INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

IoT IN RETAIL: CUSTOMER EXPERIENCE AND OPTIMIZATION OF STAFF

Mónica Neves Luis

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Orientador:
Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira,
Professor Auxiliar com Agregação,
ISCTE-IUL – Universidade de Lisboa

Janeiro, 2026

TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

IoT IN RETAIL: CUSTOMER EXPERIENCE AND OPTIMIZATION OF STAFF

Mónica Neves Luis

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Orientador:
Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira,
Professor Auxiliar com Agregação,
ISCTE-IUL – Universidade de Lisboa

Janeiro, 2026

Aos meus avós, que sempre me deram amor,

força e a certeza de que eu seria capaz.

Este mestrado é também a realização do vosso sonho.

Um sonho que apoiaram com orgulho,

carinho e fé no meu caminho.

Esta vitória é tanto minha quanto vossa.

Mónica Luis

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os que desempenharam um papel importante nas minhas conquistas académicas.

Em primeiro lugar, aos meus pais, à minha irmã e aos meus avós, pelo amor, compreensão e apoio incondicional, e por sempre acreditarem em mim. Sem vocês, nada disto teria sido possível, e não teria tido a força para prosseguir o meu percurso académico até este momento tão significativo.

Em segundo lugar, ao meu noivo, o amor da minha vida, com quem partilho há mais de 15 anos momentos de alegria, crescimento e entreajuda. Obrigada por todo o apoio, paciência, incentivo e compreensão — e por estares sempre ao meu lado, mesmo nos dias mais desafiantes.

Em terceiro lugar, ao meu orientador, Professor João Carlos Ferreira. Agradeço profundamente o rigor, a disponibilidade, a orientação e o apoio que dedicou a este projeto e ao meu desenvolvimento académico.

Agradeço ainda a todos os que, de alguma forma, fizeram parte do meu percurso: Professores, colegas, amigos e à Worten, que tem acompanhado todo o meu trajeto académico e que apoiou o financiamento deste mestrado.

A todos, o meu sincero obrigada.

Resumo

A transformação do retalho físico tem sido impulsionada pela digitalização, pela integração omnicanal e pela crescente recolha de dados em loja. No setor da eletrónica de consumo, onde a complexidade técnica dos produtos exige uma forte componente de venda consultiva, torna-se essencial compreender como a tecnologia pode apoiar a intervenção humana, reforçando a experiência do cliente e otimização operacional. Este estudo, desenvolvido como um caso conceptual aplicado à Worten, explora o potencial da *Internet of Things* (IoT) para identificar, em tempo quase real, sinais comportamentais que indiquem a necessidade de apoio por parte dos colaboradores. Através de uma revisão de literatura abrangente e da adoção dos princípios da *Design Science Research Methodology*, é proposta uma prova de conceito composta por uma arquitetura conceptual baseada em *beacons* BLE, sensores RFID e mecanismos de inferência heurística e lógica *fuzzy*.

A solução conceptual transforma sinais como permanência em zonas técnicas, interações com produtos e padrões de navegação num indicador de necessidade de intervenção, traduzido em recomendações internas aos colaboradores.

Embora não tenha sido implementado um protótipo em ambiente real, o estudo evidencia a plausibilidade da abordagem e o seu potencial contributo para melhorar o momento de abordagem ao cliente, aumentar a eficiência da equipa e reforçar o papel humano no processo de venda. São ainda identificadas limitações, e propostas direções para trabalhos futuros, incluindo a implementação de um projeto piloto, integração de modelos preditivos e avaliação da aceitação por parte de colaboradores e clientes.

Keywords: *Internet of Things; Experiência do Cliente; Venda Consultiva; Lógica Fuzzy; Otimização das Operações de Retalho*

Abstract

The digital transformation of physical retail has accelerated the integration of omnichannel services and data-driven operations. In the consumer electronics sector, where product complexity demands highly consultative sales, understanding how technology can enhance human intervention is crucial for improving both customer experience and operational performance. This study, developed as a conceptual case applied to Worten, explores the potential of the Internet of Things (IoT) to detect in-store behavioral signals that indicate when customers may benefit from assistance. Through a comprehensive literature review and guided by the principles of the Design Science Research Methodology, a proof of concept is proposed, featuring a conceptual architecture that integrates BLE beacons, RFID sensors, and heuristic and fuzzy logic inference mechanisms.

The proposed model transforms signals such as dwell time in technical areas, product interactions, and navigation patterns into an indicator of support need, generating internal recommendations for store staff.

Although no real-world prototype was implemented, the study demonstrates the plausibility and organizational value of this approach, highlighting its potential to optimize the timing of staff intervention, improve resource allocation, and reinforce the human role in consultative selling. Limitations are discussed and pathways for future work are proposed, including pilot deployment, integration of predictive models, and user acceptance assessment.

Keywords: *Internet of Things; Customer Experience; Consultative Selling; Fuzzy Logic; Retail Operations Optimization*

Índice

Agradecimentos iv
Resumo v
Abstract vii
Índice ix
Índice de Tabelas xi
Lista de Abreviaturas xii
CAPÍTULO 1 1
Introdução 1
1.1 Problema da investigação e relevância 3
1.2 Objetivos do estudo 3
1.3 Questões de investigação 4
1.4 Estrutura do documento 4
1.5 Contributos do estudo 6
CAPÍTULO 2 7
Revisão da Literatura 7
2.1 IoT no retalho e experiência do cliente 8
2.2 Lógica *fuzzy*, modelos preditivos e fidelização 9
2.3 Integração IoT, realidade aumentada e inteligência artificial 9
2.4 RFID, RFID *chipless* e automatização em loja 10
2.5 Segurança, privacidade e confiança do consumidor 10
2.6 Síntese e lacunas identificadas 11
CAPÍTULO 3 13
Requisitos e Arquitetura da Prova de Conceito 13
3.1 Natureza e Enquadramento da Prova de Conceito 13
3.2 Requisitos da Prova de Conceito 14
3.3 Cenário Conceptual e Pressupostos do Sistema 14
3.4 Arquitetura Conceptual da Solução 16
3.5 Variáveis, Indicadores e Modelo de Inferência 17
3.6 Síntese do Capítulo 18
CAPÍTULO 4 19
Demonstração e Avaliação Conceptual da Prova de Conceito 19
4.1 Enquadramento do Capítulo na *Design Science Research Methodology* 19
4.2 Demonstração do Artefacto através de Casos de Uso 19

4.2.1 Caso de Uso 1 – Cliente em zona técnica com sinais de indecisão 19
4.2.2 Caso de Uso 2 – Zona congestionada com múltiplos clientes e recursos limitados 20
4.2.3 Caso de Uso 3 – Cliente autónomo sem necessidade de intervenção 20
4.2.4 Caso de Uso 4 – Contexto de apoio técnico e pós-venda 21
4.3 Avaliação Conceptual do Artefacto 21
4.4 Limitações e Riscos Associados à Avaliação Conceptual 22
4.5 Síntese do Capítulo 22
CAPÍTULO 5 23
Prova de Conceito 23
5.1 Objetivos da Prova de Conceito 23
5.2 Suposições do Cenário Simulado 24
5.2.1 Dimensão da loja e zonas funcionais 24
5.2.2 Dispositivos IoT e precisão de localização 24
5.2.3 Classificação dos Produtos 25
5.3 Arquitetura Conceptual da Solução 25
5.4 Variáveis e Indicadores 26
5.5 Regras de Decisão (Heurísticas e *Fuzzy*) 26
5.6 Fluxos de Dados e Processamento em Tempo Quase Real 27
5.7 Desafios Técnicos e Operacionais do Sistema 28
Esta Prova de Conceito traz também alguns desafios operacionais de sistema que devem ser tidos em consideração, assim como: 28
5.8 Considerações de Privacidade, Ética e Integração Organizacional 28
5.9 Síntese 29
CAPÍTULO 6 30
Conclusão 30
6.1 Síntese dos principais contributos 30
6.2 Resposta às questões de investigação 31
6.3 Contributos teóricos e práticos 32
6.4 Limitações do estudo 32
6.5 Recomendações para trabalhos futuros 33
6.6 Limitações metodológicas gerais 33
Referências Bibliográficas 35

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Síntese da Literatura: Tecnologia, Foco, Papel do Colaborador e Relevância. 12
Tabela 2 – Arquitetura Conceptual da Solução 17
Tabela 3 - Funções de pertença fuzzy por variável 26

Lista de Abreviaturas

AMQP - *Advanced Message Queuing Protocol*

API – *Application Programming Interface*

BERT - *Bidirectional Encoder Representations from Transformers*

BLE – *Bluetooth Low Energy*

CRM – *Customer Relationship Management*

DSRM – *Design Science Research Methodology*

IA – *Inteligência Artificial*

IoT – *Internet of Things*

MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport*

POS – *Point of Sale*

RA – *Realidade Aumentada*

RFID - *Radio-Frequency Identification*

WOM – *Word of Mouth*

CAPÍTULO 1.

Introdução

A transformação do retalho físico tem sido profundamente influenciada pela digitalização da economia, pela integração omnicanal e pela crescente datificação dos processos de interação com o consumidor. A convergência entre canais digitais e ambientes de loja acentua expectativas de serviço mais personalizadas, respostas mais rápidas e experiências coerentes entre pontos de contacto.

Paralelamente, as organizações enfrentam constrangimentos de eficiência e a necessidade de alocar recursos humanos de forma dinâmica em contextos de afluência variável. Neste panorama, as tecnologias emergentes assumem um papel instrumental como meios de suporte à decisão e de orquestração de processos, com destaque para *a Internet of Things* (IoT), cuja capacidade de recolha e integração de dados em tempo quase real abre novas possibilidades para a gestão do ambiente físico da loja [1]. Entre estas tecnologias, a IoT destaca-se por viabilizar a recolha contínua de sinais gerados por sensores, etiquetas de *Radio-Frequency Identification* (RFID), dispositivos móveis e outros componentes distribuídos pelo espaço físico [2]. A combinação desses sinais com técnicas de análise avançada permite elaborar leituras mais granulares do comportamento em loja: padrões de circulação, áreas de maior permanência, intensidade de interação com produtos, bem como momentos-limite em que uma intervenção humana pode reduzir fricção e elevar a satisfação. Importa, contudo, sublinhar uma premissa estruturante deste trabalho: a IoT é entendida como meio capacitador ao serviço de objetivos de experiência e eficiência, e não como um fim em si mesma. Esta orientação é consistente com abordagens *human-in-the-loop*, nas quais a tecnologia suporta a decisão humana [3].

No retalho de eletrónica de consumo, a complexidade técnica de grande parte dos produtos, a largura e profundidade de sortido e a frequência de decisões de compra informadas colocam a venda consultiva no centro da proposta de valor. A qualidade da experiência não se rege apenas na disponibilização de *stock*, depende da capacidade da equipa de loja identificar quando e como intervir, com oportunidade e pertinência. Na prática corrente, a decisão sobre o momento de abordagem ao cliente apoia-se maioritariamente na observação empírica e na experiência acumulada dos colaboradores, sem mecanismos sistemáticos sustentados por dados, que orientem a intervenção e reduzam a variabilidade entre equipas, turnos e lojas.

A Worten, retalhista de referência no mercado português de eletrónica e eletrodomésticos, opera em espaços de elevada heterogeneidade, com zonas de produto distintas, picos de afluência e constrangimentos de recursos humanos. Nestes contextos, o momento da intervenção é crítico: uma abordagem precoce pode ser percecionada como intrusiva; uma intervenção tardia pode traduzir-se em frustração, abandono de intenção de compra ou perda de conversão. Em paralelo, a ausência de

informação estruturada e contínua sobre fluxos e padrões comportamentais limita a capacidade de gestão para otimizar a afetação de colaboradores por zonas, períodos e categorias, impactando a eficiência global e a consistência do serviço.

Apesar do potencial, a literatura sobre IoT no retalho tem privilegiado domínios como automação de processos, gestão de inventário, self-checkout e eficiência logística, cobrindo de forma menos sistemática a utilização de sinais em loja para reforçar a intervenção humana na venda consultiva. Identifica-se, assim, uma lacuna específica: como mobilizar a IoT para apoiar, e não substituir, o colaborador, desenvolvendo artefactos conceptuais (arquiteturas, regras, modelos) que traduzam dados comportamentais em recomendações operacionais de intervenção no momento certo. É precisamente sobre esta lacuna que incide o presente trabalho.

Importa clarificar, desde o início, a natureza deste estudo: trata-se de um estudo de caso conceptual aplicado à Worten, sem implementação prática nem recolha de dados em loja. O trabalho apresenta uma proposta teórica e conceptual plausível para o contexto em causa, explorando possibilidades técnicas e organizacionais, evidenciando pressupostos, antecipando resultados e implicações, mas sem suporte empírico derivado de experimentação ou de exploração de dados operacionais.

Neste contexto, o objetivo é contribuir para o desenho de um quadro conceptual que permita transformar sinais comportamentais em loja em decisões operacionais sobre quando e onde intervir, conciliando requisitos de experiência do cliente com eficiência da operação. Tal quadro deve contemplar a arquitetura de recolha e processamento, os fluxos de informação, a definição de indicadores comportamentais relevantes e os mecanismos de inferência e recomendação (p. ex., baseados em lógica *fuzzy* e abordagens preditivas), garantindo simultaneamente alinhamento com considerações organizacionais, de formação e de privacidade [4].

Para além do enfoque técnico-conceptual, reconhecem-se igualmente implicações organizacionais e éticas. A adoção de soluções suportadas por sinais em loja implica considerar modelos de formação e mudança comportamental das equipas, clarificar responsabilidades de supervisão e critérios de priorização entre zonas e clientes, e acautelar princípios de governança de dados, minimização de recolha, proporcionalidade e transparência para com clientes e colaboradores. Estas dimensões, embora não empírica ou normativamente testadas aqui, integram a discussão conceptual proposta [1].

Como ponte para a enumeração dos contributos e para a explicitação dos objetivos e das questões de investigação, sublinha-se que este trabalho procura materializar, de forma coerente, uma proposta conceptual testável em futuro piloto, articulada com a literatura e alinhada com constrangimentos e necessidades reais do contexto da Worten.

1.1 Problema da investigação e relevância

O problema central que orienta este estudo consiste na inexistência, em contexto de loja física da Worten, de mecanismos sistemáticos e baseados em dados que, em tempo quase real, identifiquem quando e onde a intervenção de um colaborador é mais necessária. A atual dependência de observação empírica e julgamento individual introduz variabilidade, limita a monitorização holística do espaço de loja e dificulta a aplicação consistente de critérios na afetação de recursos.

As implicações deste problema são multifacetadas. Ao nível da experiência do cliente, podem observar-se tempos de espera excessivos para obtenção de apoio, abordagens desajustadas em termos de *timing* e perceções de serviço inconsistentes entre lojas e turnos. Ao nível operacional, a alocação de colaboradores a zonas e categorias críticas torna-se menos eficiente, sobretudo em períodos de maior afluência ou em áreas tecnicamente exigentes. Ao nível estratégico, a ausência de dados estruturados e de mecanismos de análise limita a aprendizagem organizacional, a melhoria contínua de *layouts* e fluxos, e a construção de perfis e padrões de utilização do espaço.

A relevância do estudo emerge, assim, de três dimensões complementares. Em primeiro lugar, propõe-se uma utilização da IoT orientada para o reforço da intervenção humana, em contraste com perspetivas estritamente automatizadoras. Em segundo lugar, apresenta-se uma arquitetura conceptual ajustada ao contexto concreto da Worten, integrando tecnologia, análise e recomendação interna. Em terceiro lugar, identificam-se indicadores e cenários de utilização que podem sustentar trabalhos futuros de implementação técnica e avaliação empírica, incluindo pilotos controlados.

1.2 Objetivos do estudo

O objetivo geral deste estudo consiste em propor e avaliar conceptualmente uma prova de conceito baseada em tecnologias IoT para apoiar a decisão sobre o momento adequado de intervenção dos colaboradores em loja física da Worten, visando simultaneamente a melhoria da experiência do cliente e a otimização da operação.

Objetivos específicos:

a) Rever criticamente o estado da arte sobre aplicações de IoT no retalho físico e na experiência do cliente, com atenção a abordagens centradas em dados comportamentais em loja.

b) Identificar desafios, limitações e oportunidades associados à integração da IoT no contexto da Worten, incluindo aspetos tecnológicos, organizacionais e de privacidade e ética dos dados.

c) Propor uma arquitetura conceptual para recolha, processamento e interpretação de dados comportamentais em loja, definindo fontes de dados, fluxos de informação e componentes-chave do sistema.

d) Definir regras e modelos (combinando lógica *fuzzy* e abordagens preditivas) para estimar a necessidade de apoio ao cliente em função de padrões observados.

e) Simular e discutir conceptualmente o funcionamento da prova de conceito e os resultados esperados, explicitando cenários de utilização e potenciais indicadores de desempenho para futura avaliação empírica.

1.3 Questões de investigação

De forma a operacionalizar estes objetivos, o estudo é guiado por um conjunto de questões de investigação que estruturam a análise teórica e a proposta de solução.

Em primeiro lugar, coloca-se a questão de saber de que modo as tecnologias IoT podem ser utilizadas para recolher e interpretar dados comportamentais em loja, de forma a apoiar decisões sobre a intervenção dos colaboradores. Esta questão implica a identificação de quais os dispositivos e sensores mais adequados, que tipos de dados podem ser recolhidos e como estes podem ser integrados numa visão coerente do comportamento do cliente em tempo quase real [3].

Em segundo lugar, importa determinar quais os indicadores mais relevantes para inferir que um cliente poderá necessitar de apoio. Exemplos incluem o tempo de permanência numa determinada zona, a repetição de visitas ao mesmo produto, a interação física com artigos de maior complexidade ou valor e a permanência prolongada em áreas tipicamente associadas a assistência técnica [4].

Em terceiro lugar, tentar compreender de que forma a integração de lógica *fuzzy* e de modelos preditivos pode contribuir para uma recomendação mais robusta acerca do momento em que um colaborador deve intervir. Esta dimensão envolve a definição de variáveis linguísticas, funções de pertença, regras de inferência e, eventualmente, modelos de aprendizagem automática que complementem ou refinem as regras heurísticas.

Em quarto lugar, pretende-se entender qual o impacto esperado de uma solução deste tipo na experiência do cliente e na eficiência operacional da Worten. Esta questão é abordada de forma conceptual, através da identificação de cenários de utilização, de potenciais indicadores de desempenho (como tempos médios de espera por apoio, taxas de conversão em certas categorias de produto ou níveis de satisfação reportados) e de possíveis benefícios e riscos associados.

1.4 Estrutura do documento

A organização deste documento foi concebida com o objetivo de guiar o leitor de forma progressiva desde o enquadramento conceptual do problema até à apresentação e discussão da prova de conceito. A estrutura procura assegurar uma leitura lógica e coerente, permitindo compreender não apenas o

que é proposto, mas também o racional teórico e metodológico que fundamenta cada etapa do trabalho.

O capítulo 1 corresponde à introdução geral do estudo, onde se apresenta o contexto do retalho físico e a relevância crescente das tecnologias IoT. Este capítulo caracteriza o papel específico da intervenção humana no retalho de eletrónica de consumo, explicita as limitações dos processos atuais de tomada de decisão em loja e introduz o estudo como um caso conceptual aplicado à Worten. Inclui igualmente a formulação do problema de investigação, os objetivos gerais e específicos, as questões de investigação e os contributos simbólicos da investigação, estabelecendo o enquadramento que orienta todo o trabalho.

O capítulo 2 reúne a revisão de literatura e o enquadramento teórico. Este capítulo aprofunda o estado da arte sobre IoT no retalho físico, abordando os principais tipos de dispositivos, métodos de recolha de dados comportamentais e áreas que têm concentrado maior atenção académica, como gestão de inventário, monitorização de fluxos e automação de processos. São também discutidas abordagens relacionadas com a venda consultiva, a experiência do cliente e a integração de tecnologias digitais no ambiente de loja. O capítulo identifica lacunas existentes no conhecimento, servindo de base para justificar a necessidade e relevância da proposta conceptual apresentada posteriormente.

O capítulo 3 descreve a metodologia de construção do estudo conceptual. Inclui os critérios de seleção e análise das fontes bibliográficas, bem como as premissas, limites e orientações que sustentam o desenvolvimento da arquitetura proposta. Uma vez que o trabalho não envolve recolha de dados empíricos nem implementação em ambiente real, este capítulo clarifica a natureza conceptual do estudo e estabelece os princípios orientadores que asseguram consistência interna à proposta.

O capítulo 4 apresenta a prova de conceito desenvolvida, constitui o núcleo da contribuição prática e conceptual do trabalho. Detalha a arquitetura proposta para a integração de tecnologias IoT em loja física da Worten, descrevendo os componentes do sistema, as fontes de dados consideradas, os fluxos de informação e os mecanismos de interpretação dos sinais comportamentais recolhidos. São discutidos os fundamentos das regras de inferência, incluindo o recurso a lógica *fuzzy* e a abordagens preditivas, e apresentados cenários exemplificativos de funcionamento do sistema em situação realista.

O capítulo 5 dedica-se à discussão dos resultados conceptuais e das implicações da adoção de uma solução como a proposta. Explora os potenciais benefícios operacionais e efeitos na experiência do cliente, abordando também desafios organizacionais, requisitos de mudança interna, aspetos de formação de equipas e questões éticas e de privacidade dos dados. Além disso, o capítulo discute

limitações inerentes à análise conceptual e identifica condições necessárias para uma eventual transição para fase piloto ou implementação experimental.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do estudo, sintetizando os principais contributos, reforçando o enquadramento teórico e prático da proposta e evidenciando de forma clara as limitações e as direções recomendadas para trabalhos futuros. Entre estas incluem-se sugestões para a implementação de protótipos, recolha empírica de dados, avaliação quantitativa dos impactos e estudos comparativos em diferentes perfis de loja ou categorias de produto.

1.5 Contributos do estudo

Este estudo oferece um conjunto de contributos teóricos e práticos relevantes para a evolução das soluções baseadas em IoT aplicadas ao retalho físico. Do ponto de vista teórico, reforça a importância de enquadrar a IoT não apenas como ferramenta de automação, mas como suporte à decisão humana, contribuindo para preencher uma lacuna identificada na literatura relativamente ao papel do colaborador na venda consultiva em loja física. Em termos práticos, o trabalho propõe uma arquitetura conceptual plausível para o contexto da Worten, definindo dispositivos, fluxos de dados, variáveis comportamentais e mecanismos de inferência que podem servir de base para o desenvolvimento de um futuro piloto em ambiente real. Adicionalmente, apresenta um conjunto de regras heurísticas e *fuzzy* que facilitam a tradução de sinais comportamentais em recomendações operacionais acionáveis, bem como uma análise preliminar dos riscos, desafios e implicações éticas associados à sua adoção.

Este enquadramento fornece uma base estruturada para investigações futuras e para a eventual implementação experimental da solução conceptual apresentada.

CAPÍTULO 2.

Revisão da Literatura

A revisão de literatura realizada nesta investigação segue uma abordagem sistematizada, concebida para assegurar rigor, transparência e alinhamento com os objetivos do estudo. Não foi utilizado formalmente o protocolo PRISMA, mas foram adotados os seus princípios essenciais, assegurando clareza na identificação das fontes, nos critérios de seleção e na lógica de análise [5].

Num primeiro momento, definiu-se o âmbito conceptual da revisão, centrado em áreas relevantes para o retalho físico: tecnologias IoT, lógica *fuzzy*, modelos preditivos, RFID, RA e IA, bem como temas associados à experiência do cliente, comportamento em loja, tomada de decisão e questões de segurança e privacidade. Esta definição permitiu delimitar o universo da pesquisa e orientar a seleção das bases bibliográficas.

A pesquisa foi realizada nas bases IEEE *Xplore*, *Scopus*, *Web of Science* e *ACM Digital Library*, complementadas por *Google Scholar* para garantir robustez e cobertura de trabalhos frequentemente citados. A escolha destas bases resulta da sua forte presença nas áreas de engenharia, sistemas de informação e tecnologias emergentes, onde se concentram os estudos mais relevantes sobre IoT aplicada ao retalho.

O período temporal selecionado, de 2014 a 2024, procura refletir a maturação da IoT enquanto tecnologia aplicável ao retalho, a integração crescente de IA e de RA no ambiente físico e as transformações operacionais desencadeadas pelo período pós-pandemia, que aceleraram a adoção de sistemas *contactless* e a digitalização dos processos em loja.

Foram utilizadas combinações lógicas de palavras-chave primárias e secundárias, como *IoT retail, smart retail, in-store analytics, customer experience, consultative selling, fuzzy logic retail, predictive models retail, RFID retail, chipless RFID, IoT privacy* e *consumer trust*, testando variações semânticas e sinónimos. Estas consultas resultaram inicialmente em 163 registos. Após remoção de duplicados, ficaram 142 artigos. A triagem por título e resumo reduziu o número para 61, sendo realizada leitura integral destes artigos. Após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, resultou um conjunto final de 22 artigos relevantes.

Os critérios de inclusão englobaram artigos *peer-reviewed*, escritos em inglês ou português, com aplicação direta ao retalho físico ou impacto conceptual na monitorização de comportamento em loja. Foram excluídos artigos com foco exclusivamente industrial, estudos puramente algorítmicos sem ligação à experiência do utilizador e literatura cinzenta não avaliada por pares.

A análise dos artigos seguiu uma estratégia de codificação temática, organizada em torno de cinco dimensões: tecnologia utilizada, tipo de dados recolhidos, foco do estudo, papel atribuído ao colaborador e relevância para o desenvolvimento da prova de conceito. Esta estratégia permitiu

identificar cinco eixos temáticos estruturantes deste capítulo: IoT e experiência do cliente; lógica *fuzzy* e modelos preditivos; integração IoT-AR-IA; RFID e automatização; e segurança, privacidade e confiança.

Reconhecem-se limitações inerentes à revisão: a predominância de publicações técnicas pode limitar a análise de perspetivas sociológicas, a dependência das palavras-chave pode excluir estudos relevantes com terminologia distinta e a exclusão de literatura cinzenta pode omitir práticas de mercado não documentadas. Ainda assim, a amplitude das bases consultadas e o rigor aplicado na seleção asseguram que a literatura analisada é representativa e adequada ao desenvolvimento conceptual pretendido.

2.1 IoT no retalho e experiência do cliente

A IoT é amplamente descrita na literatura como um ecossistema distribuído de dispositivos interligados, capazes de recolher dados sobre fenómenos físicos e comportamentais em tempo quase real [4], [6]. No retalho, esta capacidade traduz-se na monitorização contínua de padrões de deslocação, interações com produtos, permanência em zonas específicas e utilização de serviços, permitindo caracterizar de forma mais precisa a jornada do cliente dentro da loja. Sensores como *beacons*, etiquetas RFID, prateleiras inteligentes e câmaras, aliados aos dispositivos móveis dos clientes, constituem fontes fundamentais desta recolha.

A literatura sublinha que esta capacidade de observação aumenta significativamente o potencial de identificar zonas de fricção, momentos de indecisão, padrões de procura de informação e necessidades latentes do cliente ao longo do percurso em loja [4], [9]. Estudos destacam que a IoT possibilita a criação de mapas de calor, a identificação de *hotspots* e a medição de tempos de espera, permitindo ajustar *layouts*, reforçar equipas em zonas críticas e personalizar mensagens contextuais [6]–[8]. Estas aplicações posicionam a IoT como um facilitador da chamada loja inteligente, na qual decisões operacionais podem ser informadas por dados contínuos e precisos [11].

Contudo, verifica-se uma forte orientação para a automação, com grande parte dos estudos focados em reposição automática, gestão de filas, deteção de rutura de *stock* e processos de *self-checkout* [6]–[8]. Embora estas aplicações contribuam para a eficiência, revelam uma lacuna importante: a literatura aborda pouco a utilização dos dados recolhidos por IoT como suporte à intervenção humana. Em particular, raros são os estudos que ligam sinais de permanência, deslocação ou manipulação de produtos ao momento ideal para um colaborador prestar apoio. Esta lacuna é especialmente relevante em segmentos como o retalho de eletrónica de consumo, onde a decisão de compra depende frequentemente de aconselhamento especializado.

Esta constatação é central para o presente estudo. O potencial da IoT para captar sinais comportamentais pode ser direcionado não apenas para eficiência e automação, mas também para

reforçar a venda consultiva, permitindo que colaboradores intervenham no momento oportuno e com melhor adequação às necessidades do cliente. Tal orientação enquadra a prova de conceito proposta, que procura explorar esta vertente ainda pouco estudada.

2.2 Lógica *fuzzy*, modelos preditivos e fidelização

A lógica *fuzzy*, enquanto metodologia apta para lidar com incerteza e categorias com diferentes níveis, tem sido aplicada em estudos que procuram interpretar comportamentos não binários, como intenção de compra ou fidelização [10]-[12].

Em retalho, a lógica *fuzzy* permite identificar graus de pertença a segmentos de cliente ou avaliar níveis de interesse e envolvimento através de variáveis como frequência de visitas, valor médio de compra ou resposta a estímulos promocionais.

A literatura indica que esta metodologia é apropriada para interpretar sinais recolhidos em loja, como tempo de permanência em zonas específicas, repetição de visitas a um linear ou interação com produtos de maior complexidade. Estes sinais podem ser convertidos em variáveis linguísticas, como baixo interesse, interesse moderado ou interesse elevado, que alimentam um índice final de necessidade de apoio. A lógica *fuzzy* permite assim aproximar o processo de decisão do colaborador ao comportamento real observado, mas com consistência e cobertura integral do espaço.

Por outro lado, modelos preditivos baseados em aprendizagem automática têm demonstrado capacidade para antecipar padrões de comportamento do cliente, incluindo probabilidade de conversão, abandono ou necessidade de intervenção [4], [7]. A literatura sugere que a combinação entre *fuzzy* e modelos preditivos pode gerar sistemas mais robustos, capazes de sugerir o momento ideal para abordar um cliente, com base em dados históricos e inferência contínua.

Esta combinação metodológica é particularmente relevante para a prova de conceito desta tese, que explora precisamente a criação de um índice *fuzzy* de necessidade de apoio, potencialmente complementado por modelos preditivos para reforçar a precisão e utilidade operacional.

2.3 Integração IoT, realidade aumentada e inteligência artificial

A convergência entre IoT, RA e IA tem sido identificada como uma das tendências mais promissoras no retalho contemporâneo. A RA permite enriquecer a interação do cliente com produtos através de sobreposição de informação contextual, como comparações técnicas, vídeos demonstrativos ou instruções de utilização [7], [8]. Quando articulada com dados provenientes de IoT, a RA adapta-se ao contexto físico: localização do cliente, tempo de permanência numa zona ou histórico de interações.

A IA, por sua vez, analisa padrões de navegação e preferências, personalizando recomendações e conteúdos. A literatura aponta para a emergência de lojas com elevado grau de digitalização onde a fronteira entre físico e digital é cada vez mais ténue.

No entanto, grande parte destes estudos privilegia modelos que reduzem o papel do colaborador humano, assumindo uma experiência predominantemente mediada por interfaces digitais. Para este trabalho, esta literatura demonstra a riqueza da informação contextual que pode ser disponibilizada, mas também destaca uma lacuna: a oportunidade de canalizar essa informação para apoiar o colaborador, em vez de substituir a sua intervenção, especialmente em setores como eletrónica de consumo.

2.4 RFID, RFID *chipless* e automatização em loja

A RFID consolidou-se como um pilar na transformação digital no retalho, pela sua eficiência na leitura simultânea de múltiplos itens, precisão na contagem e fiabilidade na rastreabilidade, com impactos diretos em inventário, reposição e prevenção de perdas [1], [2]. A literatura recente explora ainda RFID *chipless*, apontando para redução de custos e maior flexibilidade de aplicação em categorias de elevado volume, onde a margem por artigo é restrita [13]. Em combinação com prateleiras inteligentes e carrinhos com leitura embutida, tais soluções têm ancorado experiências avançadas de *self-checkout* e fluxos altamente automatizados [14].

Ainda assim, o foco dominante mantém-se na eficiência operacional, não contemplando de forma sistemática a utilização destes dados para informar a intervenção humana. Para este estudo, a implicação é pragmática: sinais RFID podem enriquecer a inferência sobre a natureza e o valor dos artigos manuseados, reforçando o peso das interações com produtos complexos no índice *fuzzy* de necessidade de apoio, sem que a solução dependa exclusivamente de visão computacional ou de *beacons* [15], [16].

2.5 Segurança, privacidade e confiança do consumidor

A proliferação de dispositivos IoT em ambientes de retalho levanta desafios significativos em matéria de segurança e privacidade. A literatura destaca problemas associados a autenticação insuficiente, comunicação não encriptada e vulnerabilidades de *firmware* [1], [17]. Em lojas físicas, dados sensíveis podem incluir padrões de deslocação e preferências de consumo, exigindo práticas robustas de encriptação, gestão de identidades e consentimento informado.

Estudos sobre consumidores mais jovens, como a Geração Z, mostram que, embora valorizem experiências rápidas, personalizadas e integradas, manifestam simultaneamente preocupações

profundas sobre o uso dos seus dados [18]. A perceção de vigilância excessiva pode comprometer a confiança do consumidor e a reputação da marca.

Estes desafios impõem a necessidade de garantir mecanismos de anonimização, minimização de dados e governança transparente. Para a prova de conceito proposta, isto implica recolha de dados agregados, não identificáveis, centrados em zonas e comportamentos, em conformidade com o RGPD [19].

2.6 Síntese e lacunas identificadas

A literatura analisada demonstra que a IoT possui elevado potencial para transformar tanto a operação como a experiência do cliente em loja física, permitindo recolha e análise de dados comportamentais em tempo quase real [4], [6], [8]. Técnicas de lógica *fuzzy* e modelos preditivos revelam-se adequadas para interpretar estes dados, especialmente quando caracterizados por incerteza ou variabilidade significativa [10], [11]. A integração de RA e IA oferece novas possibilidades de contextualização da informação [7], [8], enquanto RFID continua a consolidar-se como tecnologia fundamental para rastreabilidade e controlo operacional [1], [2], [13].

Contudo, identifica-se uma lacuna clara: a investigação existente centra-se maioritariamente na automatização e eficiência, com pouca atenção à forma como estas tecnologias podem ser aplicadas para reforçar o papel do colaborador e orientar a venda consultiva. Poucos estudos exploram a utilização de dados IoT para estimar a necessidade de apoio humano ou determinar o momento ideal de intervenção. A integração de lógica *fuzzy* para gerar recomendações operacionais em loja, baseada em sinais comportamentais, permanece igualmente pouco desenvolvida.

O presente estudo posiciona-se precisamente neste espaço pouco explorado, propondo uma prova de conceito que combina IoT, análise *fuzzy* e mecanismos preditivos para apoiar a decisão dos colaboradores da Worten, contribuindo para preencher uma lacuna importante na literatura existente que pode ser analisada na

Tabela 1.

Tabela 1 - Síntese da Literatura: Tecnologia, Foco, Papel do Colaborador e Relevância.

Fonte: Criação própria baseada na literatura estudada.

AUTOR / ANO	TECNOLOGIA	FOCO	PAPEL DO COLABORADOR	RELEVÂNCIA PARA ESTE ESTUDO
[1] N. Dlamini e K. Johnston (2016)	IoT	Benefícios e desafios	Não considerado	Fundamenta riscos e desafios
[2] M. Škiljo et al. (2022)	RFID	Performance	Indireto	Útil para deteção de interação
[4] S. Sharma et al. (2019)	Lógica *fuzzy*	Fidelização	Indireto	Base para o índice *fuzzy* na PoC
[6] J. Mythili et al. (2024)	IoT + decisão	Automação	Pouco considerado	Mostra potencial da IoT para decisão, mas não para apoio humano
[7] B. Kumar et al. (2024)	IoT	Dados económicos	Não aplicável	Demonstra capacidade de recolha, útil para PoC
[8] M. Datta e R. Raman (2024)	IoT + AR + IA	Experiência digital	Reduzido	Mostra oportunidades, mas com foco digital
[9] G. Singh et al. (2020)	IoT	Retalho 4.0	Não considerado	Reforça lacuna consultive
[11] Y. Lv et al. (2018)	IoT	Omnicanalidade	Não considerado	Importante para integração de fluxos
[13] V. Sharma e M. Hashmi (2021)	RFID *chipless*	Automação	Simplificado	Complementa visão técnica
[14] M. Shahroz et al. (2020)	Carrinho inteligente	Automatização	Mínimo	Exemplo de retalho automatizado
[17] K. Kaushik e S. Dahiya (2018)	IoT + privacidade	Segurança	Indireto	Fundamenta requisitos éticos
[18] R. Mohare et al. (2023)	IoT	Geração Z	Reduzido	Relevante para expectativas de clientes

CAPÍTULO 3.

Requisitos e Arquitetura da Prova de Conceito

3.1 Natureza e Enquadramento da Prova de Conceito

A prova de conceito apresentada neste capítulo é desenvolvida no âmbito da metodologia *Design Science Research Methodology* (DSRM), amplamente utilizada em estudos de sistemas de informação orientados para a conceção de artefactos que respondem a problemas organizacionais concretos. A DSRM fornece um enquadramento sistemático para a criação e avaliação de soluções inovadoras, estruturando o processo de investigação em torno da identificação do problema, definição de objetivos, conceção do artefacto, demonstração, avaliação e comunicação dos resultados.

No contexto deste trabalho, a DSRM é utilizada como orientação metodológica, ainda que de forma adaptada ao carácter conceptual do estudo. O foco recai sobretudo nas fases de definição do problema e dos objetivos da solução, conceção e desenvolvimento do artefacto conceptual e demonstração da sua aplicabilidade através de cenários e casos de uso. As fases de implementação técnica e avaliação empírica são explicitamente assumidas como trabalho futuro, não integrando o âmbito desta investigação.

O presente capítulo descreve, assim, a prova de conceito desenvolvida, assumindo explicitamente a sua natureza conceptual e exploratória. A proposta apresentada não corresponde a uma implementação técnica em ambiente real nem a um estudo empírico suportado por dados operacionais da organização em análise. Trata-se, antes, de um exercício de conceção e estruturação de um artefacto conceptual, concebido para responder a um problema organizacional concreto através da integração coerente de conhecimento proveniente da literatura, de pressupostos realistas do contexto de retalho e de princípios de desenho de sistemas de apoio à decisão.

A prova de conceito enquadra-se num estudo de caso conceptual aplicado à Worten, enquanto retalhista de referência no setor da eletrónica de consumo, e assume como objetivo central demonstrar a plausibilidade de utilização de tecnologias IoT como suporte à decisão humana em loja física. O foco não reside na automatização da interação com o cliente, mas no reforço do papel do colaborador, através da disponibilização de informação contextual e recomendações internas que auxiliem a determinação do momento mais adequado para a intervenção.

Deste modo, o contributo do capítulo deve ser interpretado como uma etapa intermédia entre a análise teórica e uma eventual fase futura de experimentação. A sua função é clarificar requisitos, estruturar uma arquitetura conceptual coerente e estabelecer as bases para a definição de casos de uso e avaliação conceptual, desenvolvidos no capítulo seguinte.

3.2 Requisitos da Prova de Conceito

A definição de requisitos constitui um passo fundamental para assegurar coerência interna entre o problema identificado, a arquitetura proposta e os mecanismos de inferência descritos posteriormente. Nesta prova de conceito, os requisitos são definidos de forma qualitativa e conceptual, refletindo necessidades funcionais, não funcionais e organizacionais associadas ao contexto de loja física da Worten.

Do ponto de vista funcional, a solução conceptual deve permitir a recolha contínua de sinais comportamentais em loja, nomeadamente presença, tempo de permanência por zona e interações físicas com produtos. Estes sinais devem ser agregados e interpretados em tempo quase real, de modo a gerar um indicador sintético que represente a probabilidade de um cliente beneficiar de apoio humano. A prova de conceito assume ainda que o sistema deve ser capaz de traduzir esse indicador em recomendações internas acionáveis, dirigidas aos colaboradores, sem interferir diretamente com a experiência do cliente.

Para além das funcionalidades centrais, emergem requisitos não funcionais que condicionam o desenho da arquitetura. A solução deve privilegiar princípios de privacidade por defeito, recorrendo à anonimização e à agregação de dados, evitando a identificação individual de clientes. A latência associada ao processamento deve ser suficientemente reduzida para garantir relevância operacional das recomendações, ainda que sem necessidade de resposta em tempo estritamente real. A arquitetura deve também ser concebida de forma modular e escalável, permitindo a evolução futura do sistema, quer pela introdução de novos tipos de sensores, quer pela incorporação de modelos analíticos mais avançados.

Por fim, a definição de requisitos organizacionais e humanos assume particular relevância neste trabalho. A prova de conceito parte do princípio de que a decisão final sobre a intervenção junto do cliente permanece sempre do lado do colaborador, sendo o sistema entendido como um mecanismo de apoio e não de prescrição rígida. As recomendações geradas devem ser simples, de fácil interpretação e integradas nas práticas quotidianas da loja, minimizando o risco de sobrecarga cognitiva ou rejeição por parte das equipas. Estes requisitos refletem a opção deliberada por uma abordagem *human-in-the-loop*, coerente com o posicionamento estratégico da venda consultiva no retalho de eletrónica.

3.3 Cenário Conceptual e Pressupostos do Sistema

Atendendo ao carácter conceptual da prova de conceito, torna-se necessário explicitar o conjunto de pressupostos que definem o cenário simulado sobre o qual a arquitetura é construída. Estes

pressupostos não correspondem a dados reais da organização, mas procuram representar de forma plausível um ambiente típico de loja de eletrónica de consumo de média a grande dimensão.

Assume-se uma loja com aproximadamente 1.800 metros quadrados de área útil, organizada em zonas funcionais distintas, incluindo áreas de circulação geral, categorias de produtos com diferentes níveis de complexidade técnica e uma zona dedicada a apoio técnico e pós-venda. Esta segmentação permite associar comportamentos observados a contextos de decisão distintos, reconhecendo que a necessidade de apoio varia significativamente entre categorias de produto.

No que respeita à instrumentação tecnológica, o cenário conceptual considera a existência de dispositivos IoT distribuídos pelo espaço da loja, incluindo *beacons* de proximidade, sensores RFID associados a prateleiras de categorias técnicas e *gateways* responsáveis pela agregação local de eventos. A granularidade da localização é assumida como suficiente para identificar presença em zonas e corredores, mas não para determinar posições exatas ao nível de poucos metros, o que é coerente com uma abordagem de baixo custo e reduzida intrusividade.

Adicionalmente, os produtos são classificados segundo dois eixos conceptuais — complexidade técnica e valor comercial — utilizados posteriormente no modelo de inferência para ponderar a relevância das interações observadas. Estes pressupostos permitem estabelecer um enquadramento consistente para o desenho da arquitetura e para a definição das variáveis e regras de decisão descritas nas secções seguintes.

3.4 Arquitetura Conceptual da Solução

A arquitetura conceptual da prova de conceito é estruturada segundo uma abordagem em camadas, refletindo boas práticas de desenho de sistemas distribuídos e facilitando a compreensão dos fluxos de informação desde a recolha dos dados até ao suporte à decisão em loja. Esta organização permite isolar responsabilidades, promover modularidade e acomodar futuras extensões da solução como pode ser verificado na *Tabela 2*.

Na camada de recolha de dados situam-se os dispositivos IoT responsáveis pela captação dos sinais comportamentais. *Beacons* de baixa energia permitem inferir presença e permanência em zonas específicas, enquanto sensores RFID associados a prateleiras possibilitam detetar eventos de manipulação de produtos, particularmente relevantes em categorias de maior complexidade técnica. Complementarmente, admite-se a existência de uma aplicação móvel, de adesão voluntária, capaz de fornecer sinais adicionais, sempre sob princípios de pseudonimização. A camada de comunicação assegura a transmissão segura e fiável dos eventos recolhidos para os componentes centrais do sistema. A utilização de *gateways* intermédios permite agregar dados localmente e reduzir a carga de comunicação, enquanto mecanismos de filas de mensagens suportam a ingestão contínua de eventos e a sua posterior análise.

O núcleo da arquitetura reside na camada de processamento e inferência. Nesta camada, os eventos são organizados em janelas temporais e transformados em variáveis observáveis e derivadas. Um motor de regras, combinando heurísticas explícitas e lógica *fuzzy*, interpreta estes sinais de forma gradual, refletindo a incerteza inerente ao comportamento humano. O resultado deste processo é a geração de um indicador de necessidade de apoio, expresso de forma contínua e posteriormente traduzido em níveis linguísticos compreensíveis para os utilizadores.

Por fim, a camada de interface materializa o suporte à decisão, disponibilizando alertas e informação contextual aos colaboradores e painéis agregados para a gestão da loja. A arquitetura assume que esta interação é exclusivamente interna, não envolvendo comunicações diretas com o cliente, reforçando assim a natureza não intrusiva da solução.

Tabela 2 – Arquitetura Conceptual da Solução

CAMADA	COMPONENTES PRINCIPAIS	FUNÇÃO NO SISTEMA	NOTAS / PRESSUPOSTOS
DISPOSITIVOS IoT	*Beacons* BLE Prateleiras RFID *Gateways* IoT *App (opt-in)*	Captar: - presença / tempo de permanência - interações com produtos	Precisão ao nível de zonas / corredores Baixo custo Baixa intrusividade
COMUNICAÇÃO	BLE Wi-Fi / *Ethernet* Fila de mensagens (MQTT / AMQP, encriptação)	Transporte seguro e fiável dos eventos para o *backend*	*Gateways* agregam e fazem *buffer* Encriptação *end-to-end*
PROCESSAMENTO E INFERÊNCIA	Ingestão de *streams* Janelas (30/120/300 s) Motor heurístico + *fuzzy* Armazenamento anónimo Serviço de alertas	Converter sinais em variáveis e *score* de necessidade de apoio Priorização	*Threshold* ≈ 0,65 Anti-saturação Calibração futura em piloto
INTERFACE	*App* do colaborador Painel de loja Painel de gestão	Recomendações contextuais Visão agregada	Apenas para uso interno (sem contato direto com o cliente)

3.5 Variáveis, Indicadores e Modelo de Inferência

A operacionalização da arquitetura conceptual assenta na definição de um conjunto de variáveis que representam, de forma estruturada, os comportamentos observados em loja. Estas variáveis incluem métricas diretamente observáveis, como o tempo de permanência em zonas específicas, o número de interações com produtos e a densidade de clientes por área, bem como variáveis derivadas que resultam da combinação e normalização desses sinais.

A partir destas variáveis, é construído um indicador agregado de necessidade de apoio, concebido para refletir a probabilidade de uma intervenção humana acrescentar valor à experiência do cliente naquele momento. A utilização de lógica *fuzzy* permite mapear valores contínuos para categorias linguísticas como baixa, média ou alta necessidade de apoio, aproximando o modelo computacional do raciocínio intuitivo utilizado pelos colaboradores em contexto real.

O modelo de inferência proposto assume, assim, um papel central na transformação de dados dispersos em recomendações acionáveis, constituindo o elo entre a infraestrutura tecnológica e a decisão humana em loja. A sua definição conceptual estabelece as bases para os casos de uso explorados no capítulo seguinte.

3.6 Síntese do Capítulo

Este capítulo apresentou a prova de conceito sob a perspetiva dos seus requisitos e da arquitetura conceptual que lhes dá resposta. Partindo da explicitação da natureza do estudo, foram definidos pressupostos realistas para o cenário de aplicação, estruturados os requisitos funcionais, não funcionais e organizacionais e descrita uma arquitetura em camadas orientada para o suporte à decisão humana.

A definição das variáveis e do modelo de inferência completa o enquadramento necessário para demonstrar como a solução proposta pode operar, em termos conceptuais, num ambiente de loja física. Com esta base estabelecida, o capítulo seguinte dedica-se à apresentação de casos de uso e à avaliação conceptual dos impactos e limitações da prova de conceito.

CAPÍTULO 4.

Demonstração e Avaliação Conceptual da Prova de Conceito

4.1 Enquadramento do Capítulo na *Design Science Research Methodology*

De acordo com a DSRM, o presente capítulo corresponde às fases de demonstração e avaliação do artefacto desenvolvido. Após a definição do problema, dos objetivos da solução e da conceção do artefacto conceptual nos capítulos anteriores, torna-se necessário analisar de que forma a proposta responde ao problema identificado e quais os seus impactos potenciais no contexto organizacional em estudo.

Atendendo à natureza conceptual da investigação, a demonstração do artefacto não se concretiza através de protótipos funcionais ou experimentação em ambiente real, mas sim por meio da análise de cenários de utilização plausíveis, designados neste trabalho como casos de uso. Estes casos permitem ilustrar o funcionamento do sistema proposto, evidenciar o papel do modelo de inferência e clarificar a interação entre tecnologia e decisão humana.

A avaliação assume igualmente um carácter conceptual e analítico, incidindo sobre a coerência interna do artefacto, o seu alinhamento com os objetivos definidos e os impactos expectáveis na experiência do cliente, na eficiência operacional e na atuação dos colaboradores. Esta abordagem é consistente com aplicações da DSRM em fases iniciais de investigação, nas quais a validação empírica é explicitamente reservada para trabalhos futuros.

4.2 Demonstração do Artefacto através de Casos de Uso

A demonstração do artefacto conceptual é realizada através de um conjunto de casos de uso representativos do contexto de retalho de eletrónica de consumo. Estes casos foram selecionados com o objetivo de cobrir diferentes padrões comportamentais, níveis de complexidade técnica e condições operacionais, permitindo avaliar a flexibilidade e a adequação do modelo proposto.

4.2.1 Caso de Uso 1 – Cliente em zona técnica com sinais de indecisão

No primeiro caso de uso considera-se a situação de um cliente que permanece durante um período prolongado numa zona de informática, caracterizada por produtos de elevada complexidade técnica e valor comercial médio a elevado. Durante a visita, o cliente interage fisicamente com vários equipamentos, regressa a prateleiras específicas e alterna entre produtos com características semelhantes.

Os dispositivos IoT conceptualizados captam estes comportamentos sob a forma de eventos de presença, tempo de permanência e interações com produtos. Após o processamento em janelas temporais, o modelo de inferência atribui valores elevados às variáveis de envolvimento e

complexidade do contexto. As regras *fuzzy* associadas a estes padrões são ativadas, originando um indicador agregado de necessidade de apoio classificado como elevado.

Como resultado, o sistema gera uma recomendação interna dirigida a um colaborador disponível na proximidade da zona. Importa salientar que a recomendação não impõe a intervenção, mas sinaliza uma oportunidade potencial de apoio, cabendo ao colaborador avaliar o momento e a forma de abordagem. Este caso ilustra a capacidade do artefacto em apoiar a venda consultiva, reduzindo o risco de perda de conversão por ausência de assistência num momento crítico da decisão de compra.

4.2.2 Caso de Uso 2 – Zona congestionada com múltiplos clientes e recursos limitados

O segundo caso de uso analisa um cenário de elevada afluência numa zona de televisores e equipamentos de áudio, onde vários clientes apresentam simultaneamente sinais moderados de necessidade de apoio. A densidade de clientes na zona é elevada e o número de colaboradores disponíveis é limitado, criando um contexto de potencial sobrecarga operacional.

Neste cenário, o modelo de inferência considera não apenas os indicadores individuais de necessidade de apoio, mas também variáveis contextuais relacionadas com a afluência e a carga da equipa. O sistema prioriza as recomendações de intervenção, evitando a emissão simultânea de múltiplos alertas e apoiando uma gestão mais equilibrada dos recursos humanos.

Este caso demonstra como o artefacto pode contribuir para a coordenação implícita da atuação da equipa, auxiliando os colaboradores a tomar decisões informadas sobre a ordem e o local de intervenção, mesmo em contextos de elevada pressão operacional.

4.2.3 Caso de Uso 3 – Cliente autónomo sem necessidade de intervenção

O terceiro caso de uso ilustra o comportamento do sistema em situações nas quais a intervenção humana não acrescenta valor à experiência do cliente. Considera-se um cliente que percorre uma zona de produtos de complexidade média, com curta permanência, poucas interações e ausência de regressos a prateleiras específicas.

Os sinais recolhidos resultam em valores baixos para as variáveis de envolvimento e complexidade contextual, levando o modelo de inferência a classificar a necessidade de apoio como reduzida. Consequentemente, não é gerada qualquer recomendação de intervenção.

Este caso evidencia a importância de o sistema apoiar não apenas a identificação de oportunidades de intervenção, mas também a decisão informada de não intervir, evitando abordagens intrusivas que possam comprometer a perceção de autonomia do cliente.

4.2.4 Caso de Uso 4 – Contexto de apoio técnico e pós-venda

O quarto caso de uso incide sobre a zona de apoio técnico e pós-venda, onde os padrões comportamentais observados diferem significativamente dos contextos de venda. A permanência prolongada e a interação com equipamentos refletem frequentemente processos de diagnóstico, reparação ou esclarecimento técnico, e não indecisão de compra.

O artefacto conceptual admite a existência de regras de inferência específicas para este contexto, ajustando os limiares e a interpretação dos sinais recolhidos. Desta forma, evita-se a geração de recomendações inadequadas e assegura-se que o sistema permanece alinhado com os objetivos operacionais de cada zona da loja. Este caso demonstra a adaptabilidade do modelo a diferentes subcontextos dentro da mesma infraestrutura tecnológica.

4.3 Avaliação Conceptual do Artefacto

A avaliação conceptual do artefacto baseia-se na análise dos casos de uso apresentados e na discussão dos seus impactos potenciais em diferentes dimensões da operação de loja. Embora não sustentada por dados empíricos, esta avaliação permite aferir a coerência do modelo e a plausibilidade da sua aplicação em contexto real.

No que respeita à experiência do cliente, a solução proposta tem potencial para melhorar o timing e a adequação da intervenção dos colaboradores, reduzindo situações de frustração associadas à ausência de apoio e evitando abordagens desnecessárias. A utilização de sinais comportamentais como base para a decisão contribui para uma experiência mais fluida e personalizada, sem recorrer a mecanismos intrusivos.

Em termos de eficiência operacional, o artefacto oferece maior visibilidade sobre fluxos de clientes e padrões de procura de assistência, apoiando uma afetação mais informada dos recursos humanos. A capacidade de priorizar intervenções em zonas de maior complexidade ou valor comercial pode traduzir-se numa utilização mais eficaz da equipa, particularmente em períodos de maior afluência.

Relativamente aos colaboradores, o modelo proposto reforça um paradigma de apoio à decisão baseado em dados, mantendo a autonomia e a responsabilidade individual. Ao reduzir a dependência exclusiva da observação empírica e da experiência individual, o sistema pode contribuir para uma maior consistência na qualidade do serviço prestado, ao mesmo tempo que diminui a carga cognitiva associada à monitorização constante do espaço de loja.

4.4 Limitações e Riscos Associados à Avaliação Conceptual

A avaliação realizada apresenta limitações inerentes ao seu carácter conceptual. A ausência de implementação técnica e de dados reais impede a quantificação do impacto da solução em indicadores objetivos, como taxas de conversão, tempos médios de espera ou níveis de satisfação do cliente. Adicionalmente, os cenários analisados baseiam-se em pressupostos simplificados sobre o comportamento dos clientes, que podem não capturar a totalidade da variabilidade observada em contexto real.

Do ponto de vista técnico, a fiabilidade do modelo depende da qualidade e calibração dos dispositivos IoT, bem como das características físicas do espaço de loja, fatores que podem introduzir ruído ou enviesamento na inferência. Em termos organizacionais, a aceitação do sistema pelos colaboradores e a sua integração nas práticas quotidianas constituem fatores críticos de sucesso que apenas poderão ser plenamente avaliados através de implementação piloto.

Estas limitações não diminuem o valor do artefacto conceptual, mas reforçam a necessidade de encarar a presente investigação como uma etapa inicial de um processo de investigação mais amplo, no qual a validação empírica constitui um desenvolvimento futuro natural.

4.5 Síntese do Capítulo

Este capítulo correspondeu às fases de demonstração e avaliação conceptual da prova de conceito, em alinhamento com a *Design Science Research Methodology*. Através da análise de casos de uso representativos, foi possível ilustrar o funcionamento do artefacto proposto e discutir os seus impactos potenciais na experiência do cliente, na eficiência operacional e na atuação dos colaboradores.

A avaliação conceptual evidencia que a solução apresenta coerência interna, plausibilidade operacional e alinhamento com os objetivos definidos, enquanto identifica limitações e riscos que justificam a realização de estudos empíricos futuros. Estas conclusões servem de base para o capítulo final, onde são sintetizados os contributos do trabalho e delineadas recomendações para investigações subsequentes.

CAPÍTULO 5.

Prova de Conceito

A presente prova de conceito constitui um exercício inteiramente conceptual destinado a explorar a aplicabilidade de tecnologias baseadas em IoT como suporte à decisão operacional em loja física da Worten. A construção deste artefacto conceptual é orientada pela *Design Science Research Methodology,* enfatizando a conceção do artefacto e a sua demonstração e avaliação conceptual, sem implementação em ambiente real nesta fase [20]. Não se trata, portanto, de uma implementação técnica efetiva nem de um estudo empírico baseado em dados reais, mas de um modelo teórico que visa traduzir conhecimento proveniente da literatura em mecanismos plausíveis de recolha, análise e interpretação de sinais comportamentais em ambiente de retalho. O objetivo é clarificar como tais sinais poderiam fundamentar recomendações internas de intervenção por parte dos colaboradores, com vista a reforçar a venda consultiva em categorias de elevada complexidade técnica.

Este capítulo segue uma progressão que vai da definição dos objetivos específicos da prova de conceito à construção de um cenário simulado, especificação da arquitetura conceptual, identificação das variáveis e indicadores relevantes, formulação de regras heurísticas e *fuzzy* e, por fim, análise dos desafios operacionais associados. A natureza conceptual da proposta permite avaliar a consistência interna do modelo e antecipar os fatores críticos que condicionariam uma eventual implementação piloto em ambiente real.

5.1 Objetivos da Prova de Conceito

A prova de conceito foi desenvolvida com a finalidade de responder, em nível conceptual, às questões de investigação delineadas na introdução. Nesse sentido, os objetivos específicos consistem em:

1. Demonstrar a viabilidade conceptual da integração de tecnologias IoT (*beacons* BLE, sensores RFID e aplicação móvel) num ambiente de loja física da Worten, orientada para a recolha de dados comportamentais.
2. Explorar de que modo os dados recolhidos podem ser utilizados para identificar padrões que indiciem necessidade de apoio por parte de clientes, especialmente em zonas técnicas ou de elevada complexidade.
3. Especificar uma arquitetura conceptual de análise quase em tempo real que permita transformar eventos dispersos (presença, movimentos e interações com produtos) num indicador agregador de necessidade de intervenção.

4. Propor regras heurísticas e mecanismos de lógica *fuzzy* (ver *Tabela 3*) capazes de traduzir o indicador de necessidade de apoio em decisões acionáveis e de baixo custo cognitivo para os colaboradores.
5. Identificar os principais desafios técnicos, organizacionais e éticos inerentes à aplicação de soluções IoT em ambiente de retalho físico, constituindo base para uma futura implementação piloto.

Estes objetivos articulam-se diretamente com o problema de investigação, centrado na ausência de mecanismos objetivos e sistemáticos que auxiliem os colaboradores na determinação do momento adequado de abordagem.

5.2 Suposições do Cenário Simulado

Dado o carácter conceptual desta prova de conceito, foi necessário estabelecer um conjunto de suposições que permitem definir o modelo mental sobre o qual o cenário simulado assenta. Estas suposições não refletem dados reais da empresa, mas constituem aproximações plausíveis a um ambiente típico de loja de eletrónica e eletrodomésticos.

5.2.1 Dimensão da loja e zonas funcionais

Assume-se uma loja com área útil aproximada de 1 800 m², segmentada da seguinte forma:

- Z1: Entrada e saída (zona de passagem)
- Z2: *Smartphones* e *wearables* (complexidade média)
- Z3: Informática (complexidade elevada)
- Z4: Televisões e equipamentos de áudio (complexidade média/alta)
- Z5: Eletrodomésticos (complexidade elevada)
- Z6: Apoio técnico e pós-venda (serviços)

5.2.2 Dispositivos IoT e precisão de localização

A prova de conceito assume a seguinte instrumentação conceptual:

- 48 *beacons* BLE distribuídos pelas zonas funcionais, garantindo precisão ao nível de zona e corredor (5–10 metros) [21]
- 24 prateleiras equipadas com sensores RFID nas zonas Z3, Z4 e Z5
- *gateways* IoT (um por zona) para agregação de eventos
- Aplicação móvel com identificação pseudonimizada (*opt-in* voluntário)

A granularidade da localização é assumida como adequada para inferir presença numa zona, mas não movimentos ao metro.

5.2.3 Classificação dos Produtos

Para efeitos do modelo, os produtos são classificados em dois eixos:

- complexidade técnica: baixa, média, alta
- valor comercial: baixo, médio, alto

Esta classificação é utilizada no motor de regras para diferenciar intervenções em categorias mais técnicas ou de maior valor.

5.3 Arquitetura Conceptual da Solução

A arquitetura conceptual segue uma abordagem em camadas, articulando dispositivos de recolha, protocolos de comunicação, processamento e interfaces. O diagrama abaixo representa a estrutura geral.

Camada de Dispositivos IoT

├– *Beacons* BLE (presença, permanência, trajetos)

├– Prateleiras RFID (retirada e manipulação de produtos)

├– *Gateways* IoT (*buffer* e agregação de eventos)

└ Aplicação móvel (opt-in; pseudonimização; eventos adicionais)

Camada de Comunicação

├– BLE (sinais de proximidade)

├– Wi-Fi/*Ethernet* (*uplink* para *backend*)

└ Fila de mensagens (MQTT/AMQP com encriptação)

Camada de Processamento

├– Ingestão de eventos (*streams*)

├– Processamento em fluxo (janelas temporais)

├– Motor de regras (heurísticas e *fuzzy*)

├– Armazenamento (*logs* anonimizados; métricas agregadas)

└ Serviço de alertas (priorização por zona/estado da equipa)

Camada de Interface

├– Aplicação do colaborador (alertas e confirmação)

├– Painel de loja (zonas críticas; indicadores)

└ Painel de gestão (análise agregada)

O desenho modular permite que futuras implementações piloto acrescentem componentes adicionais (como visão computacional), sem comprometer a estrutura conceptual.

5.4 Variáveis e Indicadores

A prova de conceito recorre a um conjunto de variáveis observáveis e derivadas que estruturam o processo de inferência. Cada variável apresenta tipo, descrição e relevância operacional.

Variáveis observáveis

- tempo_permanência_zona (contínua, segundos): tempo acumulado do cliente numa zona
- n_interações_produto (discreta): número de eventos RFID de manipulação
- n_retornos_zona (discreta): número de reentradas numa mesma zona
- densidade_clientes_zona (contínua): estimativa de afluência
- complexidade_produto (categórica): baixa, média, alta
- valor_produto (ordinal): baixo, médio, alto
- interação_multizona (binária): existência de padrões correlacionados entre zonas técnicas

Variáveis derivadas

- índice_envolvimento_zona (0–1): função combinada de permanência, interações e retornos
- índice_complexidade_contexto (0–1): ponderação de complexidade, valor e afluência
- prob_intervenção_util (0–1): estimativa preditiva conceptual

Indicador final

- necessidade_apoio (linguística: baixa, média, alta; contínua 0–1 após defuzificação): indicador utilizado pelo motor de regras para acionar alertas.

5.5 Regras de Decisão (Heurísticas e *Fuzzy*)

A prova de conceito inclui regras exemplificativas que traduzem padrões comportamentais em recomendações internas:

Regras heurísticas

1. SE tempo_permanência_zona_técnica é alto E n_interações_produto é alto
   ENTÃO necessidade_apoio é alta.
2. SE n_retornos_zona é elevado E complexidade_produto = alta
   ENTÃO necessidade_apoio é alta.
3. SE permanência é média E interações são médias E valor_produto é alto
   ENTÃO necessidade_apoio é média/alta.

4. SE densidade_clientes_zona é alta E necessidade_apoio é média
   ENTÃO priorizar atendimento por ordem de chegada.
5. SE não há interações e permanência é baixa
   ENTÃO necessidade_apoio é baixa (não acionar alerta).

Tabela 3 - Funções de pertença fuzzy por variável

Exemplo conceptual, parâmetros ajustáveis em piloto.

Variável	Baixo	Médio	Alto	Observações
tempo_permanência_zona_técnica (s)	< 90	90 – 240	> 240	Calibrar por categoria e *layout*
n_interações_produto (contagens)	0 – 1	2 – 3	≥ 4	Eventos RFID válidos de manuseio
n_retornos_zona (contagens)	0 – 1	2	≥ 3	Reentradas na mesma zona durante a mesma visita
densidade_clientes_zona (clientes/m²)	< 0,06	0,06 – 0,12	> 0,12	Ajustar à capacidade e normas de loja

Regras *fuzzy* (exemplos)

Para a lógica *fuzzy* assumem-se funções de pertença conceptuais com níveis baixo/médio/alto.

- F1: IF permanência = alto AND interações = alto THEN necessidade_apoio = alta
- F2: IF retornos = alto AND complexidade = alta THEN necessidade_apoio = alta
- F3: IF permanência = médio AND valor = alto THEN necessidade_apoio = média
- F4: IF densidade = alta AND necessidade_apoio = média THEN prioridade = baixa

Através do método do centro de gravidade, a defuzificação gera um *score* que varia continuamente entre 0 e 1.

5.6 Fluxos de Dados e Processamento em Tempo Quase Real

O sistema conceptual considera:

- ingestão de eventos com latência inferior a 2 segundos [22]
- agregações por janelas temporais (30, 120 e 300 segundos)
- avaliação contínua das regras *fuzzy*/heurísticas
- emissão de alertas apenas quando o indicador ultrapassa um limiar (≈ 0,65)

- mecanismos anti saturação (não repetir alertas dentro de janelas curtas)

O alerta é enviado ao colaborador mais próximo, considerando também carga atual da equipa.

5.7 Desafios Técnicos e Operacionais do Sistema

Esta Prova de Conceito traz também alguns desafios operacionais de sistema que devem ser tidos em consideração, assim como:

- **Calibração e fiabilidade dos sensores**

Beacons mal posicionados, interferência RF ou obstáculos físicos podem prejudicar a precisão.

Mitigação: mapas de sinal, redundância e calibração periódica.

- **Falhas de leitura RFID**

Leituras em duplicado ou falhas associadas a metais.

Mitigação: antenas direcionadas, filtros temporais, validação cruzada.

- **Clientes sem *app* móvel**

Reduz granularidade dos dados.

Mitigação: sistema baseado por defeito em dados agregados por zona/corredor.

- **Ruído comportamental**

Padrões que não traduzem necessidade de apoio podem gerar alertas excessivos.

Mitigação: regras *fuzzy*, *thresholds* prudentes e *feedback* contínuo da equipa.

Integração com sistemas da organização

- **Compatibilidade com POS, inventário e CRM.**

Mitigação: APIs e pilotos em ambiente isolado.

- **Privacidade e perceção de vigilância**

Risco de rejeição por parte de clientes e colaboradores.

Mitigação: anonimização, *opt-in* claro, transparência e minimização de dados.

- **Gestão da carga da equipa**

Picos de alertas podem causar saturação.

Mitigação: filas de prioridade e mecanismos de reatribuição dinâmica.

5.8 Considerações de Privacidade, Ética e Integração Organizacional

A evolução natural desta prova de conceito passaria pela realização de um piloto em loja real, limitado a algumas zonas e subconjunto de dispositivos, permitindo:

- recolha de dados reais

- teste e calibragem das regras heurísticas e *fuzzy*
- avaliação qualitativa com colaboradores e clientes
- medição de indicadores operacionais (tempo até apoio, taxa de conversão, carga da equipa)
- refinamento da arquitetura para maior robustez técnica

Uma vez validados os pressupostos iniciais, o modelo poderia escalar para outras lojas e integrar componentes adicionais, como visão computacional ou análise multimodal.

5.9 Síntese

Este capítulo estruturou e demonstrou a prova de conceito concebida para apoiar, de forma não intrusiva, a decisão de intervenção dos colaboradores em loja física, no contexto da Worten. Partiu-se de objetivos claros e de um cenário simulado realista, definindo-se uma instrumentação IoT plausível (*beacons* BLE, prateleiras RFID, *gateways* e *app* com *opt-in*) e uma classificação de produtos por complexidade técnica e valor, que sustentam a lógica de inferência operacional.

Foi apresentada uma arquitetura em camadas: dispositivos, comunicação, processamento/inferência e interface, que descrevem como eventos de presença, permanência e manipulação de produtos são agregados em janelas temporais e transformados num indicador de necessidade de apoio. Esse indicador resulta da combinação de regras heurísticas e da lógica *fuzzy*, apoiada por funções de pertença e limiares operacionais, culminando na emissão de recomendações internas com priorização conforme a carga da equipa.

A análise identificou desafios técnicos e operacionais (calibração de *beacons*, leituras RFID, ruído comportamental, integração com sistemas e gestão de carga da equipa) e considerações de privacidade e ética (anonimização, minimização e transparência), propondo mecanismos de mitigação e um caminho de evolução para piloto controlado em loja, com recolha de dados reais e calibração contínua. Em conjunto, estes elementos consolidam a plausibilidade da solução e preparam a transição para avaliação empírica futura.

CAPÍTULO 6.

Conclusão

O presente estudo teve como propósito explorar, em termos conceptuais, o potencial da *Internet of Things* (IoT) para apoiar a melhoria da experiência do cliente e a otimização da atuação dos colaboradores em contexto de retalho físico, tomando a Worten como caso de referência. Partindo da constatação de que as decisões sobre o momento adequado de intervenção dos colaboradores são, atualmente, largamente intuitivas e pouco suportadas por dados, procurou-se perceber de que forma a integração de dispositivos IoT, mecanismos de análise e modelos de recomendação interna poderia contribuir para uma atuação mais informada e oportuna em loja.

Ao longo do estudo, foram analisadas as principais contribuições da literatura sobre IoT no retalho, lógica *fuzzy*, modelos preditivos e integração com outras tecnologias digitais, como realidade aumentada e inteligência artificial. Com base nesse enquadramento, foi proposta uma prova de conceito conceptual que descreve uma arquitetura possível para recolha e interpretação de dados comportamentais em loja, bem como regras para acionamento de alertas internos dirigidos aos colaboradores. Embora não tenha sido realizada uma implementação em ambiente real, o exercício conceptual permitiu identificar condições de viabilidade, benefícios esperados e principais desafios associados a este tipo de solução.

6.1 Síntese dos principais contributos

Em termos de síntese global, o trabalho produzido permitiu:

- Clarificar o papel da IoT no retalho para além da perspetiva dominante de automação e redução de custos operacionais, enfatizando o seu potencial enquanto suporte à venda consultiva e ao reforço do contacto humano em loja.
- Identificar, a partir da literatura, um conjunto de dispositivos e técnicas (sensores, etiquetas RFID, *beacons*, aplicações móveis, lógica *fuzzy*, modelos preditivos) com aplicabilidade direta à monitorização e análise do comportamento do cliente em ambiente de loja física.
- Propor uma arquitetura conceptual para integração destas tecnologias no contexto específico da Worten, contemplando a recolha em tempo quase real de dados sobre presença, percursos e interações com produtos, bem como a geração de indicadores de necessidade de apoio.
- Descrever um conjunto de regras de intervenção que, em contexto de implementação, poderiam orientar a ação dos colaboradores, aproximando o momento da abordagem às necessidades efetivas dos clientes, em particular em zonas técnicas.

- Discutir, ainda que de forma conceptual, os impactos esperados desta abordagem tanto na experiência do cliente (redução de tempos de espera, maior adequação do apoio, maior satisfação) como na operação de loja (melhor utilização dos recursos humanos, maior visibilidade sobre fluxos e padrões de procura de apoio).

6.2 Resposta às questões de investigação

As questões de investigação definidas na fase inicial são abordadas de forma essencialmente conceptual, mas permitem retirar algumas conclusões relevantes.

Em primeiro lugar, relativamente à utilização de tecnologias IoT para recolher e interpretar dados comportamentais em loja, mostrou-se que a combinação de *beacons*, sensores RFID, prateleiras inteligentes e aplicações móveis constitui uma base tecnológica plausível para monitorizar, de forma não intrusiva, a presença, o tempo de permanência e as interações com produtos. Estes dados, quando integrados num sistema central de análise, podem ser organizados em indicadores simples de comportamento em tempo quase real.

Em segundo lugar, quanto à identificação de indicadores relevantes para inferir necessidades de apoio, o estudo permitiu destacar variáveis como o tempo de permanência em zonas técnicas, a repetição de visitas à mesma prateleira, a frequência de interação com produtos de elevado valor ou complexidade e a combinação de diferentes padrões de navegação num espaço limitado. Estes indicadores, isolados ou combinados, podem servir de base à definição de limiares e regras de alerta.

Em terceiro lugar, no que respeita à integração de lógica *fuzzy* e modelos preditivos, concluiu-se que estas abordagens são adequadas à natureza gradual e incerta do comportamento do cliente em loja. A lógica *fuzzy*, em particular, oferece um enquadramento para traduzir sinais comportamentais em níveis de necessidade de apoio, aproximando-se da forma como os colaboradores avaliam, intuitivamente, a situação. Modelos de aprendizagem automática poderiam, em fases posteriores de implementação, complementar estas regras com base em dados históricos, ajustando os critérios de intervenção à realidade observada.

Por fim, no que se refere ao impacto esperado de uma solução deste tipo na experiência do cliente e na eficiência operacional da Worten, a análise conceptual sugere que a utilização de dados comportamentais para orientar a intervenção dos colaboradores tem potencial para: reduzir situações de abandono por falta de apoio, aumentar a probabilidade de conversão em categorias técnicas, melhorar a perceção de disponibilidade e competência da equipa de loja e fornecer informação de gestão mais detalhada sobre fluxos e procura de assistência. Não obstante, o impacto real dependerá sempre das condições concretas de implementação, da aceitação por parte de clientes e colaboradores e das opções organizacionais em matéria de uso dos dados.

6.3 Contributos teóricos e práticos

Do ponto de vista teórico, o trabalho contribui para a literatura ao enfatizar uma perspetiva de IoT orientada para o reforço do papel humano em loja, em contraste com a tendência dominante centrada na automação e no *self-service*. Esta mudança de foco ajuda a enquadrar a IoT como ferramenta de apoio à decisão e não apenas como instrumento de substituição de trabalho humano, o que é particularmente pertinente em segmentos onde a venda consultiva continua a ser um fator diferenciador.

Em termos práticos, a tese apresenta uma proposta de arquitetura que pode servir como referência para projetos futuros na Worten ou em retalhistas com desafios semelhantes. A descrição dos componentes do sistema, dos fluxos de dados e das regras de intervenção constitui um ponto de partida para equipas técnicas e de gestão avaliarem a viabilidade de passar de um modelo exclusivamente baseado na observação empírica para um modelo híbrido, em que decisões de abordagem ao cliente são informadas por dados recolhidos em tempo quase real.

Adicionalmente, a identificação de desafios específicos – como interferências físicas em sistemas RFID, necessidade de calibração de *beacons*, integração com sistemas já existentes e requisitos de privacidade e segurança – fornece um conjunto de alertas práticos que podem evitar erros de conceção em fases posteriores.

6.4 Limitações do estudo

A principal limitação deste trabalho reside no seu carácter conceptual. Não foram desenvolvidos protótipos funcionais nem realizadas experiências em ambiente real, pelo que não se dispõe de dados empíricos que permitam avaliar quantitativamente o desempenho da solução proposta ou o seu impacto em indicadores operacionais e de satisfação do cliente. As conclusões apresentadas têm, por isso, um carácter exploratório e não podem ser generalizadas sem validação adicional [20].

Uma segunda limitação decorre do facto de o modelo conceptual se basear em perfis e cenários simplificados de comportamento do cliente. Em contexto real, a diversidade de padrões de navegação, preferências e reações à abordagem de colaboradores é muito maior, podendo exigir modelos analíticos mais complexos e processos de calibragem contínua.

Por outro lado, questões organizacionais e humanas, como a aceitação dos colaboradores face a sistemas que sugerem ou priorizam intervenções, ou a perceção dos clientes em relação à utilização de tecnologias de monitorização em loja, são apenas tratadas de forma indireta. Estes aspetos podem revelar-se determinantes para o sucesso de qualquer implementação, mas não foram objeto de estudo empírico nesta investigação.

6.5 Recomendações para trabalhos futuros

As limitações identificadas abrem diversas linhas de desenvolvimento futuro. Uma primeira recomendação consiste em avançar para a conceção e implementação de um protótipo em pequena escala, numa ou mais lojas selecionadas, envolvendo um conjunto limitado de dispositivos IoT e zonas técnicas. Tal permitiria recolher dados reais, testar regras de intervenção, avaliar a fiabilidade dos sensores e identificar problemas operacionais não captáveis em modelos puramente conceptuais.

Uma segunda linha de trabalho futuro passa pela integração de modelos preditivos de aprendizagem automática, treinados com dados recolhidos em piloto, para refinar a estimativa de necessidade de apoio e personalizar ainda mais as recomendações dirigidas aos colaboradores. A comparação entre abordagens baseadas exclusivamente em regras heurísticas e abordagens orientadas por dados seria, aqui, um tema relevante de investigação.

Uma terceira recomendação diz respeito à avaliação da perspetiva dos utilizadores. Seria importante desenvolver estudos qualitativos e quantitativos com colaboradores e clientes, de modo a compreender a aceitação da solução, os impactos percecionados no dia-a-dia da loja, os riscos de sobrecarga de informação para a equipa e as preocupações em matéria de privacidade. Estes estudos poderiam informar o desenho de interfaces mais adequados e políticas de uso de dados mais transparentes.

Por fim, seria pertinente alargar o enquadramento do estudo a outras dimensões da operação em retalho, como a integração da solução proposta com sistemas de gestão de inventário, programas de fidelização e canais digitais, no sentido de construir uma visão verdadeiramente omnicanal da experiência do cliente. A IoT, articulada com outras tecnologias digitais, poderá assim desempenhar um papel central na criação de modelos de retalho que conciliem eficiência, personalização e manutenção do contacto humano, objetivo que esteve no centro desta investigação.

6.6 Limitações metodológicas gerais

Este estudo assume, desde o início, um carácter conceptual e não experimental, enquadrado pela *Design Science Research Methodology* e centrado na conceção e avaliação conceptual de um artefacto orientado a dados para suporte à decisão em loja. Assim, não foram implementados protótipos em ambiente real nem recolhidos dados operacionais, o que limita a quantificação de impactos e a validação empírica dos pressupostos técnicos e organizacionais aqui discutidos.

Em termos de validade do estudo conceptual, a variável “necessidade de apoio” é operacionalizada por *proxies* comportamentais (permanência em zonas técnicas, interações RFID, retornos, densidade) e por regras heurísticas e *fuzzy*. Embora coerentes com a prática da venda

consultiva, tais *proxies* carecem de calibragem com dados reais e podem não capturar toda a diversidade de padrões em loja.

Quanto à validade interna, o modelo depende da qualidade e calibração dos sensores (BLE, RFID), da geometria do espaço e de interferências rádio, elementos suscetíveis de introduzir ruído e enviesamento nos sinais. As janelas temporais e limiares (incluindo o *threshold* de disparo de ≈ 0,65) foram definidos conceptualmente e deverão ser ajustados em contexto piloto.

Relativamente à validade externa e generalização, o cenário adotado reflete um formato típico de loja de eletrónica, com segmentação por zonas e recursos humanos limitados. Outros formatos (lojas *flagship*, *shop-in-shop*, superfícies muito pequenas ou *outlets*) poderão exigir alterações substanciais nas regras de inferência, nos sensores e na gestão da carga da equipa.

Finalmente, a revisão de literatura privilegiou bases científicas e um período temporal delimitado, podendo omitir práticas de mercado documentadas em literatura cinzenta; por sua vez, questões éticas e de privacidade foram tratadas sob princípios de minimização e anonimização, mas não avaliadas com utilizadores (colaboradores e clientes), sendo imprescindível uma avaliação participada em piloto para aferir aceitação e impacto percebido.

Referências Bibliográficas

[1] N. Dlamini e K. Johnston, “The Use, Benefits and Challenges of Using the Internet of Things (IoT) in Retail DIBusinesses,” in Proc. IEEE, 2016. DOI: 10.1109/ICACCE.2016.8073787.

[2] M. Škiljo et al., “UHF RFID: Retail Store Performance,” IEEE Journal of Radio Frequency Identification, vol. 6, pp. 481–489, 2022. DOI: 10.1109/JRFID.2021.3129694.

[3] IBM, "What is human-in-the-loop?," IBM Think, 2025. Available: https://www.ibm.com/think/topics/human-in-the-loop.

[4] S. Sharma et al., “Internet of Things in Retail Using Fuzzy Logic for Customer Loyalty,” in Proc. ICISC, 2019. DOI: 10.1109/ICISC44355.2019.9036449.

[5] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, et al., "The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews," BMJ, vol. 372, p. n71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

[6] J. Mythili et al., “Intelligent Decision-making Algorithm for IoT Enabled Smart Shopping,” in Proc. IC3IoT, 2024. DOI: 10.1109/IC3IoT60841.2024.10550330.

[7] B. Kumar et al., “IoT Applications in Economic Data Collection and Analysis,” in Proc. ICSES, 2024. DOI: 10.1109/ICSES63760.2024.10910302.

[8] M. Datta e R. Raman, “AI and ML in Retail: IoT Sensors and Augmented Reality,” in Proc. IITCEE, 2024. DOI: 10.1109/IITCEE59897.2024.10467247.

[9] G. Singh et al., “Companies Adoption Of IoT For Smart Retailing In Industry 4.0,” Proc. ICIEM, 2020. DOI: 10.1109/ICIEM48762.2020.9160272.

[10] O. Saßnick, R. Zniva, C. Schlager, M. Horn, R. Kozlica, T. Neureiter, S. Kranzer, V. Müllner, and J. Nöbauer, “Analyzing Customer Behavior In Store: A Review of Available Technologies,” in Advances in Digital Marketing and eCommerce (DMEC 2023). Cham: Springer, 2023, pp. 243–252. DOI: 10.1007/978-3-031-31836-8_25.

[11] Y. Lv et al., “IoT-based Omni-Channel Logistics Service in Industry 4.0,” in Proc. SOLI, 2018. DOI: 10.1109/SOLI.2018.8476708.

[12] G. Marín-Díaz and R. A. Carrasco-González, "Fuzzy Logic and Decision Making Applied to Customer Service Optimization," Axioms, vol. 12, no. 5, art. 448, 2023. DOI: 10.3390/axioms12050448.

[13] V. Sharma e M. Hashmi, “On the Seamless Integration and Co-Existence of Chipless RFID in Broad IoT Framework,” IEEE Access, vol. 9, pp. 69839–69849, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3078318.

[14] M. Shahroz et al., “IoT-Based Smart Shopping Cart Using Radio Frequency Identification,” IEEE Access, vol. 8, pp. 68426–68438, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2986681.

[15] Accenture, "RFID in Retail: A new era for RFID in retail," Industry Study, 2020. Available: https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-155/accenture-rfid-in-retail.pdf

[16] P. Adhi, T. Harris, and G. Hough, "RFID’s renaissance in retail," McKinsey & Company, May 7, 2021. Available: https://www.mckinsey.com/industries/retail/our-insights/rfids-renaissance-in-retail.

[17] K. Kaushik e S. Dahiya, “Security and Privacy in IoT-Based E-Business and Retail,” in Proc. SMART, 2018. DOI: 10.1109/SYSMART.2018.8746961.

[18] R. Mohare et al., “Strategizing In-store retail experience with IoT for Gen Z: Retail 4.0,” in Proc. ICETET-SIP, 2023. DOI: 10.1109/ICETET-SIP58143.2023.10151656.

[19] European Data Protection Board, "Guidelines, Recommendations and Best Practices," 2024–2026. Available: https://www.edpb.europa.eu/our-work-tools/general-guidance/guidelines-recommendations-best-practices_en.

[20] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A Design Science Research Methodology for Information Systems Research," Journal of Management Information Systems, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007, DOI: 10.2753/MIS0742-1222240302.

[21] K. Maaloul, B. Lejdel, E. Clementini, and N. M. Abdelhamid, "Bluetooth beacons based indoor positioning in a shopping malls using machine learning," Bulletin of Electrical Engineering and Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 911–921, 2023. DOI: 10.11591/eei.v12i2.4200.

[22] Edge AI & Vision Alliance, "How Edge Computing In Retail Is Transforming the Shopping Experience," Jan. 27, 2026. Available: https://www.edge-ai-vision.com/2026/01/how-edge-computing-in-retail-is-transforming-the-shopping-experience/.