MESTRADO EM GESTÃO

Automação Inteligente no Retalho de Conveniência

Avaliação do Sistema IoT SenseFlow no Controlo de Stock em Exposição

Nuno Filipe da Silva Gonçalves

N.º a22410340

ORCID: 0009-0000-7892-1799

PROJETO APLICADO

VILA NOVA DE GAIA

JUNHO | 2026

INSTITUTO POLITÉCNICO DE GESTÃO E TECNOLOGIA

Automação inteligente no retalho de conveniência – avaliação do sistema IoT senseflow no controlo de stock em exposição

Nuno Filipe da Silva Gonçalves

Aprovado em 8/10/2026

Composição do Júri

Presidente
Prof. Doutor Sérgio Almeida Resende

Arguente
Prof. Doutor Filipe Sampaio Rodrigues

Orientador
Prof. Doutor Jorge Pereira Duque

Vila Nova de Gaia
2026

Projeto Aplicado de Mestrado realizada sob a orientação do Professor Doutor Jorge Duque, apresentada ao ISLA - Instituto Politécnico de Gestão e Tecnologia de Vila Nova de Gaia, para obtenção do grau de Mestre em Gestão, ao abrigo do Despacho n.º 8476/2020.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Jorge Duque, orientador deste projeto aplicado, agradeço a disponibilidade constante, a exigência científica e a orientação criteriosa que permitiram transformar um problema operacional concreto, vivido no terreno, numa investigação academicamente fundamentada e defensável. As suas observações sobre a necessidade de delimitar com rigor o caso empírico, de estruturar a justificação em eixos claros e de sustentar com dados as afirmações técnicas moldaram, de forma decisiva, a versão final deste trabalho.

À organização onde exerço funções agradeço o contexto empírico e a confiança. A todos os gerentes e operadores de loja que, de forma voluntária e anónima, responderam ao questionário: as sessenta e nove respostas recolhidas constituem a base empírica deste estudo e, sem elas, este projeto aplicado não existiria.

À minha mulher, pelo apoio incansável e pela presença em cada etapa deste percurso — sem ela, nada disto teria sido possível.

À minha filha, de onze anos, que me acompanhou em cada etapa deste percurso com um carinho e uma atenção que, muitas vezes, ultrapassaram a sua idade.

Ao meu filho, de um ano, que me lembrou, mesmo no meio do trabalho e do estudo, que há sempre espaço para brincar.

Ao meu pai, que faleceu ao longo deste percurso académico e que teve sempre um orgulho imenso em ver os filhos a alcançar e a conquistar. Dedico-lhe, com saudade, este projeto aplicado.

Ao resto da minha família, pelo apoio e pela paciência nos muitos serões dedicados a este projeto.

Resumo

O presente projeto aplicado avalia a viabilidade técnica, a aceitação organizacional e a viabilidade económica do SenseFlow, um artefacto de Internet das Coisas (IoT) concebido para apoiar a contagem automática de produtos em exposição no retalho de conveniência. O problema de investigação decorre da morosidade, da suscetibilidade ao erro e da rápida obsolescência da informação produzida pela contagem manual, sobretudo em categorias de elevado valor, como o tabaco. Adotou-se a Design Science Research, articulada com um estudo de caso único numa rede de vinte e duas estações de serviço da zona norte de Portugal, âmbito do desenvolvimento do artefacto e da validação técnica. O artefacto combina sensores ultrassónicos HC-SR04, microcontrolador ESP32, conectividade Wi-Fi e um painel de monitorização, avaliado por questionário estruturado distribuído à rede nacional de 180 postos (N = 69), observação da linha de base em três lojas e cinquenta ciclos de validação laboratorial.

Os resultados confirmam o método manual como uma exigência-obstáculo significativa ($M = 4{,}37$; $\alpha = 0{,}865$; 94,2% de concordância quanto à morosidade) e revelam utilidade percebida elevada ($M = 4{,}44$; $\alpha = 0{,}920$) e intenção de adoção expressiva (C6: $M = 4{,}52$; 95,7%). A resistência à mudança é reduzida e não prediz a adoção ($\rho = -0{,}131$; $p = 0{,}282$); no modelo multivariado, apenas a utilidade percebida se mantém preditor significativo ($\beta = 0{,}686$; $R^2 = 0{,}50$). A validação laboratorial registou 96,4% de precisão e 1,2 segundos de latência média, sustentando a viabilidade técnica e a aceitação organizacional, embora a comparação operacional plena dependa de um piloto em contexto real.

A análise económica estima uma capacidade de trabalho consumida pela contagem manual de cerca de 4 745 € por posto e 854 100 € numa rede de 180 postos, face a um investimento de referência de 162 000 € no primeiro ano, com payback entre 69 e 115 dias consoante a reconversão do tempo libertado; trata-se de estimativas de capacidade, e não de poupanças de caixa garantidas. Conclui-se que o SenseFlow reúne condições para avançar para um piloto controlado, demonstrando como uma automação de baixo custo pode libertar tempo de uma tarefa repetitiva sem confundir evidência laboratorial com eficácia operacional comprovada.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT); retalho de conveniência; controlo de stock; inexatidão dos registos de inventário; aceitação tecnológica; automação centrada no ser humano.

Abstract

This dissertation assesses the technical feasibility, organisational acceptance and economic viability of SenseFlow, an Internet of Things (IoT) artefact designed to support the automatic counting of products displayed in convenience retail stores. The research problem stems from the time-consuming, error-prone and rapidly outdated information generated by manual counting, particularly for high-value categories such as tobacco. The study adopts Design Science Research combined with a single-case study in a network of twenty-two service stations in northern Portugal, the scope of artefact development and technical validation. The artefact combines HC-SR04 ultrasonic sensors, an ESP32 microcontroller, Wi-Fi connectivity and a monitoring dashboard, evaluated through a structured questionnaire distributed to the national network of 180 stations (N = 69), baseline observation in three stores, and fifty laboratory validation cycles.

The results confirm the manual method as a significant hindrance demand ($M = 4.37$; $\alpha = .865$; 94.2% agreement on its time-consuming nature) and reveal high perceived usefulness ($M = 4.44$; $\alpha = .920$) and strong adoption intention (C6: $M = 4.52$; 95.7%). Resistance to change is low and does not predict adoption ($\rho = -.131$; $p = .282$); in the multivariate model, only perceived usefulness remains a significant predictor ($\beta = .686$; $R^2 = .50$). Laboratory validation achieved 96.4% accuracy and 1.2 seconds of mean latency, supporting technical feasibility and organisational acceptance, although full operational comparison still requires a real-world pilot.

The economic analysis estimates a labour-capacity value of approximately €4,745 per station per year and €854,100 across a 180-station scenario, against a first-year reference investment of €162,000, with payback between 69 and 115 days depending on time redeployment; these are capacity estimates rather than guaranteed cash savings. The study concludes that SenseFlow is sufficiently promising to proceed to a controlled pilot, showing how low-cost automation can free time from a repetitive task without overstating laboratory evidence as proven operational effectiveness.

Keywords: Internet of Things (IoT); convenience retail; stock control; inventory record inaccuracy; technology acceptance; human-centred automation.

Índice

Resumo III

Abstract IV

Índice de figuras VIII

Índice de tabelas VIII

Lista de Abreviaturas e Siglas X

1. Introdução 1

1.1 Contextualização e relevância do tema 1

1.2 Problema de investigação e delimitação do caso empírico 3

1.3 Questão de investigação, objetivo geral e objetivos específicos 3

1.4 Justificação científica, prática, organizacional e metodológica 5

1.4.1 Relevância científica 5

1.4.2 Relevância prática 6

1.4.3 Relevância organizacional 6

1.4.4 Adequação metodológica 7

1.5 Estrutura do projeto aplicado 7

2. Revisão da Literatura e Modelo Conceptual 8

2.1 Transformação digital: conceitos e capacidades dinâmicas 8

2.2 Retalho inteligente, omnicanal e operação orientada por dados 9

2.3 Internet das Coisas e eficiência operacional 10

2.4 Inexatidão dos registos de inventário (IRI) e custos do processo manual 11

2.5 Automação inteligente, valorização do trabalho humano e foco no cliente 12

2.6 Aceitação tecnológica: TAM e UTAUT2 14

2.7 Gestão da inovação: enquadramento conceptual 15

2.8 Síntese crítica, lacuna de investigação e modelo conceptual 16

3. Metodologia 19

3.1 Enquadramento epistemológico 19

3.2 Design Science Research: fundamentação e ciclos 19

3.3 Estratégia de investigação: estudo de caso único 20
3.4 Contexto empírico, unidade de análise e participantes 21
3.5 Instrumentos de recolha de dados 22
3.6 Procedimentos de análise de dados 23
3.7 Qualidade, validade, fiabilidade e triangulação 23
3.8 Considerações éticas 24
4. Desenvolvimento e Avaliação Técnica do Artefacto SenseFlow 25
4.1 Princípios de design e requisitos 25
4.2 Arquitetura lógica de quatro camadas 26
4.3 Componentes, seleção e calibração 29
4.4 Riscos técnicos, falhas potenciais e procedimentos de mitigação 32
4.5 Análise económica: ROI, payback, TCO e sensibilidade 33
4.6 Do dado real ao caso de negócio 35
5. Resultados e Discussão 37
5.1 Plano de avaliação e critérios 37
5.2 Perfil da amostra e consistência interna 38
5.3 Resultados quantitativos (P1–P6) 40
5.4 Correlações, dimensões de efeito e modelo preditivo 43
5.5 Comparação entre o método manual e o SenseFlow 45
5.6 Análise qualitativa das respostas abertas 47
5.7 Discussão crítica e integrada 48
6. Contributos, Limitações e Trabalho Futuro 51
6.1 Contributos teóricos 51
6.2 Contributos práticos 52
6.3 Limitações do estudo 52
6.4 Recomendações de gestão 53
6.5 Linhas de investigação futura 54

6.6 Piloto operacional e escalabilidade do SenseFlow 55

6.7 Conclusão 56

Referências 59

Apêndices I

Índice de figuras

Figura 1 - Modelo conceptual integrado do estudo (P1–P6) 16
Figura 2 - O percurso da Design Science Research neste projeto aplicado 20
Figura 3 - Arquitetura lógica de quatro camadas do sistema SenseFlow 26
Figura 4 - Arquitetura da implementação avaliada: aquisição, submissão HTTP, aplicação e persistência 27
Figura 5 - Fluxo de dados: da leitura do sensor ao registo do evento de stock 28
Figura 6 - Conceito integrado do SenseFlow: do módulo de contagem no expositor à valorização do operador 28
Figura 7 - Protótipo do módulo de contagem automática em ambiente de teste 29
Figura 8 - Estabilidade da medição: relação distância-stock e margem de discriminação face ao ruído 30
Figura 9 - Painel de calibração de uma frente: parâmetros calculados e procedimento assistido 31
Figura 10 - SenseFlow em síntese: seis indicadores centrais da avaliação 38
Figura 11 - Perfil da amostra: género e caracterização profissional (N = 69) 39
Figura 12 - Diagnóstico e resposta: resultados das Secções B e C (N = 69) 42
Figura 13 - Correlações entre variáveis-chave e dimensão de efeito 43
Figura 14 - O que prediz a adoção e ganhos operacionais face ao método manual 47
Figura 15 - Painel de monitorização do SenseFlow: planograma do expositor 47
Figura 16 - Síntese avaliativa das seis proposições do modelo conceptual 50

Índice de tabelas

Tabela 1 - Estatuto probatório de cada dimensão da questão de investigação 4
Tabela 2 - Dimensões da transformação digital no retalho e posicionamento do SenseFlow 9
Tabela 3 - Retalho orientado por dados: capacidades requeridas e contributo do artefacto 10
Tabela 4 - Dimensões de valor operacional da IoT e correspondência no SenseFlow 11
Tabela 5 - Comparação tecnológica de soluções de prateleira inteligente 11
Tabela 6 - Causas e consequências da IRI: síntese crítica da literatura 12
Tabela 7 - Tarefas automatizáveis e não automatizáveis e o papel do SenseFlow 14
Tabela 8 - Construtos TAM/UTAUT2 operacionalizados no questionário 15
Tabela 9 - Modelo conceptual do estudo: variáveis, relações e proposições 17
Tabela 10 - Síntese das seis proposições de investigação 18
Tabela 11 - Ciclos da Design Science Research e atividades no presente estudo 20

Tabela 12 - Delimitação operacional do caso empírico 22
Tabela 13 - Requisitos funcionais e não funcionais do SenseFlow 25
Tabela 14 - Componentes do SenseFlow e critérios de seleção 29
Tabela 15 - Calibração dos sensores HC-SR04 (resumo) 31
Tabela 16 - Cenário económico mínimo de referência do SenseFlow (rede de 180 postos) 34
Tabela 17 - Análise de sensibilidade do payback (rede de 180 postos) 35
Tabela 18 - Matriz de avaliação: indicadores, fontes e critérios 37
Tabela 19 - Caracterização sociodemográfica e profissional da amostra (N = 69) 38
Tabela 20 - Consistência interna dos blocos B e C e tratamento da Secção D 40
Tabela 21 - Resultados da Secção B: limitações do método manual (N = 69) 41
Tabela 22 - Resultados da Secção C: utilidade percebida (N = 69) 41
Tabela 23 - Resultados da Secção D: impacto organizacional (N = 69) 42
Tabela 24 - Correlações de Spearman e dimensões de efeito (N = 69) 43
Tabela 25 - Regressão linear múltipla (VD: intenção de adoção, C6) 44
Tabela 26 - Comparação entre o método manual e o SenseFlow: indicadores-chave 46
Tabela 27 - Categorias temáticas das respostas abertas (N = 60; taxa de resposta 87,0%) 47
Tabela 28 - Avaliação final das proposições P1–P6 50
Tabela 29 - Síntese de contributos e posicionamento face à literatura 51
Tabela 30 - Recomendações de gestão para implementação do SenseFlow 53
Tabela 31 - Fatores críticos de sucesso para a implementação do SenseFlow 54
Tabela 32 - Plano de transição do protótipo ao produto (roadmap do piloto) 56

Lista de Abreviaturas e Siglas

α	Alfa de Cronbach (medida de consistência interna)
APA	American Psychological Association
API	Application Programming Interface (interface de programação de aplicações)
AWS	Amazon Web Services
β	Coeficiente beta padronizado em modelos de regressão
BI	Business Intelligence
CAPEX	Capital Expenditure (despesa de capital)
DGERT	Direção-Geral do Emprego e das Relações de Trabalho
DP	Desvio-padrão
DSR	Design Science Research
ERP	Enterprise Resource Planning
ESP32	Microcontrolador com Wi-Fi integrado (Espressif)
ETI	Equivalente a tempo inteiro
GPIO	General Purpose Input/Output
HC-SR04	Sensor ultrassónico de distância
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IR	Infravermelho
IRI	Inventory Record Inaccuracy
ISS	Instituto da Segurança Social
JD-R	Job Demands–Resources (modelo)
M	Média
ML	Machine Learning

MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
N	Dimensão da amostra
n.s.	Não significativo
OPEX	Operational Expenditure (despesa operacional)
p	Valor de significância estatística
PME	Pequena e Média Empresa
POS	Point of Sale (ponto de venda)
QoS	Quality of Service
r	Coeficiente de correlação
R^2	Coeficiente de determinação
REST	Representational State Transfer
RGPD	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
RMMG	Retribuição mínima mensal garantida
ROI	Return on Investment (retorno do investimento)
SKU	Stock Keeping Unit (referência de produto)
SLA	Service Level Agreement (acordo de nível de serviço)
TAM	Technology Acceptance Model
TCO	Total Cost of Ownership (custo total de propriedade)
UTAUT2	Unified Theory of Acceptance and Use of Technology 2
VIF	Variance Inflation Factor
Wi-Fi	Wireless Fidelity (rede sem fios)
ρ	Coeficiente de correlação de Spearman

1. Introdução

1.1 Contextualização e relevância do tema

A transformação digital redefiniu, na última década, os processos de gestão, a organização do trabalho e os mecanismos de criação de valor. Vial (2019) descreve-a não como mera adoção de tecnologia, mas como um processo em que perturbações digitais obrigam as organizações a reconfigurar as suas trajetórias de criação de valor, gerindo mudanças estruturais e barreiras organizacionais. Verhoef et al. (2021) distinguem três fases - digitização, digitalização e transformação digital -, sublinhando que o salto decisivo ocorre quando a tecnologia reconfigura o modelo de negócio, e não apenas tarefas isoladas. Warner e Wäger (2019) mostram que as empresas bem-sucedidas constroem capacidades dinâmicas de deteção, apreensão e reconfiguração que renovam continuamente a proposta de valor.

No retalho, esta reconfiguração é assimétrica: a digitalização alterou as relações, as ofertas, os atores e os contextos de compra, mas a intensidade da transformação varia entre processos e formatos (Hagberg et al., 2016; Grewal et al., 2017). Muitas operações de retaguarda continuam dependentes de rotinas manuais, entre as quais o controlo de produtos expostos, sobretudo em categorias de elevado valor unitário. Nessas situações, a monitorização periódica favorece a inventory record inaccuracy (IRI), isto é, a divergência entre o stock registado nos sistemas e a realidade física dos expositores.

A IRI é um problema endémico do retalho físico. DeHoratius e Raman (2008) analisaram cerca de trezentos e setenta mil registos em trinta e sete lojas e concluíram que 65% estavam incorretos - uma ineficiência estrutural, não uma anomalia pontual. Fleisch e Tellkamp (2005) demonstram que a IRI pode reduzir os lucros operacionais em até 10%, mesmo com procura estável, sobretudo por ruturas não detetadas e reposições incorretas. Kang e Gershwin (2005) confirmam que a dessincronização entre inventário físico e registo do sistema amplifica ruturas invisíveis e degrada os sistemas automáticos de reposição.

A Internet das Coisas (IoT) é uma das tecnologias com maior potencial para mitigar este problema. Atzori et al. (2010) identificam o retalho como um domínio de elevado potencial de transformação através de dispositivos conectados; Gubbi et al. (2013) e Xu

et al. (2014) consolidam a visão arquitetural da IoT, e Ben-Daya et al. (2019) demonstram que esta aumenta a visibilidade operacional, a rastreabilidade e a capacidade de resposta em tempo real. A maioria dos estudos sobre IoT no retalho centra-se, contudo, em grandes superfícies ou em dimensões macro da cadeia de abastecimento (Tan & Sidhu, 2022), permanecendo subexplorada a monitorização de produtos em contextos de PME - a lacuna que este estudo procura preencher.

O SenseFlow - sistema de contagem automática de produtos desenvolvido pelo investigador no âmbito da sua experiência profissional - responde a este problema. O protótipo integra sensores ultrassónicos HC-SR04, microcontrolador ESP32 com Wi-Fi e uma plataforma de monitorização em tempo quase real. O estudo incide na avaliação do artefacto já construído, e não na apresentação de uma integração POS/ERP concluída: essa integração está prevista arquiteturalmente, mas permanece por desenvolver e validar em contexto operacional.

Esta opção tem uma motivação clara: a literatura sobre transformação digital mostra, de forma consistente, que o ponto crítico de falha das iniciativas tecnológicas raramente reside na conceção do artefacto, mas na sua adoção e integração organizacional (Kraus et al., 2021; Roe et al., 2022; Verhoef et al., 2021; Vial, 2019). Por isso, o SenseFlow não é tratado como um fim tecnológico em si, mas como meio de uma transformação organizacional: o estudo desloca o eixo analítico de «o sistema funciona?» para «como melhora, em simultâneo, a operação, a informação, o cliente e as pessoas?». Esta deslocação justifica a centralidade do questionário de aceitação e da comparação operacional, e alinha o estudo com a automação centrada no ser humano que enquadra a Indústria 5.0 (Breque et al., 2021).

A pertinência prática do problema foi reforçada por dois elementos de campo. Em primeiro lugar, um levantamento operacional realizado numa estação de serviço apurou cerca de duas horas diárias para a contagem manual de tabaco - uma na abertura e outra no fecho -, equivalentes a aproximadamente 730 horas anuais por posto. Em segundo lugar, surgiu a possibilidade de acolher um piloto operacional numa empresa do setor. Esta possibilidade é tratada como cenário de validação futura, e não como prova de eficácia já obtida; a eventual expansão a cerca de 180 postos constitui um horizonte de planeamento sujeito aos resultados do piloto e a decisão formal da organização.

1.2 Problema de investigação e delimitação do caso empírico

Apesar dos avanços na digitalização da gestão empresarial, vários processos do retalho físico continuam dependentes de práticas manuais. O estudo delimita-se às lojas de conveniência associadas a estações de serviço da rede estudada, na zona norte de Portugal. A unidade de análise é o processo de controlo de stock em exposição de produtos de elevado valor unitário, sobretudo tabaco e, secundariamente, bebidas energéticas e acessórios automóvel, em posições fixas por SKU e com contagens efetuadas sob condições de atenção dividida com o atendimento ao cliente.

A inexistência de monitorização contínua e automatizada compromete a fiabilidade dos dados para a decisão de reposição, com consequências multidimensionais: ruturas não detetadas, reposições incorretas, perdas financeiras em produtos de elevado valor e conflitos organizacionais na atribuição de responsabilidades. Os dados do questionário (N = 69) confirmam o diagnóstico: 94,2% concordam que a contagem manual é morosa (B1: M = 4,65; DP = 0,59) e 82,6% que as discrepâncias geram conflitos internos (B4: M = 4,17; DP = 0,89).

Embora a literatura reconheça o potencial da IoT para aumentar a visibilidade operacional (Atzori et al., 2010; Ben-Daya et al., 2019; Gubbi et al., 2013), subsiste uma lacuna na avaliação de soluções simples e economicamente acessíveis para o controlo direto de expositores em PME retalhistas. O SenseFlow posiciona-se nesse espaço com uma arquitetura modular e um custo de hardware reduzido. A interoperabilidade com POS/ERP é um requisito de evolução do artefacto, mas não foi implementada nem testada nesta fase, pelo que não é apresentada como resultado alcançado.

1.3 Questão de investigação, objetivo geral e objetivos específicos

Com base no problema identificado, retoma-se a questão central, desdobrada nas suas dimensões analíticas. A questão é deliberadamente contida no alcance - interroga a viabilidade e a aceitação da solução -, e as quatro dimensões de valor são operacionalizadas como subquestões com estatutos de evidência diferenciados, em coerência com o princípio de não afirmar mais do que os dados primários sustentam.

Questão central: Em que medida um sistema IoT de contagem automática de produtos constitui uma resposta de gestão viável e aceite para as limitações do controlo manual de stock em exposição, com produtos de elevado valor, no retalho físico de conveniência?

Esta questão integra quatro dimensões analíticas. A dimensão técnica respeita ao desempenho do artefacto em precisão, latência e estabilidade - avaliado em laboratório, a confirmar em campo. A dimensão operacional respeita à comparação entre método manual e automatizado em tempo, erro e qualidade da informação - ancorada no levantamento real, a consolidar no piloto. A dimensão organizacional e humana respeita à utilidade percebida, à intenção de adoção e ao impacto nas rotinas - avaliada por evidência primária robusta (questionário, N = 69). A dimensão de cliente respeita à libertação de tempo para o atendimento - captada indiretamente pela perceção dos colaboradores, constituindo o seu impacto na experiência do cliente uma inferência a validar. A Tabela 1 sistematiza estes estatutos.

Tabela 1 - Estatuto probatório de cada dimensão da questão de investigação

Dimensão / subquestão	Fonte de evidência	Estatuto probatório
Técnica (precisão, latência, estabilidade)	50 ciclos laboratoriais; registos do sistema	Demonstrado (laboratório); a confirmar em campo
Operacional (tempo, erro, atualização)	Levantamento real (2 h/dia); observação direta	Parcialmente demonstrado; a consolidar no piloto
Informação (qualidade, atualidade)	Indicadores de processo; fundamentação teórica	Fundamentado; quantificação plena pendente
Organizacional e humana (aceitação, valorização)	Questionário (N = 69); análise temática	Demonstrado (evidência primária robusta)
Cliente (tempo para atendimento)	Perceção dos colaboradores; tempo libertado	Inferido; impacto direto a validar

Fonte: Elaboração própria. A distinção de estatutos protege as conclusões contra a sobre-afirmação e orienta o trabalho futuro (secções 6.5 e 6.6).

O objetivo geral consiste em avaliar, no retalho físico de conveniência, a viabilidade técnica em laboratório, a aceitação organizacional e a viabilidade económica preliminar do SenseFlow, bem como o seu potencial para melhorar a eficiência operacional, a qualidade da informação e a valorização do trabalho humano, distinguindo claramente resultados demonstrados, perceções dos participantes e efeitos ainda dependentes de validação em campo. Os objetivos específicos são:

1. Diagnosticar as limitações do processo manual de contagem de produtos no contexto estudado, identificando causas, frequência e consequências operacionais e organizacionais.

2. Definir os requisitos funcionais e não funcionais do sistema IoT, em alinhamento com as necessidades operacionais identificadas no diagnóstico e com o estado da arte da literatura.

3. Validar tecnicamente o protótipo SenseFlow quanto a precisão de deteção, latência de transmissão e estabilidade de comunicação em ambiente laboratorial, definindo critérios para a validação operacional subsequente.

4. Comparar, com prudência probatória, a linha de base do método manual observada em loja com os resultados laboratoriais do SenseFlow, identificando os indicadores que deverão ser confirmados no piloto operacional.

5. Analisar a aceitação organizacional da solução e os seus efeitos nas rotinas de trabalho e na valorização dos colaboradores, através de questionário estruturado (N = 69) fundamentado no TAM e no UTAUT2.

6. Formular recomendações de gestão fundamentadas para a adoção escalável do SenseFlow em redes de retalho de conveniência.

1.4 Justificação científica, prática, organizacional e metodológica

A justificação organiza-se em quatro eixos complementares, em conformidade com os critérios de avaliação aplicáveis às dissertações de mestrado em Gestão: relevância científica, relevância prática, relevância organizacional e adequação metodológica.

1.4.1 Relevância científica

Do ponto de vista científico, o estudo preenche uma lacuna identificada na literatura: a maioria dos estudos sobre IoT no retalho incide sobre grandes superfícies ou dimensões macro da cadeia de abastecimento (Ben-Daya et al., 2019; Tan & Sidhu, 2022), permanecendo escassa a investigação sobre monitorização automática de produtos expostos em loja em PME - o chamado shelf IoT. Esta escassez justifica a construção e avaliação de um artefacto em contexto real, com foco simultâneo na solução técnica e nas implicações de gestão, fundamentando a opção pela Design Science Research (Gregor & Hevner, 2013; Hevner et al., 2004).

O estudo aplica ainda construtos do Technology Acceptance Model (Davis, 1989) e do UTAUT2 (Venkatesh et al., 2012) num contexto organizacional pouco explorado: colaboradores de lojas de conveniência em estações de serviço portuguesas. A análise distingue utilidade, confiança, predisposição tecnológica, prontidão organizacional, resistência e intenção de adoção. As seis proposições formais ligam teoria, instrumento e análise, enquanto a dimensão de valorização humana, ancorada na automação centrada no ser humano (Breque et al., 2021), amplia a avaliação para além da eficiência estritamente técnica.

1.4.2 Relevância prática

Do ponto de vista prático, o estudo responde a um problema operacional concreto e mensurável. Com base numa observação de duas horas diárias de contagem e num custo horário direto mínimo de 6,50 €, estima-se um valor de capacidade consumida de 4 745 € por posto e ano. Para um cenário de 180 postos, o valor ascende a 854 100 €, face a um investimento mínimo de referência de 162 000 € no primeiro ano. O payback de cerca de 69 dias corresponde ao cenário-base de reconversão produtiva integral; a análise de sensibilidade aponta para cerca de 115 dias com 60% de reconversão. Estes valores não equivalem a reduções automáticas de massa salarial e devem ser validados no piloto.

A relevância prática amplia-se porque ganhos modestos por loja podem adquirir expressão quando replicados em redes com muitas unidades. A opção por sensores de baixo custo procura reduzir a barreira de entrada relativamente a soluções de RFID ou visão computacional. Ainda assim, a acessibilidade económica do hardware não elimina os custos de integração, formação, cibersegurança, suporte e manutenção; por isso, a decisão de escala deve basear-se no TCO efetivamente observado e não apenas no preço dos componentes.

1.4.3 Relevância organizacional

Do ponto de vista organizacional, o estudo enquadra a automação inteligente como instrumento de melhoria da informação, apoio à decisão e valorização do fator humano. O modelo Job Demands-Resources (Bakker & Demerouti, 2007, 2017) permite interpretar a contagem manual como uma exigência-obstáculo. Os resultados são coerentes com essa leitura: 97,1% dos participantes concordam que a automatização de tarefas repetitivas pode melhorar a qualidade do trabalho das equipas (D4: M = 4,58; DP

= 0,55). Esta é, contudo, uma perceção de benefício esperado; o efeito efetivo no bem-estar e no serviço ao cliente deverá ser medido após a implementação.

1.4.4 Adequação metodológica

Do ponto de vista metodológico, a Design Science Research é adequada à criação e avaliação de artefactos destinados a resolver problemas organizacionais (Gregor & Hevner, 2013; Hevner et al., 2004). O estudo articula o ciclo de relevância, que liga o problema ao contexto de loja; o ciclo de rigor, que mobiliza a literatura e os instrumentos; e o ciclo de design, que compreende construção, calibração, demonstração e avaliação. As atividades de Peffers et al. (2007) são explicitamente mapeadas na metodologia, evitando confundir o ciclo de rigor com a recolha de dados empíricos.

1.5 Estrutura do projeto aplicado

O projeto aplicado está organizado em seis capítulos. O presente Capítulo 1 introduz o tema, delimita o problema e o caso empírico, formula a questão de investigação e os objetivos, apresenta a justificação em quatro eixos e descreve a estrutura do trabalho. O Capítulo 2 apresenta a revisão crítica da literatura e o modelo conceptual com seis proposições formais avaliáveis. O Capítulo 3 descreve a metodologia, assente na Design Science Research. O Capítulo 4 documenta o desenvolvimento e a avaliação técnica do SenseFlow, incluindo requisitos, arquitetura, calibração, viabilidade económica e a passagem do dado real ao caso de negócio. O Capítulo 5 apresenta o plano de avaliação, os resultados quantitativos e qualitativos, a comparação entre o método manual e o SenseFlow e a discussão crítica integrada. O Capítulo 6 sistematiza os contributos teóricos e práticos, as limitações, as recomendações de gestão, as linhas de investigação futura, o piloto operacional e, em fecho, as conclusões do projeto aplicado. Seguem-se as referências e os apêndices.

2. Revisão da Literatura e Modelo Conceptual

A revisão está organizada em oito secções, culminando na síntese da lacuna de investigação e no modelo conceptual com seis proposições formais avaliáveis. Em cada secção procura-se confrontar criticamente as perspetivas dos autores e posicionar o estudo na fronteira do conhecimento, mobilizando literatura clássica e produção recente (2019–2026), maioritariamente indexada.

2.1 Transformação digital: conceitos e capacidades dinâmicas

A transformação digital é um dos conceitos mais mobilizados - e mais ambíguos - da investigação em Gestão e Sistemas de Informação. Vial (2019) descreve-a como um processo em que tecnologias digitais geram perturbações e conduzem a alterações das trajetórias de criação de valor, mediadas por mudanças estruturais e barreiras organizacionais. Verhoef et al. (2021) propõem três fases sequenciais - digitização, digitalização e transformação digital -, úteis para enquadrar o SenseFlow: a substituição da contagem manual por monitorização automática situa-se na fronteira entre os dois últimos, pois altera a forma como a informação de stock é produzida, distribuída e usada para decidir.

Warner e Wäger (2019) acrescentam a dimensão das capacidades dinâmicas de deteção, apreensão e reconfiguração; Bharadwaj et al. (2013) defendem a fusão entre estratégia de negócio e digital; Kraus et al. (2021) e Gong e Ribiere (2021) evidenciam a fragmentação conceptual do campo. Da confrontação destas perspetivas resulta uma conclusão relevante: as iniciativas de digitalização falham frequentemente não por limitações técnicas, mas por défice de gestão da mudança - o que orienta a centralidade atribuída, neste projeto aplicado, à aceitação organizacional e à valorização humana. A Tabela 2 sistematiza estas dimensões e o contributo do SenseFlow em cada uma.

Tabela 2 - Dimensões da transformação digital no retalho e posicionamento do SenseFlow

Dimensão	Descrição (literatura)	Contributo do SenseFlow
Estratégica	Redefinição dos modelos de negócio e propostas de valor (Vial, 2019; Bharadwaj et al., 2013)	Potencial para apoiar gestão por dados com hardware de baixo custo; escala pendente
Tecnológica	Integração de IoT, IA e automação nos processos (Verhoef et al., 2021)	Arquitetura IoT de quatro camadas; integração empresarial ainda não implementada
Operacional	Digitalização de tarefas repetitivas e monitorização em tempo real	Leituras e alertas com latência laboratorial média de 1,2 s; campo pendente
Organizacional	Redistribuição de tarefas e reconfiguração de rotinas (Warner & Wäger, 2019)	Potencial para retirar peso a uma exigência-obstáculo; impacto real a medir
Cultural	Predisposição para a inovação e aceitação tecnológica (Kraus et al., 2021)	95,7% de intenção declarada; uso efetivo ainda não observado

Fonte: Elaboração própria com base em Vial (2019), Verhoef et al. (2021), Warner e Wäger (2019), Bharadwaj et al. (2013) e dados do questionário.

2.2 Retalho inteligente, omnicanal e operação orientada por dados

A digitalização do retalho deu origem ao retalho inteligente (smart retail), que articula sensores, análise de dados e automação para apoiar decisões e experiências de compra. Hagberg et al. (2016) mostram que a digitalização transforma trocas, atores, ofertas e contextos, enquanto Grewal et al. (2017) destacam o papel crescente das tecnologias de decisão e dos dados na evolução do retalho. Roe et al. (2022) demonstram que a difusão da IoT em lojas inteligentes enfrenta barreiras tecnológicas, financeiras e organizacionais; a fiabilidade comprovada e a integração com sistemas existentes surgem também nas respostas abertas deste estudo como condições relevantes de adoção.

Verhoef et al. (2021) e Vial (2019) sublinham que a transformação digital deve criar valor, e não apenas eficiência interna. No retalho físico, a indisponibilidade do produto e o tempo retirado ao atendimento podem degradar a experiência do cliente. A fiabilidade do inventário é igualmente uma condição de base para operações omnicanal: Gallino e Moreno (2014) demonstram a relevância de disponibilizar informação de inventário credível na integração dos canais online e offline. O SenseFlow pode contribuir para essa fundação de dados, mas o impacto no cliente e no omnicanal não foi medido diretamente

nesta investigação. A Tabela 3 sintetiza as capacidades requeridas por uma operação orientada por dados e explicita o contributo potencial do SenseFlow.

Tabela 3 - Retalho orientado por dados: capacidades requeridas e contributo do artefacto

Capacidade	Requisito de informação	Contributo do SenseFlow
Reposição orientada por dados	Nível de stock fiável e atualizado por SKU	Leitura quase contínua; alerta automático de rutura
Deteção de anomalias	Histórico de variações para identificar quebra/furto	Registo automático e auditável de eventos
Gestão por exceção	Sinalização apenas das posições críticas	Painel semafórico que concentra a atenção no relevante
Experiência do cliente	Disponibilidade do produto em prateleira	Potencial para reduzir ruturas invisíveis; impacto no cliente não medido

Fonte: Elaboração própria com base em Hagberg et al. (2016), Grewal et al. (2017), Roe et al. (2022) e Ben-Daya et al. (2019).

2.3 Internet das Coisas e eficiência operacional

A IoT designa o ecossistema de dispositivos físicos capazes de recolher, processar e transmitir dados sem intervenção humana direta. Atzori et al. (2010) identificam três paradigmas, e o SenseFlow enquadra-se no orientado à internet: os sensores são nós de uma rede Wi-Fi que transmitem dados para um broker MQTT, disponibilizados numa plataforma de visualização. Gubbi et al. (2013), Xu et al. (2014) e Li et al. (2015) consolidam a arquitetura de referência e a sua aplicação industrial. Ben-Daya et al. (2019) identificam quatro dimensões de valor operacional da IoT - visibilidade, rastreabilidade, controlo e resposta -, que se mapeiam sobre as necessidades do diagnóstico do processo manual; Tan e Sidhu (2022) sublinham as vantagens do protocolo MQTT para ambientes com largura de banda variável, o que fundamenta a opção do SenseFlow por este protocolo como arquitetura-alvo para operação à escala da rede: menor latência, menor sobrecarga por mensagem e maior resiliência a falhas de conectividade. Na prova de conceito avaliada neste projeto aplicado, a transmissão foi implementada sobre HTTP/REST, opção que privilegiou a simplicidade de desenvolvimento e a compatibilidade com a infraestrutura de rede existente; a migração para MQTT integra a fase de escalabilidade (secção 6.6).

As quatro dimensões de valor operacional da IoT e a sua correspondência no SenseFlow estão sistematizadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dimensões de valor operacional da IoT e correspondência no SenseFlow

Dimensão (Ben-Daya et al., 2019)	Significado	Correspondência no SenseFlow
Visibilidade	Conhecer o estado real do ativo em tempo útil	Nível de stock por posição em tempo quase real
Rastreabilidade	Reconstituir o histórico de eventos	Registo automático e auditável de variações
Controlo	Atuar sobre o processo com base em dados	Alertas de rutura e gestão por exceção
Resposta	Reagir rapidamente a eventos críticos	Notificação push e reposição proativa

Fonte: Elaboração própria com base em Ben-Daya et al. (2019) e Atzori et al. (2010).

A comparação entre alternativas tecnológicas de prateleira inteligente, que justifica a opção por uma solução de baixo custo e baixa complexidade adequada a PME, está sistematizada na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparação tecnológica de soluções de prateleira inteligente

Tecnologia	Precisão esperada	Custo relativo	Complexidade	Adequação potencial a PME
RFID de prateleira	Alta, dependente da implementação	Alto	Alta	Média-baixa
Visão computacional + ML	Alta em condições controladas	Alto	Muito alta	Baixa
Sensores de pressão	Média-alta	Médio	Média	Média
HC-SR04 + ESP32 (SenseFlow)	96,4% em laboratório	Baixo ao nível do sensor	Baixa a média	Alta, sujeita a validação de campo

Fonte: Síntese qualitativa com base em AlQahtani et al. (2025), Tan e Sidhu (2022) e nos testes do protótipo. Custos relativos não são diretamente comparáveis e exigem orçamento por caso.

2.4 Inexatidão dos registos de inventário (IRI) e custos do processo manual

A IRI é uma das ineficiências mais documentadas e menos resolvidas do retalho físico. DeHoratius e Raman (2008) documentam que 65% dos registos de inventário estão incorretos; Fleisch e Tellkamp (2005) quantificam que a IRI pode reduzir os lucros operacionais em até 10%; Kang e Gershwin (2005) demonstram que a sincronização entre inventário físico e registo do sistema reduz substancialmente as ruturas invisíveis. A literatura converge: a automação da monitorização é a via mais direta de mitigação da IRI por erro de processo - precisamente o mecanismo sobre o qual o SenseFlow incide. A

investigação recente confirma a persistência do problema e desloca o foco para a eficiência dos procedimentos de correção: Chuang et al. (2022) modelam a degradação da informação de inventário ao longo do tempo e desenvolvem uma política de inspeção por grupos de artigos que supera tanto as rotinas do retalhista como um referencial estabelecido do setor; DeHoratius et al. (2023) comparam procedimentos de priorização de contagens e identificam abordagens baseadas em regras, de implementação simples, para detetar registos inexatos e ruturas não registadas. Ambos os contributos reforçam a pertinência de mecanismos de deteção frequente, como o proposto neste projeto aplicado, embora incidam sobre a otimização de auditorias periódicas e não sobre a monitorização contínua por sensores.

As principais causas e consequências da IRI, articuladas com o mecanismo de mitigação proposto pelo SenseFlow, estão sintetizadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Causas e consequências da IRI: síntese crítica da literatura

Mecanismo	Causas	Consequências	Mitigação SenseFlow
Erro de processo	Contagem manual imprecisa; atenção dividida	Rutura invisível; dados não fiáveis	Monitorização frequente e alertas; eficácia em campo a validar
Quebra física	Furto; dano; validade; misplacement	Discrepância positiva (sistema > físico)	Histórico de eventos como apoio à auditoria; não substitui investigação
Erro de sistema	Falhas de sincronização ERP/POS	IRI sistémica; reposição automática ineficaz	Interface MQTT-ERP planeada; não implementada nesta fase
Conflito organizacional	Atribuição ambígua de responsabilidades	Conflito interno; erosão da confiança	Rastreabilidade potencial, dependente de regras e governação

Fonte: Elaboração crítica com base em DeHoratius e Raman (2008), Fleisch e Tellkamp (2005) e Kang e Gershwin (2005).

2.5 Automação inteligente, valorização do trabalho humano e foco no cliente

O debate sobre automação e trabalho evoluiu das visões deterministas de substituição para abordagens centradas na reconfiguração das tarefas. Autor (2015) argumenta que a automação raramente elimina ocupações inteiras: substitui tarefas

específicas e valoriza as complementares que requerem julgamento e interação humana. Acemoglu e Restrepo (2022) demonstram que o efeito da automação sobre o trabalho depende do equilíbrio entre substituição e criação de tarefas; Brynjolfsson e McAfee (2014) e Davenport e Kirby (2016) defendem um modelo de complementaridade em que a tecnologia assume o trabalho rotineiro; Howcroft e Taylor (2023) mostram que os efeitos dependem do contexto institucional, e não são predeterminados.

É aqui que o estudo assume a sua tese central: o SenseFlow não substitui pessoas; elimina uma tarefa repetitiva e sem valor acrescentado, reduz o desperdício operacional e aumenta a disponibilidade dos operadores para o atendimento. Esta leitura articula-se com três corpos teóricos: o pensamento Lean, que define como desperdício (muda) toda a atividade sem valor para o cliente; o modelo Job Demands–Resources (Bakker & Demerouti, 2007, 2017), que classifica a contagem manual como hindrance demand cuja automatização converte tempo de exigência-obstáculo em recurso de maior valor; e a Indústria 5.0 (Breque et al., 2021), que define a automação centrada no ser humano como a que valoriza, e não substitui, o trabalhador.

A evidência empírica é compatível com este enquadramento. Makridis e Han (2021) associam determinadas formas de mudança tecnológica a maior empoderamento e satisfação, e Pienaar et al. (2025) relacionam a gestão das exigências e dos recursos do trabalho com o bem-estar no retalho. No presente estudo, a preocupação com a substituição de tarefas é baixa em termos agregados (D2: M = 2,57; DP = 1,29) e não se associa significativamente à intenção de adoção (ρ = -0,131; p = 0,282). Esta leitura não elimina a minoria de 21,7% com preocupação elevada, que deverá ser considerada na gestão da mudança.

A distinção entre tarefas automatizáveis e tarefas relacionais, que clarifica por que razão o SenseFlow deve ser interpretado como instrumento de valorização, e não de substituição do trabalho humano, está sistematizada na Tabela 7.

Tabela 7 - Tarefas automatizáveis e não automatizáveis e o papel do SenseFlow

Tipo de tarefa	Características	Exemplo no contexto	Efeito do SenseFlow
Automatizável	Procedimental, repetitiva, bem definida (Autor, 2015)	Contagem periódica de maços de tabaco	Substituição: liberta tempo e reduz erro
Não automatizável	Relacional, contextual, de julgamento	Atendimento, aconselhamento, gestão de reclamações	Valorização: mais tempo disponível e foco no cliente

Fonte: Elaboração própria com base em Autor (2015), Brynjolfsson e McAfee (2014), Davenport e Kirby (2016) e Breque et al. (2021).

2.6 Aceitação tecnológica: TAM e UTAUT2

O Technology Acceptance Model (Davis, 1989) postula que a utilidade percebida e a facilidade de uso influenciam a intenção de utilização. O UTAUT2 (Venkatesh et al., 2012), extensão de Venkatesh et al. (2003), acrescenta fatores sociais e condições facilitadoras. A meta-análise de Blut et al. (2022), que reúne 25 619 dimensões de efeito de 1 935 amostras independentes, revê criticamente a validade do UTAUT e alerta para as consequências de replicações que se afastam da especificação original, recomendando a explicitação dos construtos efetivamente utilizados - orientação seguida neste projeto aplicado. O instrumento deste projeto aplicado não reproduz integralmente nenhuma destas escalas: seleciona e adapta construtos relevantes ao contexto, incluindo confiança percebida, identificada por Kamble et al. (2019) como barreira específica na adoção de IoT. A confiança (C2 = 4,26) fica abaixo da utilidade (C1 = 4,67), diferença descritiva que orienta o piloto, mas não equivale a um teste causal de mediação.

A Tabela 8 operacionaliza os construtos TAM/UTAUT2 utilizados no questionário, assegurando a ligação entre teoria, instrumento de recolha e resultados empíricos.

Tabela 8 - Construtos TAM/UTAUT2 operacionalizados no questionário

Construto	Definição	Item(s)	Resultado empírico
Utilidade percebida (TAM)	Crença de que o sistema melhora o desempenho	C1, C5	C1: M = 4,67; C5: M = 4,57
Confiança percebida (ext.)	Crença na fiabilidade e precisão do sistema	C2, C4	C2 = C4 = 4,26 (barreira específica)
Transparência percebida	Crença de que aumenta a clareza dos processos	C3	C3: M = 4,43
Intenção de adoção	Disponibilidade comportamental para usar	C6	C6: M = 4,52; 95,7%
Predisposição tecnológica	Conforto geral com tecnologia no trabalho	D1	D1: M = 4,52; r = 0,444 com C6
Resistência à mudança	Preocupação com a substituição de tarefas	D2	D2: M = 2,57; r = −0,131 (n.s.)
Prontidão organizacional	Perceção das condições facilitadoras	D3	D3: M = 4,21; DP = 0,96

Fonte: Elaboração própria com base em Davis (1989), Venkatesh et al. (2012), Kamble et al. (2019) e dados do questionário (N = 69). n.s. = não significativo.

2.7 Gestão da inovação: enquadramento conceptual

Hansen e Birkinshaw (2007) propõem a cadeia de valor da inovação em três fases - ideação, conversão e difusão -, argumentando que a fraqueza em qualquer elo compromete o resultado. Para o SenseFlow, a ideação e a conversão estão concluídas; a difusão - adoção em contexto real, integração com sistemas existentes e suporte técnico continuado - é o elo mais frágil. Os dados qualitativos confirmam-no: as condições de adoção dominantes (fiabilidade ≈70%, integração ≈35%, suporte ≈30%) são exatamente as dimensões críticas da difusão. Gregor e Hevner (2013) posicionam o SenseFlow no quadrante de «melhoria» da DSR - problema conhecido, solução nova. Joore e Brezet (2015) reforçam a opção por avaliar o artefacto integrado nas práticas de controlo e nas rotinas de decisão, e não isoladamente.

2.8 Síntese crítica, lacuna de investigação e modelo conceptual

A revisão permite delimitar seis conclusões: (1) a IRI é um problema estrutural com efeitos operacionais e informacionais; (2) a IoT oferece mecanismos de visibilidade e resposta, mas a evidência aplicada a expositores de PME permanece limitada; (3) TAM e UTAUT2 fornecem construtos úteis para estudar a aceitação, devendo ser complementados pela confiança; (4) a automação de tarefas repetitivas pode libertar recursos para atividades de maior valor, embora os efeitos humanos dependam do desenho da implementação; (5) a transformação digital exige gestão da mudança e capacidades organizacionais; e (6) a avaliação conjunta do artefacto, da adoção e do caso de negócio justifica a opção pela DSR.

Com base nesta síntese, propõe-se o modelo conceptual integrado apresentado na Figura 1 e detalhado na Tabela 9. O modelo articula a variável independente (implementação e avaliação do SenseFlow) com variáveis mediadoras (qualidade da informação, visibilidade operacional, tempo de atualização), variáveis dependentes técnicas e operacionais (precisão, latência, tempo de contagem, taxa de erro), construtos organizacionais (utilidade percebida, confiança percebida, intenção de adoção, resistência à mudança) e a dimensão de valorização humana e foco no cliente (tempo libertado para o atendimento).



Figura 1 - Modelo conceptual integrado do estudo (P1–P6)

Fonte: Elaboração própria com base na literatura revista.

Tabela 9 - Modelo conceptual do estudo: variáveis, relações e proposições

Componente	Conteúdo	Dimensão	Proposição / critério
Diagnóstico do método manual	Morosidade, erro, desatualização, conflito e perda de tempo de valor	Operacional e humana	P1
Desempenho técnico do artefacto	Precisão, latência e estabilidade em laboratório	Técnica	Critérios técnicos; confirmação em campo pendente
Utilidade percebida	Benefício esperado para o trabalho, transparência e tempo libertado	Organizacional	P2
Confiança percebida	Fiabilidade e precisão esperadas	Organizacional	P4
Intenção de adoção	Disponibilidade comportamental para utilizar o sistema	Organizacional	P3
Predisposição tecnológica	Conforto individual com tecnologia	Individual	P3 (associação bivariada)
Resistência à mudança	Preocupação com a substituição de tarefas	Individual/organizacional	P5
Valorização e cliente	Tempo esperado para atividades de maior valor e atendimento	Humana/cliente	P6; efeito direto a validar

Fonte: Elaboração própria. VD = variável dependente.

O modelo dá origem a seis proposições formais definidas antes da análise. P1 e P2 são avaliadas por estatística descritiva; P3 e P5 por associações bivariadas e, de forma exploratória, por regressão; P4 por comparação descritiva entre utilidade e confiança; e P6 pela convergência de perceções sobre tempo e valor.

Os critérios técnicos de precisão e latência são avaliados separadamente, não constituindo uma proposição de adoção.

A Tabela 10 formaliza as seis proposições de investigação, permitindo uma avaliação transparente e alinhada com a revisão da literatura.

Tabela 10 - Síntese das seis proposições de investigação

P	Enunciado	Construtos / método	Fundamento
P1	Os operadores percecionam o processo manual como exigência-obstáculo significativa (M > 3,5 em B1–B5).	B1–B5; descritiva	JD-R (Bakker & Demerouti, 2017); DeHoratius & Raman (2008)
P2	A utilidade percebida do SenseFlow é superior ao ponto médio da escala (M > 3,5 em C1–C5).	C1–C5; descritiva	TAM (Davis, 1989); Ben-Daya et al. (2019)
P3	A intenção de adoção (C6) correlaciona-se positivamente com a utilidade (C1) e a predisposição (D1).	C6, C1, D1; Spearman	TAM (Davis, 1989); UTAUT2 (Venkatesh et al., 2012)
P4	A confiança percebida (C2) é inferior à utilidade percebida (C1), revelando barreira específica.	C1, C2; comparação	Kamble et al. (2019); Roe et al. (2022)
P5	A resistência (D2) não prediz a intenção de adoção (C6), contrariando visões pessimistas.	D2, C6; Spearman	Howcroft & Taylor (2023); Autor (2015)
P6	A automatização das tarefas repetitivas liberta tempo para atividades orientadas para o cliente e a criação de valor.	B5, C5, D4; descritiva e correlação	Breque et al. (2021); Makridis & Han (2021); Autor (2015)

Fonte: Elaboração própria com base na literatura revista.

3. Metodologia

3.1 Enquadramento epistemológico

O estudo enquadra-se num pragmatismo metodológico (Creswell & Plano Clark, 2018), integrando dados quantitativos e qualitativos numa investigação aplicada, exploratória e descritiva. A componente quantitativa inclui estatística descritiva, consistência interna, correlações de Spearman, regressão exploratória e comparações não paramétricas; a qualitativa aplica análise temática das respostas abertas segundo Bardin (2016).

3.2 Design Science Research: fundamentação e ciclos

A DSR é o paradigma metodológico central. Hevner et al. (2004) definem-na pela construção e avaliação de artefactos destinados a resolver problemas organizacionais relevantes.

No ciclo de relevância, o estudo identifica o problema, o contexto, os participantes e os requisitos; no ciclo de rigor, mobiliza a literatura sobre IRI, IoT, aceitação tecnológica, JD-R e investigação por estudo de caso; no ciclo de design, desenvolve, calibra, demonstra e avalia o SenseFlow.

Na sequência de Peffers et al. (2007), distinguem-se seis atividades: identificação do problema, definição dos objetivos da solução, design e desenvolvimento, demonstração, avaliação e comunicação. Gregor e Hevner (2013) posicionam o trabalho como melhoria: um problema conhecido é abordado por uma solução nova para o contexto.

A Tabela 11 articula os ciclos da Design Science Research com as atividades desenvolvidas, evidenciando a coerência entre problema, artefacto, validação e contributos.

Tabela 11 - Ciclos da Design Science Research e atividades no presente estudo

Ciclo DSR	Atividades no estudo	Estado	Produtos
Relevância	Diagnóstico do processo manual; observação da linha de base; necessidades dos utilizadores e da organização	Concluído para esta fase	Problema, questão, objetivos e requisitos
Rigor	Revisão da literatura; TAM/UTAUT2; JD-R; IRI; IoT; estudo de caso; instrumentos e critérios de avaliação	Concluído e atualizado	Modelo conceptual, proposições e protocolo metodológico
Design	Construção, calibração, demonstração e validação laboratorial do SenseFlow; avaliação organizacional; desenho do piloto	Protótipo e avaliação organizacional concluídos; campo pendente	Artefacto, resultados laboratoriais, recomendações e roadmap

Fonte: Elaboração própria com base em Hevner (2007), Hevner et al. (2004), Gregor e Hevner (2013) e Peffers et al. (2007). A Figura 2 sintetiza visualmente este percurso, do problema aos contributos.



Figura 2 - O percurso da Design Science Research neste projeto aplicado

3.3 Estratégia de investigação: estudo de caso único

A estratégia empírica é o estudo de caso único (Yin, 2018). O caso corresponde a uma rede de estações de serviço de dupla marca na zona norte de Portugal, com vinte e duas unidades e lojas de conveniência, âmbito onde decorreram o desenvolvimento do artefacto, a observação direta e a validação laboratorial. O questionário de aceitação teve, porém, alcance mais alargado: foi distribuído à rede nacional da organização (180 postos),

da qual resultaram as 69 respostas analisadas; a extensão nacional amplia a diversidade da amostra, mas a generalização permanece analítica, e não estatística, dado o caráter intencional do recrutamento (secção 3.4). A unidade de análise técnica é o processo de controlo de stock em exposição, com destaque para o tabaco. O período de observação abrange o primeiro semestre de 2026, com o questionário aplicado em maio (duas semanas). O acesso ao campo é assegurado pela posição do investigador como Supervisor de Rede.

A escolha do caso único assenta em três critérios (Yin, 2018): acesso privilegiado ao processo, possibilidade de observar um problema operacional relevante e adequação do contexto a uma generalização analítica. Não se presume representatividade estatística da rede nem do setor. A transferibilidade das conclusões depende da semelhança entre o caso estudado e outros contextos com produtos de elevado valor, contagens frequentes, equipas reduzidas e necessidade de informação atualizada.

3.4 Contexto empírico, unidade de análise e participantes

A amostra do questionário é intencional e não probabilística, constituída por 69 colaboradores elegíveis da rede nacional da organização (180 postos) com experiência direta na contagem manual e vínculo ativo. O recrutamento decorreu por Microsoft Forms, através de canais internos, durante duas semanas de maio de 2026. A participação foi voluntária e anónima. O denominador exato da população acessível não foi consolidado, pelo que não é possível calcular uma taxa global de resposta. Para reduzir o risco de reidentificação numa rede alargada, não foram recolhidas a função específica nem a loja de pertença; consequentemente, a amostra não pode ser estratificada por função ou unidade, limitação explicitamente assumida e a corrigir no instrumento do piloto.

Para além do questionário, realizou-se observação direta não participante da linha de base manual em três lojas durante quatro semanas, com uma média de vinte ciclos por loja. Registaram-se tempos, erros, interrupções e condições contextuais. Estas unidades não constituem ainda um piloto operacional do SenseFlow: fornecem apenas a linha de base do método manual para comparação com a validação laboratorial e para desenho do futuro piloto. A Tabela 12 delimita o caso empírico.

Tabela 12 - Delimitação operacional do caso empírico

Dimensão	Especificação
Produto principal analisado	Tabaco (maço standard e formato longo); secundariamente, bebidas energéticas e acessórios automóvel
Expositores	Expositores frontais de balcão e de retaguarda, com posições fixas por SKU
Número de lojas	22 lojas (zona norte) para desenvolvimento do artefacto, observação e validação laboratorial; questionário distribuído à rede nacional (180 postos)
Localização	Zona norte de Portugal (rede de estações de serviço de dupla marca)
Período temporal	Primeiro semestre de 2026; questionário (rede nacional) em maio de 2026; observação em três lojas durante quatro semanas
Critérios de seleção	Experiência direta com a contagem manual; vínculo laboral ativo; comparabilidade operacional das unidades

Fonte: Elaboração própria.

3.5 Instrumentos de recolha de dados

Foram utilizados três instrumentos complementares: questionário estruturado, grelha de observação não participante e registos automáticos do protótipo, com o objetivo de caracterizar o perfil dos participantes, diagnosticar as limitações do método manual, estimar a utilidade e a confiança percebidas, medir a intenção de adoção e identificar condições organizacionais relevantes. A amostra obtida foi de 69 respostas válidas, recolhida por formulário eletrónico ao longo de duas semanas, sem dados identificativos, numa escala de Likert de cinco pontos. O instrumento integra 24 itens em cinco secções: A (perfil), B (cinco itens, limitações do método manual), C (cinco itens de utilidade/confiança e um de intenção de adoção), D (quatro indicadores distintos de predisposição, resistência, prontidão e melhoria percebida) e E (três perguntas abertas opcionais). O fundamento teórico e a correspondência item-construto constam das Tabelas 8 e H.1. O roteiro de entrevista do Apêndice A foi preparado para o piloto, mas não foi aplicado neste projeto aplicado.

A observação direta, com recurso à grelha do Apêndice B, registou tempos, erros, interrupções e condições ambientais nas três lojas de linha de base. Os registos

automáticos do SenseFlow incluíram eventos, timestamps e latência ao longo de cinquenta comparações laboratoriais emparelhadas entre o estado esperado e a leitura do sistema; a precisão global correspondeu à proporção de classificações corretas e a latência ao intervalo entre a alteração física e o registo do evento. As limitações dos instrumentos incluem autorrelato, amostragem não probabilística, ausência de função/loja, possível desejabilidade social e inexistência, nesta fase, de dados prolongados do SenseFlow em operação real.

3.6 Procedimentos de análise de dados

A análise quantitativa compreendeu estatística descritiva por item; alfa de Cronbach para os blocos B ($\alpha = 0{,}865$) e C ($\alpha = 0{,}920$); correlações de Spearman entre variáveis ordinais; regressão linear múltipla exploratória com C6 como variável dependente; e comparações de grupos por Mann-Whitney U. As magnitudes das correlações seguem as convenções de Cohen, mas ρ^2 é usado apenas como indicador aproximado da força de associação, não como variância causal explicada; a regressão é interpretada com prudência dada a variável dependente ordinal de item único e a dimensão moderada da amostra. A análise temática das sessenta respostas abertas seguiu leitura flutuante, codificação, categorização, interpretação e triangulação, com categorias não mutuamente exclusivas.

Os quatro itens da Secção D representam construtos distintos, e não uma escala unidimensional: não é metodologicamente adequado interpretar um alfa conjunto ou tratar D1, D3 e D4 como subescala homogénea. Cada item é analisado separadamente, com D2 como indicador exploratório de resistência, decisão coerente com as limitações do alfa em conjuntos heterogéneos e curtos (McNeish, 2018), a resolver em estudo futuro com escalas multi-item validadas.

3.7 Qualidade, validade, fiabilidade e triangulação

A qualidade metodológica seguiu os critérios de Yin (2018): a validade de construto decorre do alinhamento entre teoria, itens e indicadores; a validade interna é reforçada pela definição prévia das proposições e pela triangulação; a validade externa é analítica, não estatística; e a fiabilidade resulta da documentação dos instrumentos, cálculos e

protocolos. A triangulação combina fontes (questionário, linha de base observada e logs laboratoriais), métodos e enquadramentos teóricos, ainda que a ausência de dados de função/loja e de um piloto operacional completo limite a profundidade da triangulação contextual.

3.8 Considerações éticas

A investigação cumpriu o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (Regulamento UE 2016/679). O questionário não recolheu dados identificativos. O consentimento informado (Apêndice C) identificou o investigador, o orientador, a instituição e a finalidade académica. A participação foi voluntária e sem consequências para a relação de trabalho.

O potencial conflito de interesse decorrente da posição hierárquica do investigador foi tratado como risco de desejabilidade social. Adotaram-se quatro salvaguardas: anonimato, canal aberto, comunicação da ausência de consequências laborais e análise da dispersão. A média baixa e a variabilidade de D2 (M = 2,57; DP = 1,29), somadas às reservas nas respostas abertas, não sugerem concordância automática, embora o enviesamento não possa ser excluído. A omissão da função e da loja protegeu o anonimato, mas limitou a caracterização da amostra; essas variáveis deverão ser recolhidas no piloto por categorias amplas.

4. Desenvolvimento e Avaliação Técnica do Artefacto SenseFlow

4.1 Princípios de design e requisitos

O SenseFlow foi desenvolvido segundo quatro princípios de design: acessibilidade económica do hardware; simplicidade operacional; adequação funcional ao diagnóstico; e evolução modular. O investimento de referência é de cerca de 800 € por posto, incluindo instalação e calibração no cenário utilizado. A arquitetura prevê uma futura interface com POS/ERP, mas essa integração não está implementada. O protótipo encontra-se funcional em laboratório; este capítulo documenta requisitos, arquitetura, componentes, calibração, riscos e análise económica preliminar.

A Tabela 13 transforma os princípios de design em requisitos funcionais e não funcionais verificáveis, constituindo a base da avaliação técnica do artefacto.

Tabela 13 - Requisitos funcionais e não funcionais do SenseFlow

Categoria	Requisito	Critério de verificação	Resultado laboratorial
Funcional	Detetar variações no número de unidades expostas	Evento registado quando a distância varia acima do limiar	Validado (50 ciclos)
Funcional	Transmitir eventos em tempo quase real	Latência de transmissão < 3 s	Validado: média 1,2 s; máx. 2,8 s
Funcional	Registar histórico de leituras para auditoria	Dados por período configurável em Grafana	Validado
Funcional	Gerar alertas de rutura ou anomalia	Notificação quando stock ≤ limiar	Validado
Não funcional	Precisão ≥ 95% após calibração	Comparação com contagem manual (≥ 50 ciclos)	96,4% de precisão
Não funcional	Custo de hardware reduzido por posição (sensor)	Custo de aquisição do sensor por posição	< 5 €/posição (sensor)
Não funcional	Instalação < 30 min/módulo	Tempo com formação básica (1 h inicial)	Média de 22 min/módulo

Fonte: Elaboração própria. Resultados referentes aos testes laboratoriais de 2026.

4.2 Arquitetura lógica de quatro camadas

A arquitetura segue o modelo de referência IoT de Ben-Daya et al. (2019) e Atzori et al. (2010), organizado em quatro camadas funcionais interdependentes (Figura 3). A camada de perceção integra sensores HC-SR04 posicionados nos expositores, que emitem pulsos ultrassónicos e medem o tempo de retorno do eco (resolução de cerca de 0,3 cm; alcance de 2 a 400 cm; ângulo de 15°).



Figura 3 - Arquitetura lógica de quatro camadas do sistema SenseFlow

A camada de processamento local assenta no microcontrolador ESP32 (dual-core a 240 MHz; Wi-Fi 802.11 b/g/n; 4 MB de flash), cujo firmware efetua a leitura periódica a cada cinco segundos e submete as amostras à camada de comunicação; a suavização por média móvel e a publicação orientada por limiar de variação integram o desenho-alvo para redução de tráfego, descrito de seguida.

A camada de comunicação recorre ao protocolo MQTT como solução-alvo, com broker local (Raspberry Pi) ou em cloud (HiveMQ, AWS IoT). No protótipo funcional avaliado, esta camada está implementada sobre HTTP/REST: o ESP32 submete as leituras por POST para um servidor aplicacional em Flask, que as persiste numa base de dados relacional.

A camada de visualização, prevista em Grafana ou Power BI para integração empresarial, foi materializada num painel web próprio que disponibiliza planograma, movimentos, contagens por período e relatórios.

A Figura 4 representa a arquitetura efetivamente implementada e avaliada neste projeto aplicado, e a Figura 5 detalha o fluxo de dados desde a leitura do sensor até ao registo do evento de stock.



Figura 4 - Arquitetura da implementação avaliada: aquisição, submissão HTTP, aplicação e persistência

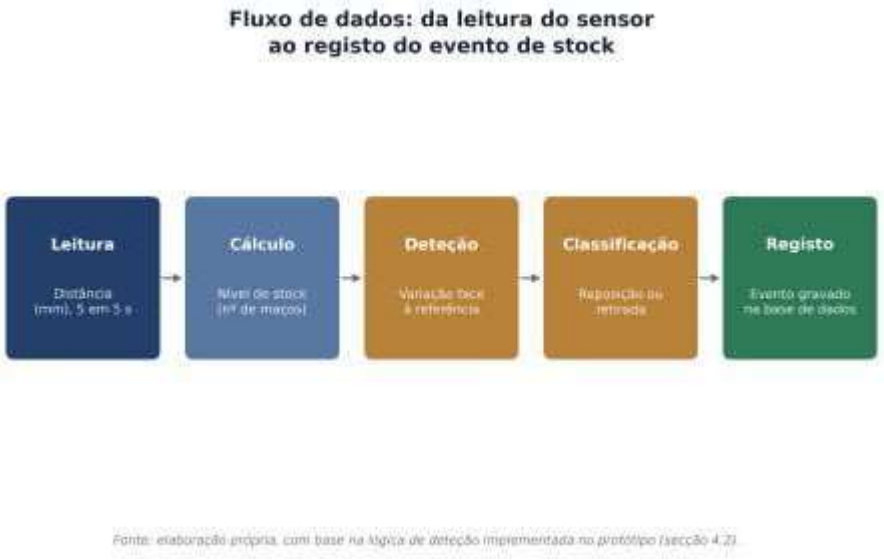


Figura 5 - Fluxo de dados: da leitura do sensor ao registo do evento de stock

Fonte: Elaboração própria com base em Ben-Daya et al. (2019) e Atzori et al. (2010). Esquema completo no Apêndice E.

Cada módulo ESP32 foi concebido para gerir até oito sensores. A arquitetura permite acrescentar módulos por registo no broker, mas a escalabilidade horizontal e a estabilidade sob carga ainda não foram testadas numa rede alargada. A Figura 6 sintetiza a cadeia de valor proposta - deteção, processamento, visualização e libertação de tempo - e deixa explícito que o resultado humano é uma hipótese de impacto a validar no piloto, não uma consequência automática da tecnologia.

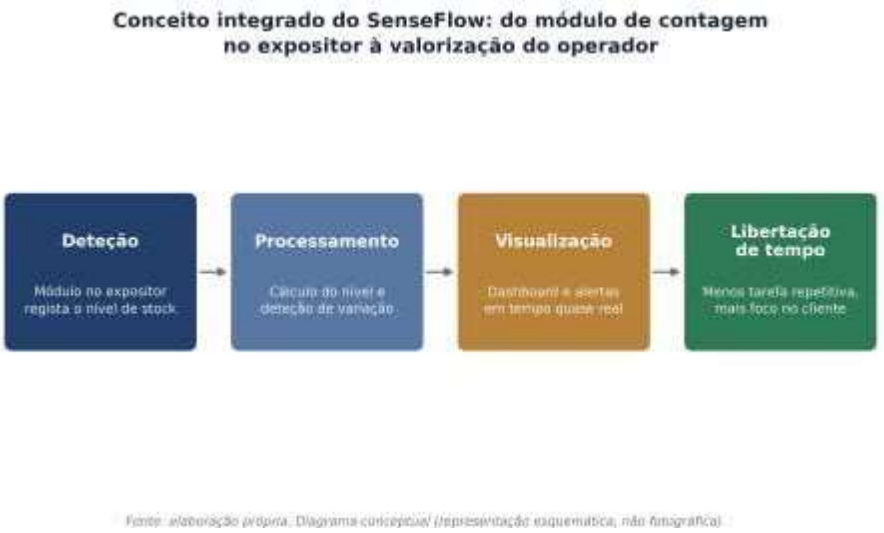


Figura 6 - Conceito integrado do SenseFlow: do módulo de contagem no expositor à valorização do operador

Fonte: Elaboração própria. Diagrama conceptual (representação esquemática, não fotográfica).

A Figura 7 documenta a materialização física do protótipo em ambiente de teste. A imagem demonstra a existência do módulo e a interação com o expositor; não constitui, por si só, evidência de desempenho em contexto comercial prolongado. O registo fotográfico completo do protótipo e do contexto de aplicação (Figuras L.1 a L.3) consta do Apêndice L.

Figura 7 - Protótipo do módulo de contagem automática em ambiente de teste



Fonte: Registo fotográfico do autor. Módulo de sensores acoplado a um suporte de maços, com leitura transmitida em tempo real para o painel de monitorização (portátil).

4.3 Componentes, seleção e calibração

A Tabela 14 apresenta os componentes tecnológicos selecionados e as alternativas consideradas, fundamentando a opção por uma arquitetura simples, modular e economicamente acessível.

Tabela 14 - Componentes do SenseFlow e critérios de seleção

Componente	Especificações	Critério de seleção	Alternativas avaliadas
Sensor HC-SR04	2–400 cm; ~0,3 cm; 15°; < 1 €; 5 V	Baixo custo; fácil integração no ecossistema Arduino	IR passivo; câmara + ML; RFID; pressão
Microcontrolador ESP32	240 MHz; Wi-Fi; 4 MB; < 5 €; 8 sensores	Wi-Fi integrado; custo reduzido; escalabilidade	Arduino Uno (sem Wi-Fi); Raspberry Pi (custo)
Protocolo MQTT	Leve; assíncrono; QoS configurável	Baixa latência; resiliência a falhas	HTTP; CoAP; WebSockets
Plataforma Grafana	Open source; integração MQTT; alertas	Gratuito; sem programação avançada	Power BI; Kibana; Metabase

Fonte: Elaboração própria.

A calibração - documentada no Apêndice G (Tabela G.1) - inclui a distância do expositor vazio, as distâncias por nível de stock, o limiar acima do ruído e a comparação com o estado de referência. Foram efetuadas cinquenta comparações laboratoriais, distribuídas por cinco produtos, e a precisão global resultou da proporção de leituras corretamente classificadas. Obteve-se 96,4% de precisão, com resultados por produto entre 95,6% e 97,2%, e latência média de 1,2 s (máximo de 2,8 s). Estes valores satisfazem os critérios laboratoriais, mas não substituem calibração e validação in situ.

A Figura 9 documenta o painel de calibração de uma frente, com os parâmetros calculados automaticamente pelo sistema a partir dos passos registados. A Figura 8 sintetiza a estabilidade das leituras obtidas pelo protótipo, evidenciando que o passo por maço excede o ruído de medição em cerca de quatro vezes, margem que sustenta a robustez da classificação do nível de stock.

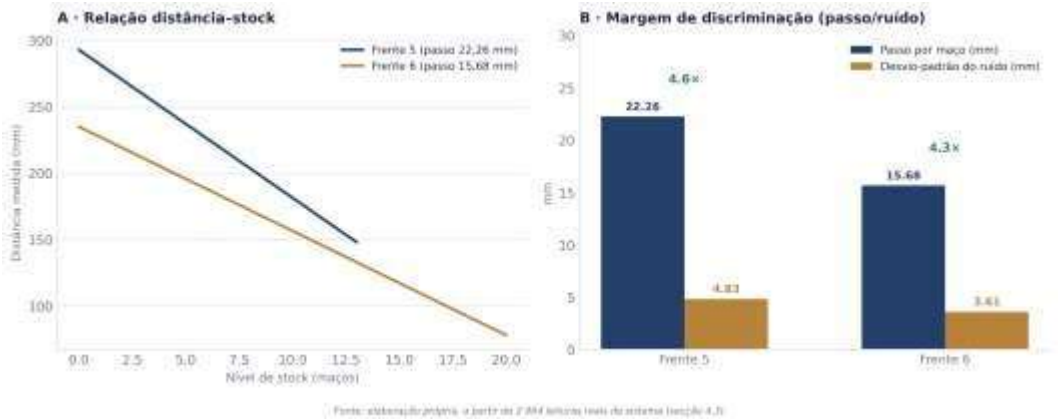


Figura 8 - Estabilidade da medição: relação distância-stock e margem de discriminação face ao ruído



Figura 9 - Painel de calibração de uma frente: parâmetros calculados e procedimento assistido

A Tabela 15 resume o protocolo de calibração dos sensores, evidenciando os critérios utilizados para assegurar precisão e estabilidade nas leituras.

Tabela 15 - Calibração dos sensores HC-SR04 (resumo)

Parâmetro	Procedimento	Valor de referência	Critério de aceitação
Distância vazia	Média de 10 leituras com expositor vazio	25–40 cm (por posição)	DP < 0,5 cm entre leituras
Distância por nível	Medição com 1, 2, 3… unidades	Variável por SKU	≥ 1,5 cm entre níveis adjacentes

Parâmetro	Procedimento	Valor de referência	Critério de aceitação
Limiar de variação	Definir acima do ruído de fundo	±2 cm (ajustável)	Limiar > 2× DP do ruído
Validação	50 ciclos SenseFlow vs. contagem manual	Precisão ≥ 95%	96,4% atingido

Fonte: Elaboração própria. Protocolo completo na Tabela G.2 (Apêndice G).

4.4 Riscos técnicos, falhas potenciais e procedimentos de mitigação

Os principais riscos técnicos são leituras instáveis por reflexão irregular, crosstalk entre sensores, desalinhamento físico, falhas de energia e instabilidade Wi-Fi. As medidas previstas incluem médias móveis, leitura sequencial, calibração por SKU, buffer local, reenvio e fallback manual. A segurança deve ser tratada por desenho: MQTT sobre TLS (porta 8883), autenticação individual dos dispositivos, segmentação de rede, princípio do menor privilégio, rotação de credenciais, logs de auditoria e atualização controlada do firmware. Embora os eventos de stock não sejam dados pessoais, uma falha de segurança pode comprometer a disponibilidade, a integridade da informação e a operação. O procedimento de contingência está no Apêndice D e deverá ser ensaiado no piloto.

Importa distinguir o desenho de segurança descrito, orientado para operação em produção, da configuração da prova de conceito avaliada neste projeto aplicado. O protótipo privilegiou a validação funcional do ciclo completo - aquisição, transmissão, cálculo e visualização - em ambiente controlado e rede reservada, remetendo para a fase de produção o conjunto de requisitos de robustecimento habitual neste tipo de sistemas: autenticação do canal de ingestão de leituras, gestão do ciclo de vida das credenciais de sessão, restrição das origens autorizadas e substituição das credenciais iniciais de administração. Esta sequência - validar primeiro a viabilidade funcional e robustecer depois para operação - é prática corrente no desenvolvimento de artefactos e não afeta os resultados obtidos, uma vez que a avaliação incidiu sobre a precisão e a estabilidade da medição, e não sobre a resiliência a utilização adversa.

Do lado da persistência, a solução recorre a uma base de dados embebida, adequada à dimensão do protótipo e ao volume de leituras registado nos ensaios. A operação à escala projetada exigirá a migração para um sistema de gestão de base de dados

multiutilizador e a otimização dos índices de acesso ao histórico, requisitos integrados no plano de escalabilidade (secção 6.6) e cujo dimensionamento deverá ser informado pelos dados do piloto operacional.

4.5 Análise económica: ROI, payback, TCO e sensibilidade

A análise económica assenta num levantamento realizado num posto, que registou duas horas diárias de contagem de tabaco. Para estimar o custo horário direto mínimo, considerou-se a RMMG de 920 € em 2026, divulgada pela Direção-Geral do Emprego e das Relações de Trabalho [DGERT] (2026), e a taxa contributiva geral de 23,75% suportada pela entidade empregadora, indicada pelo Instituto da Segurança Social, I. P. [ISS] (2026). O cálculo [(920 € × 1,2375) ÷ (40 h × 52 ÷ 12)] resulta em aproximadamente 6,57 €/h, valor arredondado de forma conservadora para 6,50 €/h. Esta estimativa não inclui subsídios de férias e de Natal, absentismo, formação, benefícios, custos indiretos ou outros encargos específicos. O valor de 180 postos corresponde à dimensão real da rede nacional da organização, à qual o questionário foi distribuído; a extrapolação económica a esta escala permanece, contudo, uma estimativa, dado que a medição direta de tempo apenas ocorreu no âmbito técnico reduzido (secção 3.3). O investimento de referência inclui hardware, instalação, calibração e manutenção anual, mas representa um TCO mínimo: integração POS/ERP, cibersegurança, formação, suporte alargado, cloud, substituição de componentes e gestão do projeto permanecem excluídos. A Tabela 16 apresenta o modelo.

Tabela 16 - Cenário económico mínimo de referência do SenseFlow (rede de 180 postos)

Parâmetro	Por posto	Rede (180 postos)
Tempo de contagem manual	2 h/dia (1 h abertura + 1 h fecho)	-
Horas/ano consumidas	730 h	131 400 h
Custo horário direto mínimo (RMMG + contribuição patronal)	6,50 €	6,50 €
Valor anual da capacidade consumida	4 745 €	854 100 €
Equivalente em dias de trabalho/ano	91 dias	≈ 75 ETI
CAPEX de referência (800 €/posto)	800 €	144 000 €
OPEX anual mínimo (100 €/posto)	100 €	18 000 €
Investimento mínimo no ano 1	900 €	162 000 €
Benefício bruto potencial (100% de reconversão)	4 745 €	854 100 €
Payback teórico no cenário-base	≈ 69 dias	≈ 69 dias
ROI de capacidade no 1.º ano	≈ 427%	≈ 427%

Fonte: Elaboração própria a partir do levantamento operacional num posto. Custo horário direto mínimo calculado com base na RMMG de 2026 e na taxa contributiva patronal geral (DGERT, 2026; ISS, 2026). ETI = equivalente a tempo inteiro. Valores e pressupostos a validar no piloto. A memória de cálculo completa está disponível no Apêndice J.

No cenário-base, a tarefa representa 730 horas por posto e ano, avaliadas em 4 745 € de capacidade de trabalho. À escala de 180 postos, a extrapolação produz 131 400 horas, aproximadamente 75 ETI e 854 100 € de capacidade potencial. Estes montantes não são poupanças de caixa automáticas: só se transformam em benefício económico se o tempo for efetivamente reconvertido em serviço, vendas, controlo ou outras atividades úteis. Face ao investimento mínimo de 162 000 €, o payback teórico é de cerca de 69 dias e o ROI de capacidade do primeiro ano é de aproximadamente 427%, antes dos custos excluídos do TCO.

A análise de sensibilidade (Tabela 17) testa o custo horário e, sobretudo, a percentagem de tempo efetivamente reconvertida. Com 60% de reconversão e 6,50 €/h, o payback sobe para cerca de 115 dias; com 80%, situa-se em cerca de 87 dias. A conclusão robusta não é um retorno garantido em menos de setenta dias, mas a existência de um caso económico promissor mesmo sob pressupostos mais prudentes, sujeito à medição do benefício realizado e do TCO completo.

Tabela 17 - Análise de sensibilidade do payback (rede de 180 postos)

Tempo reconvertido \ Custo hora	6,50 €	**7,00 €**	**8,00 €**
60%	≈ 115 dias	≈ 107 dias	≈ 94 dias
80%	≈ 87 dias	≈ 80 dias	≈ 70 dias
100%	≈ 69 dias	≈ 64 dias	≈ 56 dias

Fonte: Estimativa própria. Investimento de referência: 162 000 € (rede de 180 postos, ano 1).

O argumento económico apoia a decisão de testar, mas não substitui a prova de fiabilidade. As respostas abertas mostram que a adoção depende sobretudo de precisão comprovada, facilidade de uso, integração e suporte. Assim, o business case deve ser apresentado por cenários e acompanhado de métricas reais de tempo, erros, ruturas, disponibilidade, aceitação, custo total e valor efetivamente reconvertido.

4.6 Do dado real ao caso de negócio

O modelo económico combina um dado primário localizado (duas horas diárias observadas num posto) com extrapolações para uma rede hipotética. A latência de 1,2 s não demonstra, por si só, que todo o tempo manual será eliminado: permanecerão consultas, auditorias e procedimentos de exceção, pelo que o caso de negócio deve medir o tempo líquido libertado, não confundir rapidez de transmissão com poupança integral de trabalho. A projeção para 180 postos é uma estimativa de ordem de grandeza, dado que turnos, volume, disposição dos expositores, conectividade e salários variam entre unidades, pelo que o rollout deverá apoiar-se em dados por cluster de loja, TCO

atualizado e cenários de reconversão do tempo; a análise de sensibilidade reduz o risco de sobreinterpretação, mas não substitui a validação operacional.

5. Resultados e Discussão

5.1 Plano de avaliação e critérios

O plano de avaliação operacionaliza os seis objetivos específicos e as seis proposições. A avaliação organiza-se em três dimensões - técnica, operacional e organizacional -, com critérios de interpretação definidos a priori, incluindo a possibilidade de resultados mistos ou de limitações do sistema. Esta definição prévia dos critérios de sucesso e de falha é uma exigência de rigor da DSR (Hevner et al., 2004) e protege a avaliação contra a racionalização a posteriori dos resultados.

A Tabela 18 explicita a matriz de avaliação do estudo, associando dimensões, indicadores, fontes de dados e critérios de sucesso ou falha.

Tabela 18 - Matriz de avaliação: indicadores, fontes e critérios

Dimensão	Indicador	Fonte	Critério de sucesso	Critério de falha/misto
Técnica	Precisão de deteção (%)	50 ciclos lab.	≥ 95%	< 90%: recalibração; 90–95%: aceitável com limitações
Técnica	Latência (s)	Registos do protótipo	< 3 s em ≥ 95%	≥ 3 s em > 10%: problema de rede
Operacional	Redução do tempo (%)	Observação (3 lojas)	≥ 80%	< 50%: ganho insuficiente
Organizacional	Utilidade percebida (M)	Questionário C; α	M > 4,0; α > 0,70	M < 3,5: redesenho necessário
Organizacional	Intenção de adoção (M; r)	C6; Spearman	M > 4,0; r(C1,C6) > 0,5	M < 3,5: gestão da mudança reforçada
Organizacional	Resistência como não-preditor	D2; Spearman	r(D2,C6) n.s.	r significativo negativo: comunicação específica
Económica	Payback e TCO	Modelo económico; piloto	Cenário-base < 12 meses e sensibilidade transparente	TCO omitido ou benefício não reconvertido: rever decisão
Humana/cliente	Tempo libertado e qualidade do trabalho	C5, D4; piloto	Perceção M > 4 e confirmação por métricas de campo	Sem tempo líquido libertado ou impacto adverso: redesenhar processo

Fonte: Elaboração própria. Critérios definidos antes da recolha de dados. A Figura 10 apresenta uma síntese visual dos seis indicadores centrais da avaliação, desenvolvidos em detalhe ao longo do capítulo.



Figura 10 - SenseFlow em síntese: seis indicadores centrais da avaliação

5.2 Perfil da amostra e consistência interna

A amostra (N = 69) é maioritariamente feminina (55,1%), concentra-se sobretudo entre 36 e 45 anos (43,5%) e apresenta ensino secundário como habilitação mais frequente (43,5%). A maioria tem vínculo efetivo (73,9%) e 65,2% acumulam mais de sete anos no retalho. A tarefa é recorrente: 36,2% contam pelo menos diariamente e 52,2% algumas vezes por semana. A Tabela 19 apresenta frequências absolutas e percentagens. A função específica e a loja não foram recolhidas, pelo que não é possível caracterizar ou comparar a amostra por estas variáveis; o denominador da população acessível também não foi consolidado, impedindo o cálculo da taxa global de resposta.

Tabela 19 - Caracterização sociodemográfica e profissional da amostra (N = 69)

Variável	Categoria	n	%
Género	Feminino	38	55,1%
	Masculino	30	43,5%
	Prefiro não indicar	1	1,4%
Faixa etária	18–25 anos	3	4,3%
	26–35 anos	21	30,4%
	36–45 anos	30	43,5%
	46–55 anos	12	17,4%
	Mais de 55 anos	3	4,3%
Habilitações	Ensino básico (até 9.º ano)	3	4,3%
	Ensino secundário (10.º–12.º)	30	43,5%
	Licenciatura	20	29,0%
	Mestrado ou superior	6	8,7%
	Outro / não indicado	10	14,5%

Variável	Categoria	n	%
Situação profissional	Efetivo (conta de outrem)	51	73,9%
	Contrato a prazo	9	13,0%
	Não indicado	9	13,0%
Antiguidade no retalho	Menos de 1 ano	3	4,3%
	1 a 3 anos	4	5,8%
	3 a 7 anos	17	24,6%
	7 a 15 anos	25	36,2%
	Mais de 15 anos	20	29,0%
Frequência de contagens	Raramente	8	11,6%
	Algumas vezes por semana	36	52,2%
	Uma vez por dia	6	8,7%
	Várias vezes por dia	19	27,5%

Fonte: Elaboração própria a partir das respostas ao questionário (N = 69). Percentagens sobre o total; diferenças residuais resultam de arredondamento. Função e loja não foram recolhidas por razões de minimização do risco de reidentificação. A Figura 11 sintetiza visualmente estas características.

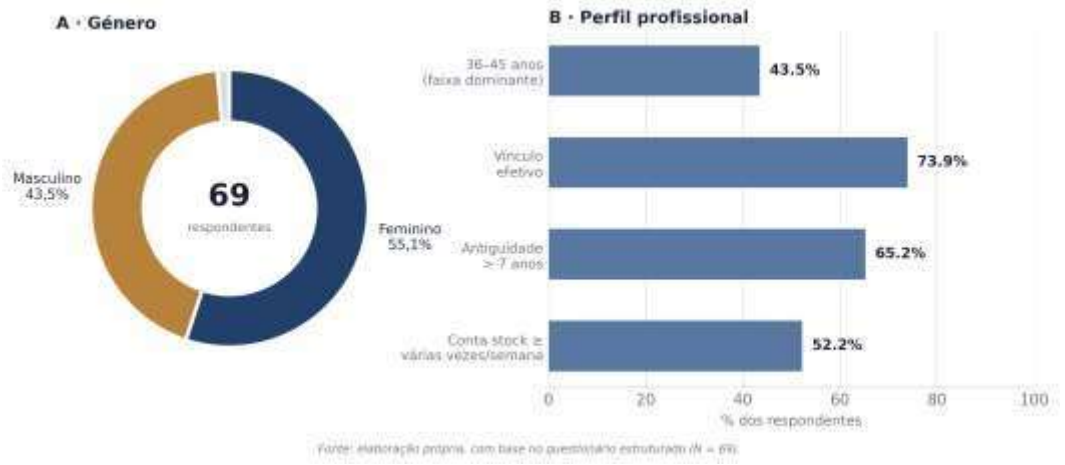


Figura 11 - Perfil da amostra: género e caracterização profissional (N = 69)

A Tabela 20 apresenta a consistência interna dos dois blocos tratados como conjuntos de itens. Os indicadores da Secção D são analisados individualmente, porque representam construtos diferentes.

Tabela 20 - Consistência interna dos blocos B e C e tratamento da Secção D

Bloco / indicador	Itens	α	Interpretação
B - Limitações do método manual	B1-B5	0,865	Boa consistência interna; permite síntese descritiva do bloco
C - Utilidade, confiança e intenção	C1-C6	0,920	Excelente coerência global; C6 é analisado separadamente como intenção
D - Indicadores organizacionais	D1-D4	n/a	Construtos distintos; análise item a item, sem score composto
D2 - Resistência	D2	n/a	Item único exploratório; futura escala multi-item recomendada

Fonte: Cálculo próprio (N = 69). A interpretação do alfa deve considerar a dimensionalidade e o número de itens; não se aplica a indicadores isolados ou a conjuntos deliberadamente heterogéneos (McNeish, 2018; Nunnally, 1978).

Os blocos B e C apresentam consistência interna boa e excelente, respetivamente. No bloco C, o alfa descreve a coerência global de itens relacionados com utilidade, confiança, transparência, conflito, tempo e intenção; não prova que todos constituam uma única dimensão. A média dos itens C1-C5, usada para resumir utilidade e benefício esperado, é 4,44; C6 é apresentado separadamente como intenção de adoção. D1-D4 são indicadores autónomos e não devem ser agregados numa escala. Esta opção evita interpretar um coeficiente de fiabilidade em dados para os quais a unidimensionalidade não foi estabelecida.

5.3 Resultados quantitativos (P1–P6)

A Tabela 21 apresenta os resultados da Secção B, a Tabela 22 sintetiza a utilidade percebida e a Tabela 23 sistematiza o impacto organizacional, permitindo comparar diagnóstico do problema, benefício esperado e condições de aceitação. Para assegurar a exploração transparente de cada questão, o Apêndice H.1 apresenta, para todos os itens B1-B5, C1-C6 e D1-D4, a formulação integral, a média, o desvio-padrão, a percentagem de concordância, a interpretação e a implicação para a decisão.

Tabela 21 - Resultados da Secção B: limitações do método manual (N = 69)

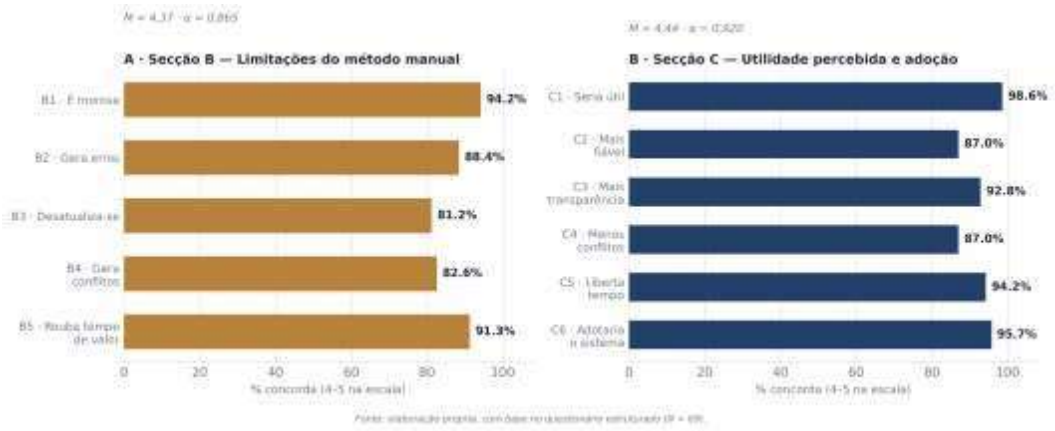
Item	Afirmação resumida	M	DP	% (4+5)
B1	A contagem manual é morosa e consome tempo significativo	4,65	0,59	94,2%
B2	Está sujeita a erros frequentes de contagem	4,36	0,84	88,4%
B3	A informação fica desatualizada rapidamente	4,20	0,88	81,2%
B4	As discrepâncias geram conflitos internos	4,17	0,89	82,6%
B5	Impede dedicação a atividades de maior valor	4,43	0,78	91,3%
-	Média global | α = 0,865	4,37	0,82	87,5%

Fonte: Dados do questionário. P1 suportada: todos os itens M > 3,5.

Tabela 22 - Resultados da Secção C: utilidade percebida (N = 69)

Item	Afirmação resumida	M	DP	% (4+5)
C1	Sistema automático seria útil para o trabalho diário	4,67	0,56	98,6%
C2	Confio que forneceria informação mais fiável	4,26	0,82	87,0%
C3	Aumentaria a transparência no controlo de stock	4,43	0,72	92,8%
C4	Reduziria conflitos internos por discrepâncias	4,26	0,80	87,0%
C5	Libertaria tempo para atividades de maior valor	4,57	0,65	94,2%
C6	Estaria disposto(a) a adotar o sistema	4,52	0,68	95,7%
-	Média global | α = 0,920	4,45	0,72	92,5%

Fonte: Dados do questionário. P2 suportada (M > 3,5); P4 suportada (C2 = 4,26 < C1 = 4,67).



A Figura 12 representa graficamente estes resultados, contrastando as limitações percecionadas do método manual (Secção B) com a utilidade percebida do SenseFlow (Secção C).

Figura 12 - Diagnóstico e resposta: resultados das Secções B e C (N = 69)

Tabela 23 - Resultados da Secção D: impacto organizacional (N = 69)

Item	Afirmação resumida	M	DP	% (4+5)
D1	Conforto com a introdução de tecnologia no trabalho	4,52	0,68	97,1%
D2	Preocupação com a substituição de tarefas (resistência)	2,57	1,29	21,7%
D3	Empresa preparada para soluções inovadoras	4,20	0,95	87,0%
D4	Automatização melhora a qualidade do trabalho das equipas	4,58	0,55	97,1%

Fonte: Dados do questionário. D2 é item de resistência: valor baixo indica baixa resistência.

A leitura conjunta das três secções revela um padrão coerente. O bloco B confirma um problema amplamente reconhecido. No bloco C, a utilidade direta (C1 = 4,67) e o tempo esperado para atividades de maior valor (C5 = 4,57) superam a confiança na fiabilidade (C2 = 4,26). Esta diferença de 0,41 pontos é descritiva e orienta a avaliação da confiança, sem constituir teste de significância entre medidas emparelhadas. Na Secção D, D1 = 4,52 e D4 = 4,58 contrastam com D2 = 2,57; os indicadores são interpretados separadamente, e não como uma escala única.

A proposição P6 é sustentada ao nível das perceções: B5 = 4,43, C5 = 4,57 e D4 = 4,58, com 97,1% de concordância em D4. A associação B5-C5 é forte ($\rho = 0,670$; $p <$

0,001), mostrando que quem sente maior perda de tempo tende a esperar maior benefício da automação. Este resultado apoia o mecanismo proposto, mas não demonstra ainda que o tempo seja efetivamente transferido para o cliente; essa consequência exige medição antes-depois no piloto.

5.4 Correlações, dimensões de efeito e modelo preditivo

A Tabela 24 quantifica as correlações entre as variáveis-chave do modelo e a respetiva dimensão de efeito.

Tabela 24 - Correlações de Spearman e dimensões de efeito (N = 69)

Par de variáveis	ρ	ρ²	p	Efeito (Cohen)
C1 (utilidade) ↔ C6 (adoção)	0,671	0,451	< 0,001	Grande
B5 (impede valor) ↔ C5 (liberta tempo)	0,670	0,449	< 0,001	Grande
D1 (predisposição) ↔ C6 (adoção)	0,444	0,198	< 0,001	Médio a grande
C1 (utilidade) ↔ D1 (predisposição)	0,392	0,154	0,001	Médio
D2 (resistência) ↔ C6 (adoção)	−0,131	0,017	0,282	Trivial (n.s.)

Fonte: Cálculo próprio. Correlações de Spearman (N = 69; p bilateral). ρ² é apresentado apenas como indicador aproximado da magnitude da associação de postos, não como proporção causal de variância explicada. n.s. = não significativo. A Figura 13 representa graficamente estes coeficientes.

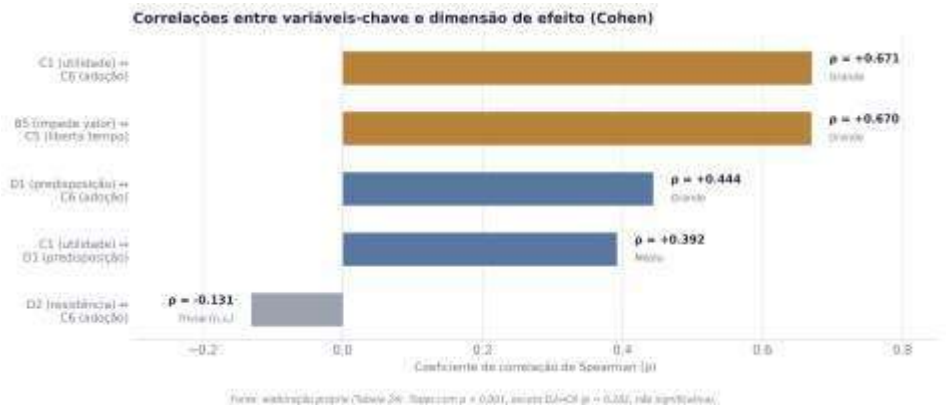


Figura 13 - Correlações entre variáveis-chave e dimensão de efeito

As correlações mostram associações fortes entre utilidade e intenção (ρ = 0,671) e entre perda de tempo e benefício esperado (ρ = 0,670), uma associação moderada entre

predisposição e intenção (ρ = 0,444) e uma associação trivial, não significativa, entre resistência e intenção (ρ = -0,131). Por se tratar de dados transversais e autorrelatados, estes coeficientes não estabelecem causalidade nem substituem a observação do uso efetivo.

Foi estimado um modelo de regressão linear múltipla exploratório com C6 como variável dependente e C1, D1 e D2 como preditores. O modelo é globalmente significativo e apresenta $R^2 = 0,50$. Contudo, C6 é um item ordinal de cinco pontos e a amostra é moderada; os coeficientes devem ser lidos como uma análise de robustez complementar às correlações, não como um modelo causal ou uma validação definitiva do TAM/UTAUT2.

A Tabela 25 apresenta o modelo de regressão linear múltipla, clarificando o peso relativo da utilidade percebida, da predisposição tecnológica e da resistência na intenção de adoção.

Tabela 25 - Regressão linear múltipla (VD: intenção de adoção, C6)

Preditor	β (padronizado)	t	p	Decisão
Utilidade percebida (C1)	0,686	7,56	< 0,001	Preditor dominante
Predisposição tecnológica (D1)	0,061	0,67	0,505	Não significativo
Resistência à mudança (D2)	−0,126	−1,43	0,158	Não significativo
Modelo global	$R^2 = 0,50$; R^2 aj. = 0,48	F(3,65) = 22,0	< 0,001	-

Fonte: Cálculo próprio (N = 69). Modelo exploratório por mínimos quadrados ordinários; VIF < 1,3. A natureza ordinal e de item único de C6 limita a interpretação causal e aconselha confirmação futura por modelos ordinais e escalas multi-item.

No modelo multivariado, apenas a utilidade percebida permanece significativa (β = 0,686; p < 0,001). A predisposição tecnológica, embora correlacionada bivariadamente com C6, deixa de ser significativa quando se controla C1 (β = 0,061; p = 0,505); a resistência também não é significativa (β = -0,126; p = 0,158). Assim, P3 é suportada ao

nível bivariado, mas o efeito independente pertence sobretudo à utilidade. A estratégia de implementação deve demonstrar valor e fiabilidade, sem pressupor que a segmentação por predisposição seja necessária ou possível com os dados anónimos recolhidos.

As comparações de grupos foram exploratórias e não revelaram diferenças estatisticamente significativas nos contrastes analisados. A interpretação é limitada pelo desequilíbrio entre categorias, por respostas profissionais não indicadas e pelo tamanho reduzido de alguns grupos. Não se conclui, portanto, que a adoção seja homogénea; conclui-se apenas que esta amostra não forneceu evidência suficiente de diferenças. O piloto deverá recolher função e unidade em categorias protegidas e dimensionar previamente as comparações.

5.5 Comparação entre o método manual e o SenseFlow

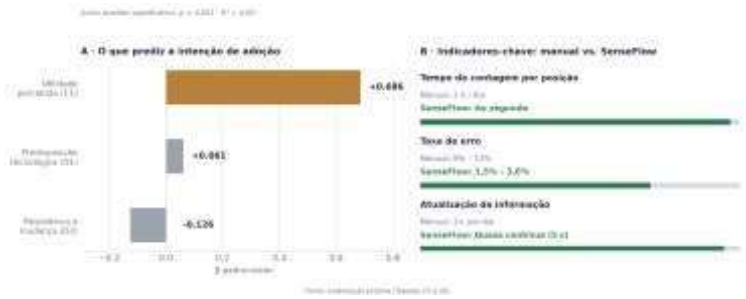
Esta secção compara duas bases de evidência distintas: a linha de base manual observada em três lojas (cerca de vinte ciclos por loja) e a validação laboratorial do SenseFlow (cinquenta comparações). A tabela não representa um ensaio simultâneo manual-versus-SenseFlow em loja. Por isso, os indicadores são apresentados como baseline, resultado laboratorial ou meta de piloto, e não como ganhos operacionais já realizados. O modelo de dashboard que operacionaliza esta monitorização é apresentado na Figura 15 e detalhado no Apêndice F; os dados nela exibidos são ilustrativos e não correspondem a resultados de um piloto operacional.

A Tabela 26 sintetiza a comparação entre os indicadores do método manual e os valores laboratoriais do SenseFlow.

Tabela 26 - Comparação entre o método manual e o SenseFlow: indicadores-chave

Indicador	Método manual / baseline	SenseFlow / laboratório ou meta	Leitura prudente	Fonte
Tempo dedicado por dia	≈ 2 h num posto observado	Meta de redução ≥ 80%; consulta residual por medir	Não assumir eliminação total antes do piloto	Levantamento / piloto
Horas anuais por posto	≈ 730 h (extrapolação)	A determinar com tempo líquido real	Valor de capacidade, não poupança automática	Levantamento / piloto
Taxa de erro	≈ 8%-12%	3,6% global; 2,8%-4,4% por produto	Redução indicativa ≈ 55%-70%	Observação / 50 comparações lab.
Frequência de atualização	2 vezes/dia	Leitura a cada 5 s; evento em 1,2 s em média	Atualização quase contínua em laboratório	Logs do sistema
Deteção de ruturas	Reativa	Alerta configurado; eficácia em campo pendente	Potencial de antecipação	Dashboard / piloto
Precisão	Variável por operador e contexto	96,4% global em laboratório	Critério de campo ≥ 95%	50 comparações lab.
Latência da informação	Horas entre contagens	1,2 s em média; 2,8 s máximo	Resultado técnico laboratorial	Registos do protótipo

Fonte: Elaboração própria a partir do levantamento operacional, da observação da linha de base manual e dos registos laboratoriais do SenseFlow. A comparação operacional direta permanece pendente. O detalhe de cada indicador, com a fonte e a nota interpretativa, consta do Apêndice I.



A Figura 14 representa graficamente os coeficientes da regressão e a comparação de indicadores-chave apresentada na Tabela 26.

Figura 14 - O que prediz a adoção e ganhos operacionais face ao método manual

A evidência disponível indica que o SenseFlow pode transformar a contagem dedicada numa consulta e num tratamento por exceção, reduzir o erro e encurtar a latência da informação. Em laboratório, a taxa de erro global foi 3,6% (2,8%-4,4% por produto), comparada com 8%-12% observados na linha de base manual, o que corresponde a uma redução indicativa de cerca de 55%-70%. A redução do tempo dedicada é uma meta de pelo menos 80% no piloto; não se assume zero horas, porque subsistem consultas, auditorias e contingências. O impacto em ruturas, vendas, cliente e ROI só poderá ser consolidado por avaliação antes-depois em contexto real.

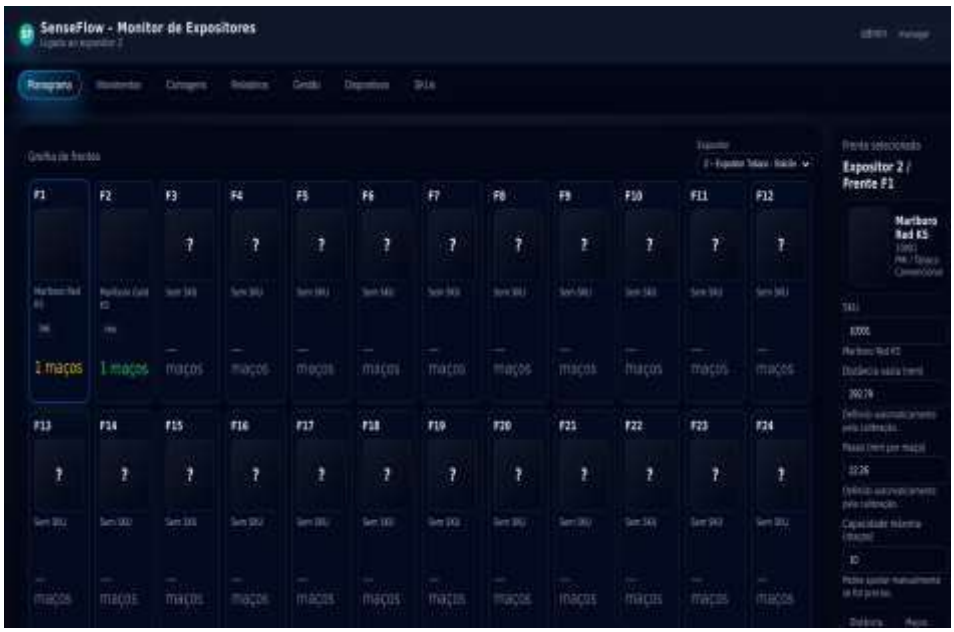


Figura 15 - Painel de monitorização do SenseFlow: planograma do expositor

Fonte: Elaboração própria. Dados ilustrativos; estrutura detalhada no Apêndice F.

5.6 Análise qualitativa das respostas abertas

A Tabela 27 organiza as respostas abertas por categorias temáticas, reforçando a triangulação entre evidência quantitativa e qualitativa.

Tabela 27 - Categorias temáticas das respostas abertas (N = 60; taxa de resposta 87,0%)

Questão	Categoria temática	Freq.	Excerto representativo
E1 - Problemas do manual	Tempo excessivo consumido	≈70%	«O maior problema é o tempo que se perde nas contagens.» (R8)
	Erro humano e imprecisão	≈65%	«Maior probabilidade de errar em períodos de movimento.» (R49)

Questão	Categoria temática	Freq.	Excerto representativo
	Desatualização da informação	≈30%	«Há vendas durante a contagem, gerando diferenças.» (R40)
	Desmotivação e baixo valor	≈20%	«Desmotivação por fazer tarefas sem valor.» (R8)
E2 - Preocupações	Fiabilidade e precisão	≈65%	«Risco de erros de leitura e falhas de sensores.» (R64)
	Dependência e avarias	≈40%	«Em caso de avaria, como receberíamos o alerta?» (R41)
E3 - Condições de adoção	Fiabilidade comprovada	≈70%	«Poder testar no terreno antes da adoção total.» (R64)
	Facilidade de uso e formação	≈50%	«Interface intuitiva para toda a equipa.» (R45)
	Integração com sistemas	≈35%	«Ligação direta ao POS/ERP, evitando duplicação.» (R64)
	Suporte técnico	≈30%	«Um bom helpdesk para erros ou avarias.» (R17)

Fonte: Análise temática própria (Bardin, 2016). Frequências aproximadas por unidades de significado; as categorias não são mutuamente exclusivas e uma resposta pode contribuir para mais de um tema.

5.7 Discussão crítica e integrada

A discussão confronta os resultados com a literatura e com o estatuto de cada evidência. P1 é suportada pelos dados autorreportados do bloco B (M = 4,37; α = 0,865; B1 = 94,2%), coerente com a literatura sobre IRI e acrescentando uma dimensão motivacional visível nas respostas abertas; não quantifica, porém, o impacto financeiro de todos os erros de inventário. P2 é suportada pela média elevada dos itens C1-C5 (M = 4,44). P3 é suportada pelas associações bivariadas de C1 e D1 com C6, em consonância com TAM e UTAUT2; no modelo multivariado, porém, apenas C1 permanece significativo, reforçando a utilidade percebida como variável central sem constituir validação integral dos modelos, dado o uso de itens adaptados e de vários construtos medidos por item único.

P4 é suportada de forma descritiva: a confiança (C2 = 4,26) fica 0,41 pontos abaixo da utilidade (C1 = 4,67), e a fiabilidade domina as preocupações abertas, em linha com Kamble et al. (2019) e Roe et al. (2022); contudo, sem teste emparelhado ou modelo de

mediação, a confiança deve ser tratada como prioridade de design e hipótese futura, não como mecanismo causal demonstrado. P5 é suportada pela ausência de associação significativa entre D2 e C6, compatível com abordagens de complementaridade pessoas-tecnologia, embora não permita concluir pela inexistência de resistência: 21,7% manifestam preocupação elevada, e a gestão da mudança deve explicitar que o objetivo é redesenhar a tarefa, não intensificar a vigilância.

Por fim, a análise qualitativa triangula e enriquece os dados quantitativos. Confirma P1, pois os problemas de E1 (tempo, erro, desatualização, desmotivação) correspondem exatamente aos itens B1–B5. Explica P4, pois a fiabilidade domina E2 (≈65%), o que justifica que C2 seja o item mais baixo da Secção C. E mapeia as condições de adoção de E3 sobre as condições facilitadoras do UTAUT2: fiabilidade comprovada, facilidade de uso, integração e suporte.

Numa leitura integrada, o principal desafio de adoção não parece ser uma oposição generalizada à automação, mas a confiança na fiabilidade e na integração da solução. A evidência organizacional é favorável; a evidência técnica é laboratorial; a evidência operacional e de cliente é ainda parcial ou inferida. Por isso, a decisão adequada não é um rollout imediato, mas um piloto transparente, com métricas de precisão, disponibilidade, tempo líquido libertado, erros, ruturas, aceitação, cibersegurança, TCO e impacto no trabalho.

A Tabela 28 sintetiza a avaliação final das seis proposições, permitindo verificar de forma integrada o grau de suporte empírico obtido.

Tabela 28 - Avaliação final das proposições P1–P6

P	Resultado	Evidência principal	Estado
P1	Método manual percebido como exigência-obstáculo	B: M = 4,37; α = 0,865; B1 = 94,2%	Suportada no caso
P2	Utilidade/benefício esperado acima do ponto médio	C1-C5: M = 4,44	Suportada
P3	Utilidade e predisposição associam-se à intenção	ρ(C1,C6) = 0,671; ρ(D1,C6) = 0,444; apenas C1 significativo na regressão	Suportada bivariadamente
P4	Confiança inferior à utilidade	C2 = 4,26 < C1 = 4,67 (Δ = 0,41)	Suportada descritivamente
P5	Resistência não se associa à intenção	ρ(D2,C6) = -0,131; p = 0,282	Suportada com limitação de item único
P6	Automação é esperada como libertadora de tempo de valor	B5 = 4,43; C5 = 4,57; D4 = 4,58; ρ = 0,670	Suportada em perceções; campo pendente

Fonte: Elaboração própria. n.s. = não significativo. A Figura 16 apresenta uma síntese visual do estatuto de cada proposição.

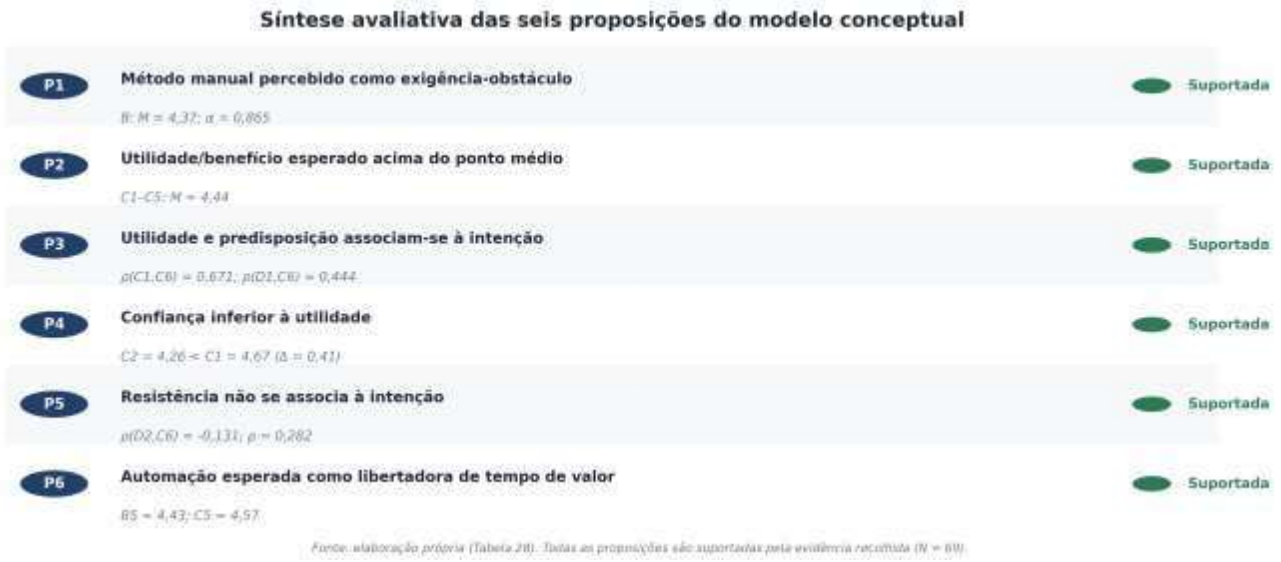


Figura 16 - Síntese avaliativa das seis proposições do modelo conceptual

6. Contributos, Limitações e Trabalho Futuro

6.1 Contributos teóricos

O estudo oferece cinco contributos teóricos circunscritos ao seu desenho: aplica a avaliação de shelf IoT de baixo custo a um contexto de PME pouco estudado; liga IRI à experiência de uma exigência-obstáculo; mostra a centralidade da utilidade e da confiança na aceitação; sugere que a resistência depende do tipo de tarefa automatizada; e ilustra uma DSR em que a avaliação organizacional e laboratorial antecede o piloto de campo. Estes contributos são analíticos e não autorizam generalização estatística para todo o retalho.

A Tabela 29 posiciona os contributos do projeto aplicado face à literatura, distinguindo confirmação teórica, novidade empírica e implicação conceptual.

Tabela 29 - Síntese de contributos e posicionamento face à literatura

Contributo	O que confirma	O que é novo / diverge	Implicação teórica
IRI como hindrance demand	DeHoratius & Raman (2008); Fleisch & Tellkamp (2005)	Adiciona a dimensão motivacional (JD-R)	A IRI tem custo motivacional não captado pelos modelos financeiros
TAM/UTAUT2 confirmados	Davis (1989); Venkatesh et al. (2012); Schorr (2023)	Primeiro estudo em retalho de combustíveis em Portugal	Validade do TAM num contexto sem precedente
Confiança < utilidade	Kamble et al. (2019)	C1 − C2 = 0,41, não captado pelo TAM original	Extensão TAM necessária para IoT operacional
Resistência não prediz adoção	Autor (2015); Howcroft & Taylor (2023)	Diverge das visões deterministas pessimistas	Resistência condicionada ao tipo de tarefa
Valorização humana (P6)	Breque et al. (2021); Makridis & Han (2021)	Mecanismo demonstrado em retalho de conveniência	Automação pode reforçar o papel relacional do trabalhador

Fonte: Elaboração própria.

6.2 Contributos práticos

Os contributos práticos consistem num protótipo documentado, requisitos verificáveis, um baseline operacional, um instrumento de aceitação, um modelo económico por cenários e um roadmap de implementação. Os benefícios para operação, finanças, colaboradores e clientes são potenciais até serem confirmados no piloto. A utilidade imediata para a gestão reside na definição de critérios go/no-go: precisão ≥ 95% em campo, disponibilidade e latência estáveis, redução líquida do tempo ≥ 80%, integração sem duplicação, aceitação das equipas, segurança adequada e TCO compatível com o benefício realizado.

6.3 Limitações do estudo

- Avaliação técnica predominantemente laboratorial: precisão e latência não foram ainda confirmadas durante operação prolongada, com tráfego, reposição e variabilidade ambiental reais.

- Estudo de caso único e amostra intencional: a generalização é analítica; não existe base para inferência estatística sobre o setor.

- Potencial conflito de interesse e autorrelato: a posição hierárquica do investigador pode ter influenciado respostas, apesar das salvaguardas de anonimato e voluntariedade.

Riscos sociotécnicos: dependência excessiva, intensificação do controlo, perda de competências manuais, cibersegurança e utilização inadequada dos dados deverão ser monitorizados numa implementação faseada.

- Sensibilidade do protótipo: superfícies, crosstalk, desalinhamento, energia e Wi-Fi podem alterar a precisão e a disponibilidade em campo.

- Linha de base curta: quatro semanas e três lojas não captam sazonalidade, heterogeneidade da rede nem efeitos prolongados da mudança.

- Instrumento de aceitação: vários construtos foram medidos por item único; função e loja não foram recolhidas; o denominador populacional é desconhecido; e não é possível estimar uma taxa global de resposta.

  Análise estatística exploratória: a regressão usa uma variável ordinal de item único e os resultados transversais não permitem inferência causal.
  Análise económica preliminar: o valor de capacidade, o payback e o ROI dependem da reconversão do tempo; o TCO não inclui integração, formação, cibersegurança, cloud, suporte alargado ou substituição de componentes.

6.4 Recomendações de gestão

A Tabela 30 converte os resultados técnicos, quantitativos e qualitativos em recomendações de gestão, associando cada ação à respetiva fundamentação e condição de sucesso.

Tabela 30 - Recomendações de gestão para implementação do SenseFlow

#	Recomendação	Fundamentação	Condição de sucesso
1	Executar piloto comparativo de 4-6 semanas em 1-2 lojas antes de qualquer rollout.	Fiabilidade é a principal condição qualitativa; evidência de campo pendente	Métricas a priori, baseline, logs e comunicação transparente
2	Selecionar lojas voluntárias e líderes locais; avaliar prontidão com checklist próprio.	D1 associa-se bivariadamente à intenção, mas não é preditor independente e o questionário é anónimo	Não segmentar com base nas respostas individuais; usar adesão voluntária
3	Testar primeiro a operação autónoma e, antes da escala, validar integração POS/ERP.	Integração referida por ≈35%; interface ainda não implementada	Conectores testados, reconciliação e ausência de dupla introdução
4	Definir suporte e contingência com SLA proporcional à criticidade.	Avarias/dependência constituem preocupação recorrente	Helpdesk, monitorização, stock de substituição e fallback ensaiado
5	Comunicar a implementação como melhoria do trabalho e do serviço, não como vigilância.	D4 = 4,58; D2 = 2,57; 21,7% mantêm preocupação elevada	Participação das equipas, transparência e canal de feedback
6	Monitorizar tempo líquido libertado, bem-estar, serviço ao cliente e adoção efetiva.	P6 é suportada por perceções, não por efeito observado	Medição antes-depois e revisão 30/60/90 dias

#	Recomendação	Fundamentação	Condição de sucesso
7	Aplicar segurança por desenho e governação de dados.	Riscos de disponibilidade, integridade e acesso indevido	TLS, autenticação, segmentação, logs, backups e gestão de credenciais

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do estudo.

Com base nessas recomendações, a Tabela 31 sintetiza os fatores críticos de sucesso que devem orientar a decisão de avançar, reformular ou interromper a implementação do SenseFlow.

Tabela 31 - Fatores críticos de sucesso para a implementação do SenseFlow

Fator crítico de sucesso	Fundamentação no estudo	Implicação para a decisão
Fiabilidade técnica comprovada	A confiança é inferior à utilidade e domina as condições de adoção	Não avançar para rollout sem piloto em contexto real
Precisão da contagem	96,4% em laboratório; confirmação operacional pendente	Exigir ≥ 95% em campo e analisar erros por SKU
Integração com POS/ERP	Integração é condição qualitativa e ainda não foi implementada	Evitar duplicação e testar reconciliação antes da escala
Facilidade de utilização	A utilidade é o preditor independente dominante	Dashboard simples, alertas acionáveis e formação curta
Suporte e contingência	Avarias e dependência são preocupações frequentes	SLA, helpdesk, peças e fallback ensaiado
Comunicação centrada nas pessoas	Resistência média baixa, mas não nula; P6 é percecional	Explicar o redesenho da tarefa e envolver utilizadores
Piloto antes do rollout	A comparação operacional direta permanece pendente	Decisão faseada com critérios go/no-go
Monitorização de indicadores	Benefícios e ROI dependem de reconversão real do tempo	Acompanhar tempo, erro, ruturas, adoção, bem-estar, TCO e ROI
Cibersegurança e governação	A solução depende de rede, broker, credenciais e dados operacionais	TLS, autenticação, segmentação, logs, backups e responsabilidades definidas

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do estudo (Secções B, C, D e E do questionário) e na literatura de adoção tecnológica.

6.5 Linhas de investigação futura

- Realizar um desenho antes-depois em 1-2 lojas durante 4-6 semanas, seguido de replicação em pelo menos quatro unidades, medindo precisão, disponibilidade, tempo líquido, erros, ruturas e contingências.

- Aplicar escalas multi-item validadas e testar formalmente utilidade, facilidade, confiança, condições facilitadoras, resistência e uso efetivo por modelos ordinais ou de equações estruturais, com amostra dimensionada.

- Replicar o estudo em formatos distintos de retalho e recolher função, loja e contexto por categorias suficientemente amplas para proteger o anonimato.

- Avaliar, ao longo de 6-12 meses, bem-estar, engagement, qualidade do serviço, experiência do cliente e eventual intensificação do trabalho.

- Desenvolver um TCO completo, uma análise de risco/cibersegurança e modelos de negócio alternativos - aquisição, subscrição e serviço gerido - antes da comercialização.

6.6 Piloto operacional e escalabilidade do SenseFlow

A investigação culmina na preparação da transição de protótipo laboratorial para demonstração operacional, que na DSR corresponde à avaliação naturalística do artefacto. O roadmap não presume sucesso: estabelece fases, métricas e pontos de decisão que permitem interromper, redesenhar ou escalar a solução conforme a evidência. O levantamento num posto e o interesse preliminar de uma organização do setor justificam a preparação de um piloto; a eventual escala a cerca de 180 postos é apenas um cenário. O piloto deverá recolher tempo líquido libertado, precisão por SKU, falsos alertas, disponibilidade, falhas de comunicação, aceitação, impacto no trabalho, integração e custo total, com qualquer compromisso empresarial formalizado documentalmente (modelo no Apêndice K).

O plano organiza-se em quatro fases: piloto em 1-2 lojas; validação alargada em unidades com perfis distintos; integração e segurança; e rollout faseado. A seleção das lojas deve apoiar-se em voluntariedade, condições técnicas e diversidade operacional, não em respostas individuais do questionário anónimo. Cada fase termina num ponto go/no-go baseado nos critérios da Tabela 32.

A Tabela 32 traduz o plano de transição do protótipo para produto em fases, métricas e critérios de decisão, ligando a investigação académica à escalabilidade operacional.

Tabela 32 - Plano de transição do protótipo ao produto (roadmap do piloto)

Fase	Objetivo	Duração	Métrica de decisão
1 - Piloto controlado	Validar em 1-2 lojas com baseline antes-depois	4-6 semanas	Precisão ≥ 95%; disponibilidade ≥ 99%; redução líquida do tempo ≥ 80%; aceitação sem impacto adverso
2 - Validação alargada	Testar variabilidade operacional e por SKU	2-3 meses	Desempenho estável em ≥ 4 lojas; falsos alertas e falhas dentro dos limites
3 - Integração e segurança	Ligar a POS/ERP e validar suporte/cibersegurança	1-2 meses	Reconciliação fiável; TLS/autenticação; SLA e fallback testados
4 - Escalabilidade	Rollout faseado sujeito a business case atualizado	6-12 meses	Adoção efetiva; TCO/ROI realizados; bem-estar e serviço monitorizados

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados do estudo e nas recomendações de gestão (Tabela 30).

Os dados do piloto não integram os resultados deste projeto aplicado. O trabalho entregue estabelece o diagnóstico, o enquadramento, o protótipo, a validação laboratorial, a aceitação organizacional e um caso económico preliminar; a eficácia operacional, a integração e a escalabilidade permanecem por demonstrar. Esta delimitação preserva a validade das conclusões e transforma o piloto em continuação necessária, não em confirmação antecipada.

6.7 Conclusão

O projeto aplicado partiu da morosidade, do erro e da desatualização associados à contagem manual de produtos em exposição e perguntou em que medida um sistema IoT de contagem automática pode constituir uma resposta de gestão viável e aceite no retalho

de conveniência. A investigação combinou DSR, estudo de caso, questionário a 69 participantes, observação da linha de base manual e validação laboratorial do SenseFlow.

A resposta é favorável, mas condicionada pelo estatuto da evidência. Em laboratório, o artefacto atingiu 96,4% de precisão global e 1,2 s de latência média. No plano organizacional, o problema manual é fortemente reconhecido (B: M = 4,37; α = 0,865), os itens C1-C5 apresentam elevada avaliação média (M = 4,44), a intenção de adoção é alta (C6: M = 4,52; 95,7%) e a resistência não se associa significativamente à intenção. A utilidade é o único preditor independente no modelo exploratório (β = 0,686). A confiança permanece abaixo da utilidade e constitui a prioridade central do piloto. Os dados apoiam as seis proposições em graus diferentes: P1 e P2 no caso estudado; P3 bivariadamente; P4 descritivamente; P5 com limitação de item único; e P6 ao nível das perceções, não do impacto observado.

Em termos económicos, o cenário-base atribui 4 745 € anuais à capacidade consumida por posto e 854 100 € a uma rede de 180 postos, face a um investimento mínimo de 162 000 €. O payback teórico é de cerca de 69 dias com reconversão integral e 115 dias com 60% de reconversão. Estes valores não representam poupança de caixa garantida, e o TCO completo permanece por apurar. A conclusão de gestão é, portanto, avançar para um piloto controlado - não para rollout imediato - com métricas de precisão, disponibilidade, tempo líquido, integração, segurança, aceitação, bem-estar, serviço e retorno realizado. O SenseFlow é promissor porque pode retirar peso a uma tarefa repetitiva e devolver capacidade às pessoas; a demonstração de que essa capacidade se converte em melhor operação e melhor relação com o cliente constitui o passo seguinte.

Retomando os objetivos específicos enunciados na secção 1.3, todos foram cumpridos, com estatutos de evidência distintos e explicitados ao longo do texto. O primeiro, diagnosticar as limitações do processo manual, foi cumprido pelos resultados da Secção B (M = 4,37; α = 0,865), que confirmam a morosidade, o erro e a desatualização do método (secção 5.3). O segundo, definir os requisitos funcionais e não funcionais do sistema IoT, foi cumprido na secção 4.1, em alinhamento com o diagnóstico e a literatura revista. O terceiro, validar tecnicamente o protótipo, foi cumprido com 96,4% de precisão e 1,2 segundos de latência média em ambiente laboratorial (secção 4.3). O quarto, comparar o método manual com o SenseFlow, foi cumprido com prudência probatória na secção 5.5, identificando os indicadores a confirmar no piloto operacional. O quinto,

analisar a aceitação organizacional, foi cumprido através do questionário estruturado (N = 69), fundamentado no TAM e no UTAUT2, com intenção de adoção de 95,7% (secção 5.3). O sexto, formular recomendações de gestão para a adoção escalável, foi cumprido na secção 6.4.

Referências

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2022). Tasks, automation, and the rise in U.S. wage inequality. *Econometrica, 90*(5), 1973–2016. https://doi.org/10.3982/ECTA19815

AlQahtani, A. A. S., Darrat, A. A., Turpin, L., & Alshayeb, T. (2025). Smart shelves: Transforming retail stocking with Internet of Things and machine learning. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture, 16*, 1864–1880. https://doi.org/10.1007/s43995-025-00213-1

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks, 54*(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives, 29*(3), 3–30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2007). The Job Demands-Resources model: State of the art. *Journal of Managerial Psychology, 22*(3), 309–328. https://doi.org/10.1108/02683940710733115

Bakker, A. B., & Demerouti, E. (2017). Job demands-resources theory: Taking stock and looking forward. *Journal of Occupational Health Psychology, 22*(3), 273–285. https://doi.org/10.1037/ocp0000056

Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo* (Edição revista e atualizada). Edições 70.

Ben-Daya, M., Hassini, E., & Bahroun, Z. (2019). Internet of Things and supply chain management: A literature review. *International Journal of Production Research, 57*(15–16), 4719–4742. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402140

Bharadwaj, A., El Sawy, O. A., Pavlou, P. A., & Venkatraman, N. (2013). Digital business strategy: Toward a next generation of insights. *MIS Quarterly, 37*(2), 471–482. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3

Blut, M., Chong, A. Y. L., Tsiga, Z., & Venkatesh, V. (2022). Meta-analysis of the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT): Challenging its validity and charting a research agenda in the red ocean. *Journal of the Association for Information Systems, 23*(1), 13–95. https://doi.org/10.17705/1jais.00719

Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry*. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/308407

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.

Chuang, H. H.-C., Oliva, R., & Kumar, S. (2022). Group-level information decay and inventory inspection: An empirical-analytical approach. *Journal of Operations Management, 68*(2), 130–152. https://doi.org/10.1002/joom.1167

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). Sage.

Davenport, T. H., & Kirby, J. (2016). *Only humans need apply: Winners and losers in the age of smart machines*. Harper Business.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

DeHoratius, N., & Raman, A. (2008). Inventory record inaccuracy: An empirical analysis. *Management Science, 54*(4), 627–641. https://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0789

DeHoratius, N., Holzapfel, A., Kuhn, H., Mersereau, A. J., & Sternbeck, M. (2023). Evaluating count prioritization procedures for improving inventory accuracy in retail stores. *Manufacturing & Service Operations Management, 25*(1), 288–306. https://doi.org/10.1287/msom.2022.1119

Direção-Geral do Emprego e das Relações de Trabalho. (2026, 26 de maio). *Retribuição mínima mensal garantida para 2026*. https://www.dgert.gov.pt/retribuicao-minima-mensal-garantida-para-2026

Fleisch, E., & Tellkamp, C. (2005). Inventory inaccuracy and supply chain performance: A simulation study of a retail supply chain. *International Journal of Production Economics, 95*(3), 373–385. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.02.003

Gallino, S., & Moreno, A. (2014). Integration of online and offline channels in retail: The impact of sharing reliable inventory availability information. *Management Science, 60*(6), 1434–1451. https://doi.org/10.1287/mnsc.2014.1951

Gong, C., & Ribiere, V. (2021). Developing a unified definition of digital transformation. *Technovation, 102*, 102217. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2020.102217

Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly, 37*(2), 337–355. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01

Grewal, D., Roggeveen, A. L., & Nordfält, J. (2017). The future of retailing. *Journal of Retailing, 93*(1), 1–6. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.12.008

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems, 29*(7), 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

Hagberg, J., Sundström, M., & Egels-Zandén, N. (2016). The digitalization of retailing: An exploratory framework. *International Journal of Retail & Distribution Management, 44*(7), 694–712. https://doi.org/10.1108/IJRDM-09-2015-0140

Hansen, M. T., & Birkinshaw, J. (2007). The innovation value chain. *Harvard Business Review, 85*(6), 121–130.

Hevner, A. R. (2007). A three cycle view of design science research. *Scandinavian Journal of Information Systems, 19*(2), 87–92.

Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly, 28*(1), 75–105. https://doi.org/10.2307/25148625

Howcroft, D., & Taylor, P. (2023). Automation and the future of work: A social shaping of technology approach. *New Technology, Work and Employment, 38*(2), 351–370. https://doi.org/10.1111/ntwe.12240

Instituto da Segurança Social, I. P. (2026, 19 de maio). *Guia prático: Inscrição, vinculação e cessação de atividade de trabalhador/estagiário por conta de outrem* [PDF]. https://www.seg-social.pt/ptss/pssd/documento/cmc1xlxpq00d9kl2y0p3inyft

Joore, P., & Brezet, H. (2015). A multilevel design model: The mutual relationship between product-service system development and societal change processes. *Journal of Cleaner Production, 97*, 92–105. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.043

Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Parekh, H., & Joshi, S. (2019). Modeling the Internet of Things adoption barriers in food retail supply chains. *Journal of Retailing and Consumer Services, 48*, 154–168. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2019.02.020

Kang, Y., & Gershwin, S. B. (2005). Information inaccuracy in inventory systems: Stock loss and stockout. *IIE Transactions, 37*(9), 843–859. https://doi.org/10.1080/07408170590969889

Kraus, S., Jones, P., Kailer, N., Weinmann, A., Chaparro-Banegas, N., & Roig-Tierno, N. (2021). Digital transformation: An overview of the current state of the art of research. *SAGE Open, 11*(3), 1–15. https://doi.org/10.1177/21582440211047576

Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2015). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers, 17*(2), 243–259. https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7

Makridis, C. A., & Han, J. H. (2021). Future of work and employee empowerment and satisfaction: Evidence from a decade of technological change. *Technological Forecasting and Social Change, 173*, 121162. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121162

McNeish, D. (2018). Thanks coefficient alpha, we'll take it from here. *Psychological Methods, 23*(3), 412–433. https://doi.org/10.1037/met0000144

Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems, 24*(3), 45–77. https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302

Pienaar, J., Falkenberg, H., Ström, P., & Sverke, M. (2025). How do job demands and job resources relate to well-being, turnover intention and performance in retail? Insights from Swedish trade union members. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/09593969.2025.2544929

Roe, M., Spanaki, K., Ioannou, A., Zamani, E. D., & Giannakis, M. (2022). Drivers and challenges of Internet of Things diffusion in smart stores: A field exploration. *Technological Forecasting and Social Change, 178*, 121593. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121593

Schorr, A. (2023). The Technology Acceptance Model (TAM) and its importance for digitalization research: A review. In *Technikpsychologie: Proceedings of the International Symposium on Technikpsychologie* (pp. 55–65). De Gruyter. https://doi.org/10.2478/9788366675896-005

Tan, W. C., & Sidhu, M. S. (2022). Review of RFID and IoT integration in supply chain management. *Operations Research Perspectives, 9*, 100229. https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, *27*(3), 425–478. https://doi.org/10.2307/30036540

Venkatesh, V., Thong, J. Y. L., & Xu, X. (2012). Consumer acceptance and use of information technology: Extending the unified theory of acceptance and use of technology. *MIS Quarterly*, *36*(1), 157–178. https://doi.org/10.2307/41410412

Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Dong, J. Q., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research, 122*, 889–901. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022

Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems, 28*(2), 118–144. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003

Warner, K. S. R., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning, 52*(3), 326–349. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2018.12.001

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 10*(4), 2233–2243. https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage.

Apêndices

Os apêndices A a L, pela sua dimensão, são apresentados em documento separado (Volume II - Apêndices), submetido em conjunto com o presente projeto aplicado:

Apêndice A — Roteiro de entrevista semiestruturada para o piloto.
Apêndice B — Grelha de observação operacional.
Apêndice C — Termo de consentimento informado.
Apêndice D — Protocolo de tratamento de dados e procedimento de fallback.
Apêndice E — Arquitetura técnica completa do sistema SenseFlow.
Apêndice F — Modelo de dashboard de monitorização.
Apêndice G — Calibração completa dos sensores HC-SR04.
Apêndice H — Questionário integral.
Apêndice I — Comparação detalhada entre o método manual e o SenseFlow.
Apêndice J — Memória de cálculo económico.
Apêndice K — Modelo de declaração de interesse e acolhimento de piloto.
Apêndice L — Registo fotográfico do protótipo e do contexto de aplicação.