a sua experiência. O resultado recolhido foi excelente, conforme ilustrado a seguir nos Gráficos 4, 5, 6 e 7.

1 - Experiência Geral: “Como avalia a sua experiência geral ao usar o chatbot?”

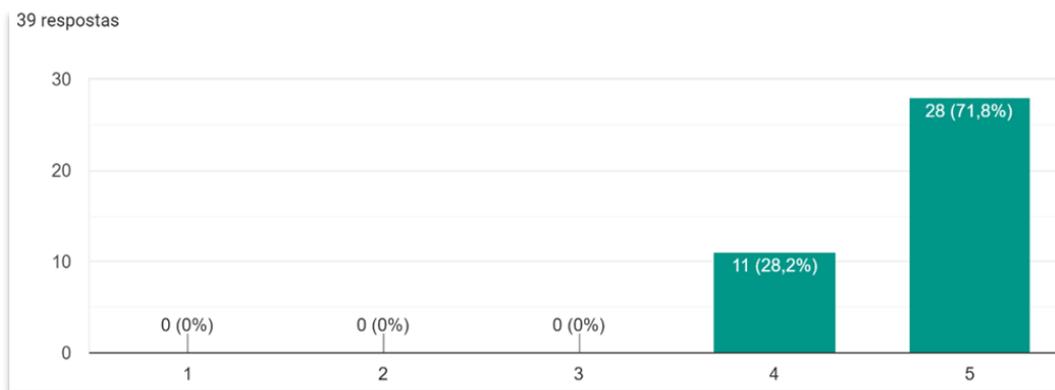


Gráfico 4. Experiência Geral no uso do Chatboot
(Average rating 4.72)

2 - Usabilidade: “Como avalia a facilidade de uso do chatbot?”

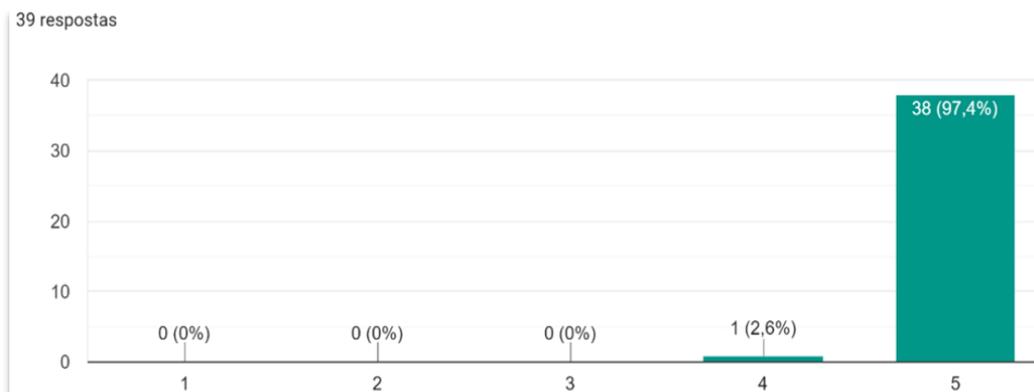


Gráfico 5. Usabilidade do Chatboot
(Average rating 4.97)

3 - Soluções Propostas: “As soluções propostas pelo chatbot foram úteis?”

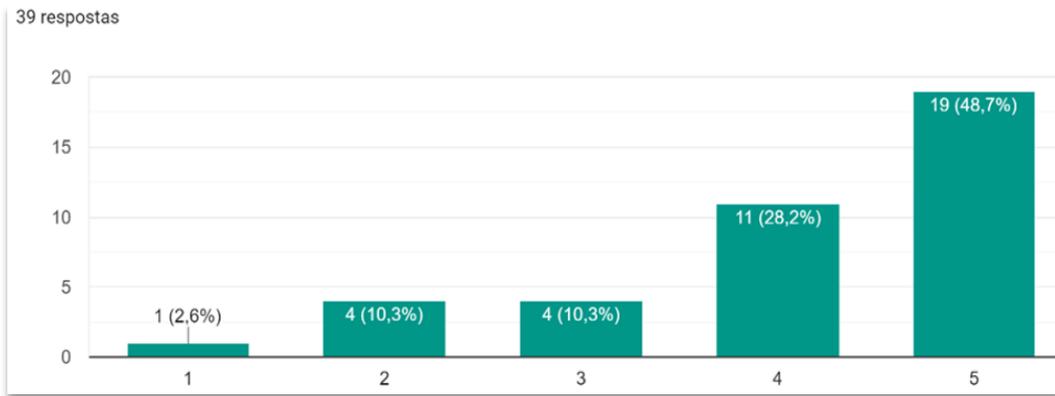


Gráfico 6. Utilidade das Soluções Propostas
(Average rating 4.10)

4 - Satisfação Geral: “Está satisfeito com a ajuda que recebeu do chatbot?”

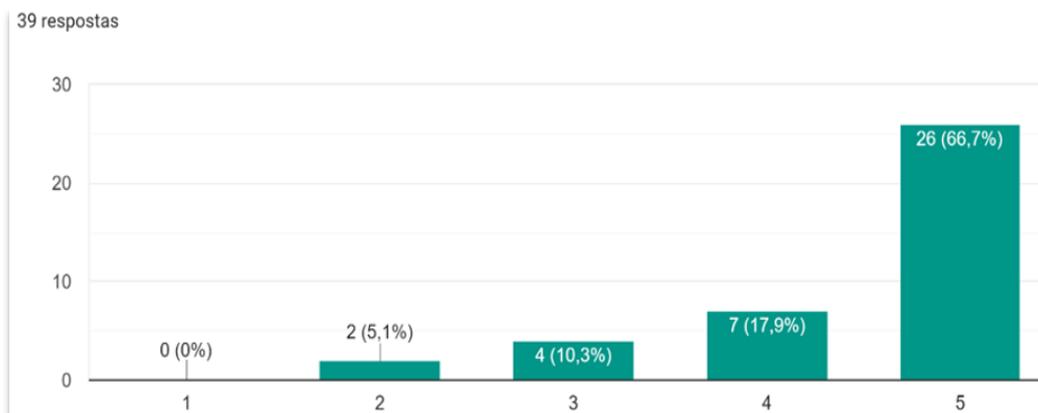


Gráfico 7. Satisfação Geral com a Ajuda Recebida
Average rating (4.46)

Net Promoter Score (NPS):

Neste caso, a aplicabilidade desta ferramenta teve por base as seguintes questões:

1 - “Numa escala de 0 a 10, a consulta ao assistente virtual ajudou a solucionar o seu problema?”

2 - “Numa escala de 0 a 10, quanto provável é recomendar o chatbot a outras pessoas?”

Para o efeito, foi convidado um conjunto de utilizadores a avaliar a sua experiência. As respostas recolhidas, para calcular o NPS, foram enquadradas em grupos de acordo com a avaliação recebida. Assim, de 0 a 6 → Detratores, de 7 e 8 → Neutros e de 9 e 10 → Promotores.

Para calcular o NPS foi subtraído a percentagem de detratores (0-6) da percentagem de promotores (9-10), finalmente foi utilizada a seguinte escala para mensurar o resultado obtido:

Entre 75% e 100%: Excelente, - Entre 50% e 74%: Muito bom, - Entre 0% e 49%: Razoável, - Entre -100% e -1%: Mau.

O resultado recolhido foi: Muito bom para a 1ª questão e: Excelente para a 2ª questão, conforme resultados apresentados na Tabela 7 e nos Gráficos, 8 e 9.

Tabela 7. Net Promoter Score (NPS)

Questões	Detratores	Neutros	Promotores	NPS
Numa escala de 0 a 10, a consulta ao assistente virtual ajudou a solucionar o seu problema?	0+0+1,7+1,7+5,0+1,7= 10,1%	6,7+13,3= 20,0%	46,7+23,3= 70,0%	59,9%
Numa escala de 0 a 10, quanto provável é recomendar o chatbot a outras pessoas?	0+0+0+0+0+1,7= 1,7%	3,3+3,3= 6,6%	25,0+66,7= 91,7%	90,0%

Fonte: Elaboração própria.

1 - “Numa escala de 0 a 10, a consulta ao assistente virtual ajudou a solucionar o seu problema?”

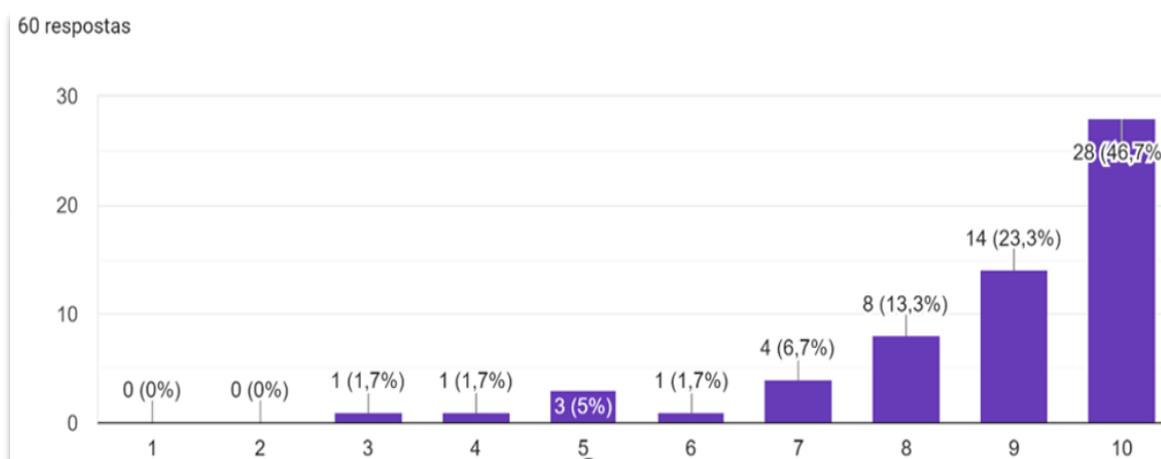


Gráfico 8. Avaliação da satisfação dos utilizadores na Solução do Problema. (Average rating 8.77)

2 - “Numa escala de 0 a 10, quanto provável é recomendar o chatbot a outras pessoas?”

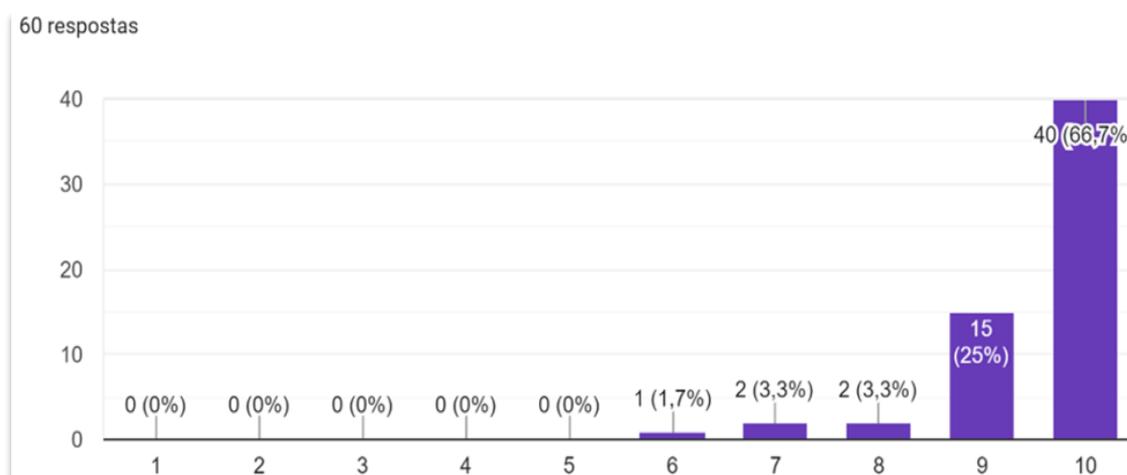


Gráfico 9. Avaliação da Probabilidade de recomendação.
(Average rating 9.52)

6.4.2 Feedback Qualitativo

Para recolher comentários e sugestões dos utilizadores sobre como melhorar os artefactos, foram colocadas as seguintes questões:

1 - Pontos Fortes: “O que mais gostou na interação com o chatbot?”

2 - Soluções Propostas: “As soluções propostas pelo chatbot foram úteis? Por favor, explique.”

3 - Usabilidade: “Houve algum momento em que teve dificuldade em entender ou seguir as instruções do chatbot?”

4 - Áreas de Melhoria: “Que melhorias sugere para o chatbot?”

5 - Satisfação Geral: “Está satisfeito com a ajuda que recebeu do chatbot? Por favor, explique.”

Em resultado, relatamos aqui as principais reações:

Os utilizadores destacaram principalmente a clareza e eficácia das instruções fornecidas pelo chatbot, que permitiram a identificação de problemas em dispositivos eletrónicos de forma rápida e intuitiva. A interface amigável e a capacidade do chatbot de dar sugestões com soluções realistas foram frequentemente mencionadas como pontos positivos.

As soluções propostas pelo chatbot foram, também, referenciadas como bastante úteis.

Relativamente à usabilidade do chatbot, embora tenha sido amplamente positiva, com uma pontuação média de 4,97 (Gráfico 5), alguns utilizadores mencionaram pequenas dificuldades, especialmente em cenários mais técnicos ou específicos.

As sugestões de melhoria focaram-se principalmente na expansão das capacidades do chatbot, nomeadamente na abrangência de outros equipamentos eletrónicos.

Quanto à satisfação geral, a grande maioria dos utilizadores expressou um alto nível de satisfação com a ajuda fornecida pelo chatbot nas soluções apresentadas, bem como, no propósito do prolongamento da vida útil do seu equipamento e da sustentabilidade.

Capítulo 7

Conclusão

7.1 Resposta aos objetivos

Em relação ao objetivo geral, a solução proposta aborda diretamente este objetivo ao implementar um assistente virtual que integra tecnologias avançadas de inteligência artificial, como modelos de geração aumentada por recuperação (RAG), com uma base de conhecimento técnica específica e robusta. O chatbot fornece diagnósticos precisos e orientações claras para reparação prolongando a vida útil dos dispositivos. Além disso, a inclusão de informações sobre pontos de reciclagem e métodos de entrega de dispositivos em fim de vida, promove ações sustentáveis entre os utilizadores, fomentando uma cultura sustentável, alinhada aos princípios da economia circular. A solução desenvolvida não apenas reduz o volume de resíduos eletrônicos ao promover diagnósticos eficazes, mas também incentiva ações de reparação e reutilização, que são elementos centrais da economia circular.

Relativamente aos objetivos específicos, com a implementação do assistente virtual projetado para interpretar problemas relatados pelos utilizadores e oferecer soluções específicas e contextualizadas. Baseado numa base de dados técnica robusta com mais de 20 mil registos de intervenções, o sistema combina rapidez e precisão no diagnóstico. Isso é especialmente valioso para utilizadores com pouca ou nenhuma experiência técnica, permitindo uma resolução eficiente de problemas comuns. A capacidade do assistente em fornecer diagnósticos detalhados demonstra a eficiência do uso da base de conhecimento técnica consolidada. Com a plataforma oferece um conjunto de ferramentas educacionais e práticas, incluindo orientações sobre reparação e reutilização de dispositivos. A promoção da reciclagem foi abordada por meio de funcionalidades que educam os utilizadores e fornecem suporte técnico prático, contribuindo para a sustentabilidade. Estas funcionalidades incluem informações detalhadas sobre locais de reciclagem e melhores práticas de entrega, incentivando comportamentos alinhados aos princípios da economia circular.

Para garantir que a solução fosse relevante e eficaz, foram utilizadas métricas como a Escala de Likert e o Net Promoter Score (NPS). A Escala de Likert avaliou a facilidade de uso, a clareza das respostas e a satisfação geral, enquanto o NPS mediu a probabilidade de recomendação da solução pelos utilizadores. Os resultados demonstraram um alto nível de aceitação e satisfação pelos utilizadores, validando o impacto positivo e a eficácia da solução.

7.2 Principais Contribuições

Este trabalho propôs uma solução integrada para promover a reutilização e reciclagem de equipamentos eletrônicos, desenvolvendo uma solução tecnológica que promove a reutilização e reciclagem de componentes, enfrentando o crescente problema dos resíduos eletrônicos e alinhada com os princípios da economia circular e sustentabilidade ambiental. As principais contribuições incluem:

O desenvolvimento de um assistente virtual inovador, baseado em modelos de linguagem avançados (LLMs), para fornecer diagnósticos precisos e personalizados de dispositivos eletrônicos, apoiados por uma base de conhecimento robusta.

Uma plataforma para a sustentabilidade que facilita o acesso a informações críticas, como localização de pontos de reciclagem e métodos de entrega de equipamentos em fim de vida, enquanto promove a educação sobre práticas ambientais responsáveis.

Uma solução foi projetada para prolongar a vida útil dos dispositivos eletrônicos, promovendo práticas de reutilização e reciclagem que estão alinhadas com os princípios da economia circular.

7.3 Limitações do Estudo

Apesar do sucesso alcançado, algumas limitações foram identificadas, nomeadamente, a abrangência da Base de Dados. A base de conhecimento utilizada pelo assistente virtual ainda não cobre todas as categorias de dispositivos eletrônicos e cenários possíveis.

A escalabilidade, o estudo focou-se em um conjunto limitado de utilizadores e dispositivos. Estudos adicionais são necessários para avaliar a eficácia em larga escala.

A Interação Avançada, algumas interações mais complexas podem requerer melhorias adicionais na modelagem do assistente para interpretar e responder com maior contexto.

7.4 Trabalho Futuro

Com base nas limitações identificadas, propõem-se as seguintes direções para futuras pesquisas:

Expansão da Base de Conhecimento, de forma a ampliar a cobertura para incluir uma variedade maior de dispositivos e problemas técnicos, incluindo dispositivos emergentes, como wearables e tecnologias domésticas inteligentes aprimorando as capacidades do assistente virtual.

Implementação de funcionalidades adicionais na plataforma digital, como integração com redes sociais para aumentar a disseminação das práticas de reutilização e reciclagem.

Estudos em larga escala para avaliar o impacto da solução na redução de resíduos eletrônicos ao longo do tempo em diferentes contextos e populações, incluindo empresas e organizações de gestão de resíduos.

Funcionalidades avançadas integrando capacidades adicionais, como análise preditiva de falhas e integração com dispositivos IoT, para diagnósticos mais detalhados.

7.5 Considerações Finais

O volume crescente de resíduos eletrônicos representa uma ameaça significativa ao meio ambiente, devido à presença de substâncias tóxicas e ao desperdício de recursos valiosos. Este projeto foi motivado pela necessidade urgente de soluções sustentáveis que possam mitigar esses impactos negativos, promovendo práticas de reutilização e reciclagem. Os resultados mostraram que o assistente virtual e a plataforma digital são ferramentas eficazes para prolongar a vida útil dos equipamentos eletrônicos, promover a reutilização e reciclagem de dispositivos eletrônicos e consciencializar os utilizadores sobre práticas ambientais responsáveis.

Em conclusão, este trabalho destacou o potencial da inteligência artificial na gestão de resíduos eletrônicos, promovendo práticas sustentáveis e inovadoras. A solução proposta demonstra como a tecnologia pode ser uma aliada na redução do impacto ambiental, enquanto incentiva a economia circular e a responsabilidade ecológica. Com os resultados obtidos, a solução demonstra potencial significativo para ser escalada e adaptada a diferentes contextos e públicos. Consideramos assim, atingidos os objetivos propostos neste estudo, recomendando que esta abordagem seja adotada e expandida em iniciativas futuras, contribuindo para um futuro mais sustentável.

Referências Bibliográficas

- [1] «Moore's Law – Now and in the Future», Intel. Acedido: 3 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/opinion/moore-law-now-and-in-the-future.html>
- [2] «The Global E-waste Monitor 2024», ITU. Acedido: 7 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.itu.int:443/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/The-Global-E-waste-Monitor-2024.aspx>
- [3] A. Pego e J. Lourenço, «An AI Analysis on the Circular Economy Value Chain: A Portuguese Perspective of Evaluation Business Models», em *Digital Sustainability: Inclusion and Transformation*, F. L. Almeida, J. C. Morais, e J. D. Santos, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 55–68. doi: 10.1007/978-3-031-57650-8_5.
- [4] «Widmer: Global perspectives on e-waste - Google Académico». Acedido: 6 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Global%20perspectives%20on%20e-waste&publication_year=2005&author=R.%20Widmer&author=H.%20Oswald-Krapf&author=D.%20Sinha-Khetriwal&author=M.%20Schnellmann&author=H.%20Boni
- [5] «The Global E-waste Monitor 2024», ITU. Acedido: 3 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.itu.int:443/en/ITU-D/Environment/Pages/Publications/The-Global-E-waste-Monitor-2024.aspx>
- [6] «A New Circular Vision for Electronics - Time for a Global Reboot», ITU. Acedido: 3 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.itu.int:443/en/ITU-D/Climate-Change/Pages/ewaste/A-New-Circular-Vision-for-Electronics-Time-for-a-Global-Reboot.aspx>
- [7] «WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf». Acedido: 8 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf
- [8] G. Caldarini, S. Jaf, e K. McGarry, «A Literature Survey of Recent Advances in Chatbots», *Information*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, jan. 2022, doi: 10.3390/info13010041.
- [9] «Yan: Learning to respond with deep neural networks... - Google Académico». Acedido: 6 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Learning+to+Respond+with+Deep+Neural+Networks+for+Retrieval-Based+Human-Computer+Conversation+System&conference=Proceedings+of+the+39th+International+ACM+SIGIR+Conference+on+Research+and+Development+in+Information+Retrieval-SIGIR+%E2%80%9916&author=Yan,+R.&author=Song,+Y.&author=Wu,+H.&publication_year=2016&pages=55%E2%80%9364&doi=10.1145/2911451.2911542
- [10] «Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition». Acedido: 8 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- [11] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. Bocken, e E. J. Hultink, «The Circular Economy - A New Sustainability Paradigm?», 2017, *Rochester, NY*: 2930842. Acedido: 3 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://papers.ssrn.com/abstract=2930842>
- [12] R. E. da Silva, P. L. V. A. da C. Santos, e E. Ferneda, «Modelos de recuperação de informação e web semântica: a questão da relevância», *Informação Informação*, vol. 18, n.º 3, Art. n.º 3, out. 2013, doi: 10.5433/1981-8920.2013v18n3p27.
- [13] G. Caldarini, S. Jaf, e K. McGarry, «A Literature Survey of Recent Advances in Chatbots», *Information*, vol. 13, n.º 1, Art. n.º 1, jan. 2022, doi: 10.3390/info13010041.
- [14] E. A. de S. Gomes, «Aplicabilidade de Algoritmos de Aprendizado de Máquina para Detecção de Intrusão e Análise de Anomalias de Rede», mar. 2019, Acedido: 7 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/SLSC-BC9F4H>
- [15] H. Y. Shum, X. D. He, e D. Li, "From Eliza to XiaoIce: Challenges and opportunities with social chatbots," *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, vol. 19, pp. 10-26, 2018. doi: 10.1631/FITEE.1700826.

- [16] J. M. Martin e P. Robaux, «Occupational risks: a follow-up method based on individual work history records including the environmental aspects of the workplace», *Methods Inf. Med.*, vol. 28, n.º 3, pp. 148–154, jul. 1989.
- [17] V. N. Pinto, «E-waste hazard: The impending challenge», *Indian J. Occup. Environ. Med.*, vol. 12, n.º 2, pp. 65–70, ago. 2008, doi: 10.4103/0019-5278.43263.
- [18] P. Kiddee, R. Naidu, e M. H. Wong, «Electronic waste management approaches: an overview», *Waste Manag.*, vol. 33, n.º 5, pp. 1237–1250, mai. 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2013.01.006.
- [19] W. R. Stahel, «The circular economy», *Nature*, vol. 531, n.º 7595, pp. 435–438, mar. 2016, doi: 10.1038/531435a.
- [20] «Scopus - Document search results | Signed in». Acedido: 12 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=chatboot%2Ce-waste&sid=bf3724c5b4aa058b65dda63dfb634ac2&sot=b&sdt=b&sl=22&s=KEY%28chatbots+AND+recycle%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present&sessionSearchId=bf3724c5b4aa058b65dda63dfb634ac2&limit=10>
- [21] «Annual Report 2019-2020», World Economic Forum. Acedido: 4 de julho de 2024. [Em linha]. Disponível em: <https://www.weforum.org/publications/annual-report-2019-2020/>
- [22] C. Baldé, V. Forti, V. Gray, R. Kuehr, e P. Stegmann, *The Global E-waste Monitor 2017: Quantities, Flows, and Resources*. 2017.
- [23] V. K. Garlapati, «E-waste in India and Developed countries: Management, Recycling, Business and Biotechnological Initiatives», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 874–881, fev. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.106.
- [24] V. K. Garlapati, «E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 54, pp. 874–881, fev. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.106.