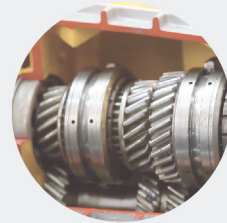




DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO POWER APPS PARA A GESTÃO EFICIENTE DO LABORATÓRIO DE METROLOGIA

DIANA ISABEL SOARES AMARAL

julho de 2025



DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO POWER APPS PARA A GESTÃO EFICIENTE DO LABORATÓRIO DE METROLOGIA

DIANA ISABEL SOARES AMARAL

junho de 2025

**DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA
APLICAÇÃO POWER APPS PARA A GESTÃO EFICIENTE DO
LABORATÓRIO DE METROLOGIA**

Diana Isabel Soares Amaral

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial**

Orientador: Mónica Glória Cardoso

Co-orientador: Bruno Eduardo Ferraz de Sousa

Júri:

Presidente:

Hélio Cristiano Gomes Alves de Castro, Professor Adjunto, ISEP

Vogais:

Mónica Glória Cardoso, Professor Adjunto Convidado, ISEP

Luís Gonzaga Martins Ferreira, Professor Coordenador, Instituto Politécnico do Cávado e Ave

Resumo

Este projeto visa a digitalização e melhoria do processo de requisição de serviços num laboratório de metrologia, até então caracterizado por uma gestão informal, descentralizada e pouco padronizada. Esta realidade originava falhas significativas ao nível da rastreabilidade dos pedidos, da previsibilidade dos prazos de execução e da eficiência na alocação de recursos.

Face a este contexto, foi desenvolvida uma aplicação em *Microsoft Power Apps*[®], cuja escolha se justificou pela rapidez de desenvolvimento, integração nativa com ferramentas amplamente utilizadas na organização (SharePoint, Planner, Teams) e pela possibilidade de criação de soluções por utilizadores sem conhecimentos avançados de programação.

A metodologia de investigação-ação permitiu o envolvimento direto dos utilizadores em todas as fases do projeto: levantamento de requisitos, modelação dos processos e validação da solução. A aplicação concebida permite a submissão normalizada dos pedidos, o cálculo automático do tempo estimado com base em critérios técnicos objetivos e o acompanhamento em tempo real do estado de cada requisição.

A digitalização do processo resultou em melhorias claras na padronização, rastreabilidade e fiabilidade da informação, proporcionando uma gestão mais eficaz da carga de trabalho e um planeamento mais rigoroso. O projeto evidencia o potencial das plataformas Low-Code na transformação digital de contextos técnicos especializados.

Palavras-chave: Low-Code, *Microsoft Power Apps*[®], Metrologia, Transformação Digital, Eficiência Operacional, Qualidade 4.0

Abstract

This project focuses on improving and digitalizing the service request process in a metrology laboratory, which had previously been characterized by informal, decentralized, and poorly standardized management. This situation led to significant issues in traceability of requests, predictability of execution timelines, and efficiency in resource allocation.

In response to this context, an application was developed using *Microsoft Power Apps*[®]. This choice was justified by the speed of development, native integration with widely used organizational tools (SharePoint, Planner, Teams), and the possibility for users without advanced programming skills to create solutions.

The action-research methodology enabled direct involvement of users in all project phases: requirements gathering, process modelling, and solution validation. The resulting application allows for standardized submission of requests, automatic calculation of estimated time based on objective technical criteria, and real-time tracking of each request's status.

Digitizing the process has led to clear improvements in standardization, traceability, and information reliability, enabling more effective workload management and more rigorous planning. The project highlights the potential of Low-Code platforms in the digital transformation of specialized technical environments.

Keywords: Low-Code, *Microsoft Power Apps*[®], Metrology, Digital Transformation, Operational Efficiency, Quality 4.0

Agradecimentos

“A necessidade aguça o engenho.” Este provérbio popular revela-se particularmente pertinente no contexto desta dissertação, pois foi a identificação de uma necessidade concreta — a melhoria dos processos de gestão num laboratório de metrologia — que impulsionou o desenvolvimento de uma solução digital inovadora. O percurso aqui apresentado é reflexo do engenho que nasce das limitações e da determinação em ultrapassá-las com criatividade, rigor e compromisso.

Em primeiro lugar, manifesto o meu profundo agradecimento à Professora Mónica Cardoso, orientadora desta dissertação, pelo acompanhamento próximo, orientação científica rigorosa e pelos valiosos contributos. A sua dedicação e exigência foram essenciais para a concretização deste trabalho. Ao Professor Bruno Sousa, co-orientador, agradeço pela sua constante disponibilidade, conhecimento técnico e contributos significativos que enriqueceram o desenvolvimento desta dissertação. Estendo também os meus agradecimentos ao Professor Manuel Pereira Lopes, na qualidade de professor e Diretor de Curso, o meu reconhecimento pelo apoio institucional, liderança académica e incentivo ao longo deste percurso, que foram determinantes para o sucesso do projeto.

Ao Engenheiro Ricardo Alves, expresso o meu reconhecimento pela confiança, incentivo e abertura para a implementação desta aplicação na Keenfinity, spin-off da Bosch, possibilitando a aplicação prática do trabalho desenvolvido num contexto real. Estendo também o meu agradecimento aos colegas de trabalho que participaram nos testes da aplicação, cuja colaboração e feedback foram fundamentais para a validação e melhoria da solução proposta.

À minha família e à família do meu namorado, expresso um sincero reconhecimento pelo apoio incondicional, paciência e incentivo prestados ao longo deste percurso, que foram fundamentais nos momentos de maior exigência.

Por último, dirijo uma palavra de especial apreço ao meu namorado, pelo suporte constante, pela presença nos momentos mais desafiantes e por me fazer acreditar, mesmo nas fases mais difíceis, que tudo é possível. Esta etapa é também reflexo do seu apoio.

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problema de investigação, enquadramento e pertinência	1
1.2	Questão e objetivos de investigação	2
1.3	Opções metodológicas	3
1.4	Estrutura do documento	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	A Indústria 4.0 e a Transformação digital	7
2.2	Gestão de Laboratório de Metrologia	9
2.2.1	Impacto da Digitalização em Laboratórios de metrologia	12
2.3	Tecnologias Low-Code	13
2.3.1	Diversidade de tecnologias Low-Code	15
2.4	Aplicações de <i>Low-Code</i> em Contextos Industriais	18
2.4.1	Tecnologia <i>Microsoft Power Apps</i> ®	19
2.5	Futuro das Tecnologias <i>Low-Code</i> em Gestão Industrial	20
2.6	Síntese Crítica da Revisão de Literatura	22
3	PROBLEMA IDENTIFICADO E ABORDAGEM METODOLÓGICA	24
3.1	Problema Identificado	24
3.2	Abordagem Metodológica	26
4	IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO	29
4.1	Estrutura da Aplicação	29
4.1.1	Interface do Requerente	31
4.1.2	Interface do Técnico de Metrologia	33
4.1.3	Interface do Gestor do Laboratório	38
4.2	Processos Auxiliares ao Pedido Metrológico	41
4.2.1	Avaliação da criticidade da medição	41
4.2.2	Existência de Programa de Medição	42
4.2.3	Presença de Estratégia de Medição	42
4.2.4	Cálculo do Tempo Estimado	42
5	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	45
5.1	Estruturação e Padronização do Processo	45
5.2	Eliminação da Ambiguidade Técnica e Redução de Erros	45
5.3	Estimativa de Tempo de Execução Transparente e Justificada	46
5.4	Rastreabilidade e Capacidade de Monitorização	46
5.5	Eficiência Operacional e Fiabilidade na Resposta	47

5.6	Comparação Funcional entre o Processo Antigo e o Novo.....	49
5.7	Considerações Finais e Reflexão Crítica	49
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	51
6.1	Conclusões Finais.....	51
6.2	Trabalhos Futuros	52
6.3	Limitações e Considerações Críticas	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	Apêndice A - Formulário de Entrevista - Levantamento de Requisitos	59
	Apêndice B- Primeira proposta para a implementação da aplicação.....	60
	Apêndice C - Formulário de Testes e Validação da Aplicação	62
	Apêndice D - Formulário de Monitorização da Implementação da Aplicação	64

Lista de Figuras

Figura 1- Áreas da Metrologia.....	11
Figura 2 - Resultados de um questionário a 3300 profissionais sobre as vantagens das plataformas Low-Code	15
Figura 3 - Principais sistemas Low-Code	16
Figura 4 - Digital LCDP Twin	21
Figura 5 - Mapa BPMN da Situação Actual (AS-IS).....	27
Figura 6 – Mapa BPMN da Situação Futura (TO-BE)	28
Figura 7 – Esquema das interações da aplicação.....	30
Figura 8 – Formulário Estruturado com visualização do Estado	32
Figura 9 – Interface do requerente.....	33
Figura 10 – Interface do Técnico de Metrologia	34
Figura 11 – Interface Técnico de metrologia com possibilidade de filtrar diferentes tipos de medição, verificar pedidos para medir no dia e também pedidos pertos da data-limite.	35
Figura 12 – Ecrã que permite visualizar pedidos pertos da data limite.....	35
Figura 13 – Interligação com o <i>Planner</i> – visualização do quadro de tarefas já com os anexos incluídos	36
Figura 14 – Criação automática no calendário partilhado “Metrology” da atividade com o tempo estimado	37
Figura 15 – Possibilidade de visualizar as próximas atividades dentro da aplicação	38
Figura 16 – Interface Gestor do Laboratório.....	39
Figura 17 – <i>Dashboards</i> para o Gestor do Laboratório.....	40
Figura 18 – Definir lista de utilizadores.....	40
Figura 19 – cálculo do tempo estimado em horas.....	41
Figura 20 -Validação da fórmula de cálculo de tempo estimado	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - PRO-CODE V.S. LOW-CODE	17
Tabela 2 – Comparação do antes e depois da implementação	25
Tabela 3 – Tabela de comparação processo antigo “AS IS” e novo “TO BE”	49
Tabela 4 – Matriz de priorização de Atividades	53

Acrónimos e Símbolos

Lista de Acrónimos

BPMN	Business Process Model and Notation
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
CPS	<i>Cyber-physical system</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
GD&T	<i>Geometric Dimensioning and Tolerancing</i>
IIoT	<i>Industrial Internet of things</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
LCDP	<i>Low-Code Development Platform</i>
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
TI	Tecnologias de Informação
ZDM	<i>Zero-Defect Manufacturing</i>

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, procede-se à introdução ao contexto em que o projeto foi desenvolvido, destacando a sua relevância tanto para o contexto específico da empresa onde foi implementado, como para a validação do uso das novas tecnologias em ambiente industrial. Em seguida, formula-se a questão de investigação central, delineando os objetivos que se pretendem alcançar e descrevendo a metodologia adotada para tal.

1.1 Problema de investigação, enquadramento e pertinência

Este trabalho é motivado por uma dificuldade operacional identificada na organização em que este projeto de dissertação está a ser desenvolvido, onde se observou a necessidade urgente de reformulação dos processos de gestão do laboratório de metrologia. A investigação proposta foca-se no desenvolvimento de uma aplicação inovadora utilizando ferramentas de *Low-Code* (desenvolvimento com baixo uso de código) para melhorar a eficácia e a eficiência destes processos. As plataformas de desenvolvimento *Low-Code* oferecem mecanismos tecnológicos que facilitam e automatizam a criação de aplicações de *software* para apoiar as necessidades atuais das empresas e fomentar a transformação digital (Sanchis et al., 2020). A problemática inicial surgiu da gestão fragmentada e ineficaz, e à variedade de pedidos, que chegavam através de múltiplos canais de comunicação como e-mails, chamadas telefónicas e interações diretas, causando ineficiências e falta de informação crítica.

A relevância deste trabalho é ainda mais evidenciada pela crescente procura por soluções digitais que podem lidar com a complexidade e a dinâmica de operações modernas, especialmente em contextos industriais. A necessidade de uma gestão eficiente torna-se evidente no laboratório de metrologia, onde erros ou atrasos podem ter repercussões sérias não apenas na qualidade do trabalho desenvolvido, mas também nos resultados. Os laboratórios de metrologia desempenham um papel crítico na garantia de que as medições e calibrações são realizadas de acordo com padrões rigorosos, e qualquer falha nos processos pode levar a conclusões erradas ou a produtos defeituosos.

Por conseguinte, a pertinência do projeto é fundamentada não só pela necessidade interna de eficiência, mas também pela sua contribuição para a segurança e a fiabilidade dos processos industriais e de produção que dependem dos serviços do laboratório. Além disso, a transição para um sistema digitalizado e centralizado é uma resposta adequada às tendências atuais de automação e inovação tecnológica. A implementação de uma solução *Low-Code* que centralize e padronize as comunicações e processos não é apenas uma melhoria operacional, mas também reduz o tempo de execução, diminui os custos e torna o desenvolvimento de software acessível a pessoas sem formação na área, conforme é referido pelos autores (Schenkenfelder et al., 2023).

A solução proposta será uma plataforma que centralizará as operações de laboratório, onde todas as solicitações serão registadas, processadas e monitorizadas de forma sistemática. Além de garantir a integridade da informação, a aplicação também facilitará a análise de desempenho e a alocação eficiente de recursos, contribuindo significativamente para a precisão e a rapidez das operações do laboratório.

O uso de tecnologias *Low-Code* apresenta diversas vantagens, como é apresentado por (Araújo & Varajão, 2023), para além da agilidade no desenvolvimento, da redução de custos e da possibilidade de indivíduos sem experiência em programação criarem soluções, estas plataformas destacam-se ainda pela significativa diminuição da necessidade de codificação manual e pela priorização da funcionalidade em detrimento dos detalhes técnicos.

Finalmente, o projeto alinha-se com as diretrizes estratégicas de inovação e melhoria contínua, essenciais para manter a competitividade e a relevância do laboratório de metrologia. Ao simplificar a comunicação e a gestão de processos, o laboratório poderá responder mais eficazmente às solicitações internas e externas, aumentando a sua capacidade de inovação e de resposta às necessidades emergentes.

1.2 Questão e objetivos de investigação

No âmbito do problema de investigação previamente identificado, surge a seguinte questão central: **De que forma a centralização digital dos processos pode melhorar a eficiência e a rastreabilidade num laboratório de metrologia?**

Para dar resposta a esta questão, foi estabelecido como objetivo geral o desenvolvimento de uma aplicação integrada que centralize as comunicações e processos do laboratório de metrologia. Esta aplicação deverá utilizar ferramentas *Low-Code*, proporcionando uma melhoria significativa na eficiência operacional e na qualidade dos serviços prestados.

Os objetivos principais que orientam a execução do objetivo geral são:

- Mapeamento do processo atual (AS IS) usando o BPMN;
- Recolha de Requisitos para a Aplicação:
 - Identificar e documentar as necessidades essenciais para o desenvolvimento da aplicação.
- Desenho da Solução:
 - Desenho do processo futuro (TO BE) usando o BPMN;
 - Criar um protótipo que cumpra com os objetivos principais da aplicação, assegurando a sua funcionalidade e eficiência.
- Implementação de uma Plataforma Unificadora:
 - Desenvolver uma plataforma integrada que centralize todos os canais de comunicação e solicitações de serviço.
 - Minimizar os riscos de erros e perda de informação crítica através de um sistema centralizado que facilite a gestão de pedidos e a comunicação interna.
 - Reduzir o tempo de resposta e aumentar a eficácia das interações dentro da organização.
- Avaliação do Impacto da Nova Aplicação:

- Conduzir uma análise comparativa das métricas de desempenho operacional antes e após a implementação da aplicação.
- Avaliar a eficácia da solução implementada e identificar áreas para melhoria contínua, garantindo que a aplicação contribui positivamente para a eficiência operacional do laboratório.

Os objetivos deste projeto visam modernizar e melhorar os processos do laboratório, melhorando a precisão e agilidade operacional para atender melhor aos pedidos internos e externos. Atingir esses objetivos não só elevará a eficiência do laboratório como também fortalecerá sua competitividade no mercado.

1.3 Opções metodológicas

Tendo em conta a natureza prática e organizacional do problema identificado, optou-se por uma abordagem metodológica de **investigação-ação**, particularmente adequada para contextos em que é necessário implementar mudanças concretas com o envolvimento direto dos utilizadores. Esta metodologia, assume-se como um processo colaborativo e participativo, orientado para a transformação da realidade e para a resolução de problemas concretos, envolvendo os investigadores como participantes ativos (Traqueia et al., 2019).

A Investigação-Ação desenvolve-se através de ciclos iterativos em espiral — que integram momentos de planificação, ação, observação e reflexão — permitindo um ajustamento contínuo das intervenções, em função das aprendizagens decorrentes da prática (Coutinho et al., 2009). Este processo dinâmico favorece a aproximação entre teoria e prática, possibilitando um constante realinhamento entre as soluções desenvolvidas e as necessidades emergentes dos participantes e do contexto em estudo (Traqueia et al., 2019).

Neste caso, a investigação envolveu de forma ativa os três principais intervenientes no processo:

- **Requerentes**, enquanto utilizadores operacionais que iniciam o processo;
- **Técnicos de metrologia**, responsáveis pela execução da medição e registo;
- **Gestor do laboratório**, responsável pela aprovação, planeamento, organização da equipa e melhoria dos recursos disponíveis.

A metodologia desenrolou-se em cinco fases principais:

1. Levantamento Inicial e Diagnóstico AS-IS

Foi realizado um mapa BPMN (modelo AS-IS), com observações diretas, entrevistas aos diferentes perfis de utilizador e análise de pedidos submetidos anteriormente. A utilização desta ferramenta permitiu representar de forma estruturada e padronizada o fluxo real do processo, evidenciando não só a sequência de atividades e os intervenientes envolvidos, mas também os pontos de decisão críticos e as interações entre sistemas. Esta etapa revelou-se essencial para compreender em detalhe o funcionamento informal e não documentado do processo existente, identificar as suas principais ineficiências — nomeadamente redundâncias, falhas de comunicação e ausência de critérios uniformes — e recolher, de forma sistematizada, os requisitos funcionais e não funcionais necessários ao desenvolvimento da aplicação. A modelação BPMN contribuiu ainda para

estabelecer uma linguagem comum entre os intervenientes, facilitando a validação do diagnóstico e o alinhamento de expectativas relativamente à futura solução digital.

2. Modelação da lógica de decisão técnica

Com base na experiência prática dos técnicos e do gestor do laboratório, foi construída uma estrutura de decisão que permite estimar automaticamente o tempo de execução de cada pedido, tendo em conta:

- O número de dimensões a medir;
- A necessidade de utilizar CMM (no caso de existir GD&T);
- A existência de programa de medição já disponível;
- A existência de estratégia de medição já criada

Cada critério foi associado a um incremento objetivo em dias de trabalho, permitindo a construção de uma fórmula clara e replicável para a estimativa de tempo.

3. Desenvolvimento da aplicação em *Power Apps*[®]

Os requisitos recolhidos serviram de base ao desenvolvimento de uma aplicação personalizada em *Microsoft Power Apps*[®] — uma plataforma Low-Code com integração nativa nas ferramentas Microsoft utilizadas pela organização (Excel, SharePoint, Outlook, Teams).

Esta tecnologia foi selecionada por:

- Permitir desenvolvimento rápido e iterativo;
- Ser facilmente escalável e adaptável a novas realidades;
- Integrar-se com outras ferramentas Office365 via Power Automate;
- Estar alinhada com o conhecimento e ferramentas já utilizadas internamente.

4. Validação e testes com os utilizadores

A primeira versão funcional da aplicação foi colocada à prova em ambiente real. Os três perfis de utilizador testaram a ferramenta com casos concretos, sendo recolhido feedback contínuo que permitiu ajustar campos, simplificar fluxos e corrigir incoerências. Esta fase foi essencial para garantir a aceitação e utilidade prática da solução.

5. Implementação do novo modelo digital (TO-BE)

O novo modelo foi formalizado com o apoio de um mapa BPMN (modelo TO-BE), de forma a formalizar e consolidar a estrutura operacional pretendida. Este novo mapa permitiu representar, de forma clara e padronizada, todas as interações previstas entre os intervenientes — desde a submissão do pedido até à sua execução e monitorização — incorporando as melhorias introduzidas pela aplicação. A elaboração do modelo TO-BE teve como principais objetivos garantir a uniformização dos procedimentos, clarificar os papéis e responsabilidades ao longo do fluxo de trabalho e facilitar a comunicação entre as diferentes áreas envolvidas. Adicionalmente, este exercício foi determinante para assegurar a conformidade do novo processo com os requisitos identificados, servindo ainda de base para a formação dos utilizadores. O mapa BPMN TO-BE assume, assim, um papel fundamental na transição para um modelo digital mais eficiente,

transparente e rastreável, contribuindo para a sustentabilidade e continuidade da melhoria do processo.

A aplicação passará funcionar como ponto único de entrada, acompanhamento e análise dos pedidos metrológicos, com ganhos evidentes em padronização, rastreabilidade e capacidade de planeamento.

1.4 Estrutura do documento

O presente documento está organizado em seis capítulos principais, cada um com um propósito específico na construção e fundamentação da solução proposta:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta o enquadramento do problema, a sua relevância no contexto organizacional, os objetivos e a questão de investigação, bem como a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto.
- **Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica:** Aborda os principais conceitos teóricos e tecnológicos associados à Indústria 4.0, à gestão de laboratórios de metrologia e às plataformas Low-Code, constituindo a base científica que sustenta a solução proposta.
- **Capítulo 3 – Problema Identificado e Abordagem Metodológica:** Descreve o diagnóstico do processo atual (AS-IS), os principais problemas identificados e a abordagem de intervenção, detalhando as diversas fases do projeto.
- **Capítulo 4 – Implementação da Aplicação:** Apresenta o desenvolvimento prático da solução digital, a estrutura da aplicação, as principais interfaces, a lógica de decisão e os fluxos de trabalho implementados com recurso ao Microsoft Power Apps®.
- **Capítulo 5 – Análise e Discussão de Resultados:** Analisa os impactos da aplicação implementada, discutindo os ganhos obtidos ao nível da padronização, rastreabilidade, redução de erros e aumento da eficiência operacional.
- **Capítulo 6 – Conclusões e Trabalhos Futuros:** Resume os principais contributos do projeto, reflete criticamente sobre os resultados alcançados, identifica limitações e apresenta propostas para desenvolvimentos futuros.

Esta estrutura tem como objetivo proporcionar uma leitura coerente e progressiva do trabalho desenvolvido, desde a identificação do problema até à proposta de melhorias sustentadas.

página propositadamente em branco

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para uma visão abrangente deste estudo, realizou-se uma revisão bibliográfica centrada em três eixos principais: a Indústria 4.0 e a transformação digital, a gestão de laboratórios de metrologia e o uso de tecnologias Low-Code. Esta abordagem permitiu contextualizar os desafios enfrentados pelos laboratórios técnicos e as soluções tecnológicas emergentes que têm vindo a ser adotadas para melhorar a sua eficiência e rastreabilidade.

Para a construção desta revisão bibliográfica, foram considerados artigos científicos, capítulos de livros e relatórios técnicos publicados entre 2016 e 2025, maioritariamente em inglês e português. A pesquisa foi realizada em bases de dados académicas como Scopus, ScienceDirect, SpringerLink e b-on. Os termos mais utilizados incluíram combinações como “Low-Code Development Platforms”, “Indústria 4.0 e Metrologia”, “Transformação Digital em Laboratórios”, “Power Apps em contexto industrial” e “Digitalização de processos técnicos”. Foram privilegiadas fontes com aplicação prática, casos de estudo ou relevância para contextos industriais semelhantes ao objetivo desta dissertação.

Num primeiro momento, será analisado o conceito de Indústria 4.0, destacando-se o papel da digitalização, da integração de sistemas ciber-físicos e da IoT na criação de processos mais inteligentes e sustentáveis. Em paralelo, serão exploradas as práticas modernas de gestão de laboratórios de metrologia, com destaque para a importância da digitalização e automação dos fluxos de trabalho, da conformidade normativa e da rastreabilidade de medições.

Por fim, foram investigadas as potencialidades das plataformas de desenvolvimento Low-Code, com foco no Microsoft Power Apps®, evidenciando-se a sua aplicabilidade na digitalização de processos técnicos em contextos industriais. Esta análise permitiu identificar não só as vantagens da adoção destas ferramentas, como também as suas limitações, reforçando a pertinência da solução proposta nesta dissertação.

2.1 A Indústria 4.0 e a Transformação digital

Para compreender o papel das tecnologias digitais na modernização de processos empresariais e laboratoriais, é fundamental começar pelo conceito estruturante da Indústria 4.0. Esta nova era industrial, marcada pela convergência entre tecnologias emergentes e sistemas produtivos, estabelece o enquadramento em que a digitalização e automação se tornam pilares estratégicos (Strazzullo et al., 2024).

A Indústria 4.0, conceito introduzido oficialmente na Feira de Hannover em 2011 (Majocco et al., 2024), representa a quarta revolução industrial, impulsionada pela digitalização dos processos produtivos através de tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), robótica avançada, computação em nuvem e sistemas ciber-físicos (CPS) (Majocco et al., 2024). Esta nova fase da industrialização visa criar sistemas de produção inteligentes, interconectados e autónomos, capazes de melhorar recursos, reduzir custos e melhorar a qualidade dos produtos e serviços (A. Shaji, 2024; Majocco et al., 2024).

Segundo (Qiu et al., 2025), a integração da IoT com a IoT Industrial (IIoT) é central na arquitetura da Indústria 4.0, pois permite conectar dispositivos físicos e sistemas de informação num ecossistema ciber-físico em tempo real. Enquanto a IoT tradicional é voltada ao consumidor final, a IIoT é orientada à indústria, com ênfase em fiabilidade, segurança e controlo operacional contínuo. Estes sistemas permitem monitorizar, diagnosticar e até prever falhas em equipamentos industriais, promovendo a automação inteligente e a eficiência operacional (Qiu et al., 2025).

Os sistemas ciber-físicos (CPS) representam a espinha dorsal da Indústria 4.0, integrando computação, comunicação e controlo em tempo real com os processos físicos (Qiu et al., 2025). Estes sistemas utilizam sensores, atuadores e inteligência computacional para tomar decisões autónomas com base em dados recolhidos continuamente, permitindo a automação de tarefas complexas anteriormente dependentes de supervisão humana direta (Qiu et al., 2025; You & Feng, 2020). De acordo com (Strazzullo et al., 2024), os CPSs também desempenham um papel fundamental na criação de cadeias de valor sustentáveis, permitindo uma gestão mais eficiente de recursos.

Outro componente crítico da Indústria 4.0 é a integração entre Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia Operacional (TO), que possibilita a fusão entre o mundo digital e o físico (Javaid et al., 2023). Esta convergência é essencial para o funcionamento dos sistemas de automação e controlo industrial, que garantem a supervisão e controlo remoto dos processos industriais, (Qiu et al., 2025) destacam que esta arquitetura promove não apenas a digitalização, mas também a inteligência e adaptabilidade das operações industriais.

Do ponto de vista estratégico, a digitalização não ocorre sem riscos. A adoção de tecnologias da Indústria 4.0 está frequentemente associada a elevados níveis de incerteza, especialmente nos seus estágios iniciais (Majocco et al., 2024). O estudo de (Majocco et al., 2024) analisou 578 anúncios de projetos de inovação digital realizados por empresas alemãs e americanas entre 2011 e 2016, revelando que, ao contrário do senso comum, estes anúncios tiveram um impacto negativo médio no valor de mercado das empresas (-0,23%). Isto demonstra que o mercado não reconhece automaticamente estas inovações como geradoras de valor, sobretudo quando ainda estão em fase inicial (Majocco et al., 2024).

Além da eficiência operacional, um aspeto cada vez mais central da Indústria 4.0 é o seu potencial de promover a sustentabilidade (Strazzullo et al., 2024). Segundo (Strazzullo et al., 2024), as tecnologias associadas à Indústria 4.0 podem ser aproveitadas para transformar cadeias de valor em sistemas mais sustentáveis. Através de sensores inteligentes, *Big Data* e aprendizagem automática, as empresas conseguem controlar e reduzir o consumo de energia, minimizar o desperdício e melhorar a rastreabilidade dos materiais ao longo do ciclo de vida dos produtos (Strazzullo et al., 2024).

O conceito de “valor sustentável” é ampliado pela aplicação da Indústria 4.0 em sectores como o alimentar (Bisht et al., 2025). (Bisht et al., 2025) analisam o impacto da transformação digital na qualidade dos alimentos, propondo o conceito de “Qualidade 4.0”. Com o uso de sensores e gémeos digitais (*digital twins*), é possível garantir maior segurança, rastreabilidade e transparência na cadeia alimentar (Bisht et al., 2025). Isto não apenas melhora o controlo de

qualidade, mas também contribui para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que se refere ao consumo e produção responsáveis (Bisht et al., 2025).

Em suma, a Indústria 4.0 não é apenas uma mudança tecnológica, mas uma transformação sistêmica que afeta modelos de negócio, cadeias de abastecimento e padrões de consumo. Como destacam (Strazzullo et al., 2024), esta revolução digital cria oportunidades sem precedentes para redesenhar os processos industriais de maneira mais sustentável, transparente e resiliente. No entanto, os estudos de (Majocco et al., 2024) alertam para o planejamento estratégico, visto que a adoção prematura ou mal estruturada de inovações digitais pode gerar mais riscos do que benefícios no curto prazo.

Ao redefinir as bases da produção e gestão industrial, a Indústria 4.0 coloca novos desafios à forma como os processos críticos são conduzidos — como é o caso das medições em laboratórios.

2.2 Gestão de Laboratório de Metrologia

No contexto da Indústria 4.0, os laboratórios de metrologia enfrentam exigências crescentes em termos de precisão, conformidade e rastreabilidade (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). Serão analisadas as práticas e normas que regulam a gestão metrológica, destacando os desafios operacionais e a crescente necessidade de soluções digitais para manter elevados padrões de qualidade.

No âmbito da gestão de um laboratório de metrologia, os autores (Oppermann et al., 2022) destacam a implementação de uma infraestrutura de qualidade metrologia integrada e digitalizada, utilizando a plataforma AnGeWaNt¹ para facilitar a gestão eficiente dos fluxos de trabalho laboratoriais. A gestão do laboratório de metrologia é exemplificada através da integração de um fluxo de trabalho de um laboratório de vácuo, demonstrando o uso de uma arquitetura de serviços distribuídos e interfaces de aplicação RESTful² harmonizadas, que permitem uma rápida integração e automação dos processos laboratoriais (Oppermann et al., 2022).

Especificamente, a seção 2.3 desse mesmo artigo (Oppermann et al., 2022) detalha como a plataforma AnGeWaNt facilita a automatização completa do processo de calibração, desde a aceitação da ordem até à medição e ao envio da resposta, pensado integralmente desde o início. Esta automatização é crucial para a gestão eficaz do aumento do número de calibrações realizadas pelo laboratório, refletindo um crescimento significativo ao longo da última década.

A implementação de Certificados de Calibração Digitais (DCC) também é mencionada como um avanço importante para digitalizar os procedimentos que tradicionalmente resultavam em certificados baseados em papel. Este avanço não só melhora a precisão e eficiência do processo

¹ AnGeWaNt é um projeto de pesquisa conjunto que envolve seis representantes da indústria de pesagem, da indústria da construção e do meio acadêmico. (Oppermann et al., 2022)

² REST é independente de linguagem e funciona além das linguagens de programação. (Oppermann et al., 2022)

de calibração como também reduz significativamente a possibilidade de erros na transcrição manual de dados de calibração (Na et al., 2008; Oppermann et al., 2022).

Portanto, a gestão de laboratório de metrologia, conforme apresentada no artigo (Oppermann et al., 2022), ilustra a transição para práticas digitais que potencializam a eficiência, a precisão e a segurança, fundamentais para manter a confiança e a integridade em medições e calibrações num contexto de metrologia legal.

Num mundo onde a precisão e a exatidão são fundamentais em diversas áreas, desde a indústria farmacêutica até à engenharia aeroespacial, a gestão eficaz de um laboratório de metrologia assume um papel crucial (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). Segundo os autores (Miguel & Pereira Da Silva, 2016), a metrologia, a ciência das medições, requer não apenas um rigoroso cumprimento dos padrões técnicos e qualidade, mas também uma infraestrutura bem mantida e uma equipa altamente qualificada e constantemente atualizada nas mais recentes práticas e tecnologias. No caso da Frilabo (Miguel & Pereira Da Silva, 2016), esta gestão é orientada pela norma NP EN ISO/IEC 17025, que estabelece as diretrizes para a realização de ensaios e calibrações, garantindo que o laboratório não só atende às exigências regulatórias como também oferece serviços confiáveis e de alta qualidade aos seus clientes.

Segundo o mesmo artigo (Miguel & Pereira Da Silva, 2016) e tal como é possível observar na Figura 1 existe diferentes áreas de atuação das áreas de metrologia:

- A Metrologia Científica é responsável pela definição e realização física das unidades de medida e das constantes físicas essenciais. Este ramo da metrologia mantém e desenvolve padrões e instrumentação em laboratórios especializados, conhecidos como Laboratórios Primários. Estes laboratórios são encarregues de atualizar as unidades do Sistema Internacional de Unidades (SI) no país, seguindo as recomendações internacionais. A Metrologia Científica é única em sua independência de rastreabilidade em relação a outras entidades (Miguel & Pereira Da Silva, 2016).
- A Metrologia Legal abrange o controlo metrológico em áreas que são reguladas por lei, incluindo as medições, as unidades de medida, e os instrumentos e métodos de medição que são estabelecidos por organismos e entidades reguladoras. Este tipo de metrologia tem como objetivo principal a proteção tanto do consumidor, garantindo a precisão nas transações comerciais, quanto do vendedor, assegurando a correção dos instrumentos de medição utilizados (Miguel & Pereira Da Silva, 2016).
- A Metrologia Industrial foca-se no apoio ao controlo de processos e produtos dentro das empresas. Esta área da metrologia integra os recursos metrológicos disponíveis tanto em ambientes industriais quanto em laboratórios e outras instituições, visando aprimorar a qualidade e a eficiência dos processos de produção através da precisão metrológica (Miguel & Pereira Da Silva, 2016).

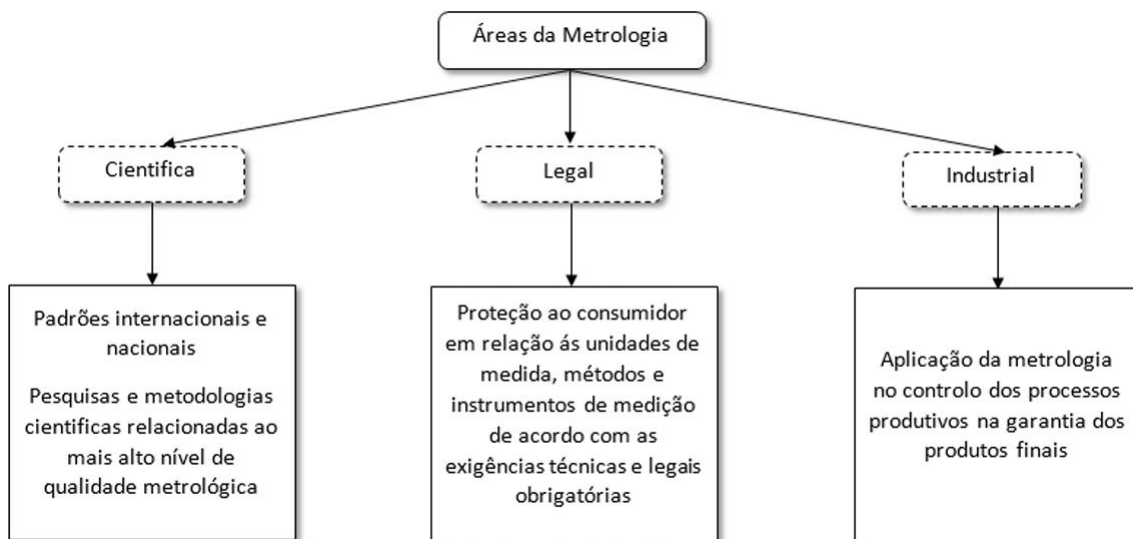


Figura 1- Áreas da Metrologia
retirado de (Miguel & Pereira Da Silva, 2016)

A acreditação é o primeiro passo no processo de validação da competência técnica do laboratório. Este processo não só demonstra o cumprimento com padrões internacionalmente reconhecidos, como também assegura aos clientes que as medições e resultados obtidos são precisos e confiáveis. A acreditação envolve uma avaliação detalhada dos métodos de ensaio e calibração utilizados pelo laboratório, garantindo que sejam adequados para os testes realizados e que estes sejam executados corretamente. A confiança gerada por este rigoroso processo de acreditação é essencial para os clientes que dependem dos dados fornecidos pelo laboratório para tomar decisões críticas (Miguel & Pereira Da Silva, 2016; Panagiotidou et al., 2024).

Além da conformidade com os padrões de acreditação, a gestão eficaz de um laboratório de metrologia também passa por uma manutenção rigorosa e calibração regular de todos os equipamentos. No laboratório da Frilabo (Miguel & Pereira Da Silva, 2016), cada peça de equipamento utilizada em ensaios e calibrações é sistematicamente verificada e calibrada, seguindo os padrões internacionais que asseguram sua precisão e funcionamento adequado. Esta prática não só mantém a conformidade com os padrões de acreditação, mas também garante que os resultados das medições sejam consistentemente confiáveis e precisos (Miguel & Pereira Da Silva, 2016; Panagiotidou et al., 2024).

Por fim, o elemento humano na gestão de um laboratório de metrologia não pode ser subestimado. A Frilabo (Miguel & Pereira Da Silva, 2016) investe significativamente na formação e desenvolvimento contínuo do seu pessoal, assegurando que todos os técnicos, cientistas e gestores possuam as competências necessárias para operar dentro dos padrões exigidos pela acreditação. A formação regular e a atualização em novas tecnologias e métodos são fundamentais para manter a equipa capaz de enfrentar os desafios emergentes no campo da metrologia.

Em conclusão, a gestão de um laboratório de metrologia como o da Frilabo é um equilíbrio delicado entre cumprir rigorosamente com os padrões de acreditação, manter os equipamentos em condições ótimas e investir no capital humano (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). Esta abordagem integrada é o que permite ao laboratório não apenas atender, mas superar as expectativas dos clientes, fornecendo serviços que são fundamentais para a precisão e confiabilidade em diversas aplicações científicas e industriais (Miguel & Pereira Da Silva, 2016).

A gestão eficaz de um laboratório de metrologia, conforme descrito por (Oppermann et al., 2022), ilustra a importância de práticas digitais que não só aumentam a eficiência operacional, mas também garantem a precisão e a segurança dos processos. Este compromisso com a qualidade e a integridade é essencial para manter a confiança nas medições e calibrações, fundamentais em um contexto de metrologia legal (Andrew Olu-lawal et al., 2024). Com a constante evolução das tecnologias e metodologias, os laboratórios de metrologia estão bem posicionados para enfrentar os desafios futuros e continuar a fornecer serviços essenciais para diversas aplicações científicas e industriais. A complexidade da gestão metrológica e a pressão por maior eficiência tornam evidente a urgência em adotar tecnologias digitais (Andrew Olu-lawal et al., 2024; Oppermann et al., 2022).

2.2.1 Impacto da Digitalização em Laboratórios de metrologia

Tendo em conta necessidades previamente identificadas na gestão de laboratórios, irá se aprofundar a forma como a digitalização está a ser concretizada. Serão analisadas tecnologias como a arquitetura OPC UA, que viabilizam a integração de dados de medição nos sistemas produtivos e promovem uma metrologia mais ágil, segura e interligada (Sousa et al., 2022).

A gestão eficaz de um laboratório de metrologia na era da Indústria 4.0 requer a implementação de tecnologias que permitam a integração e automação completas dos processos de medição dentro das infraestruturas de produção (Sousa et al., 2022). Os autores (Sousa et al., 2022) abordam o impacto significativo da digitalização nos laboratórios de metrologia, destacando como as tecnologias digitais podem transformar a forma como as medições são realizadas, geridas e integradas dentro dos sistemas de produção industrial. A digitalização dos laboratórios de metrologia envolve a utilização de interfaces e padrões digitais para a recolha, análise e comunicação de dados de medição (Barbosa et al., 2022; Sousa et al., 2022). No artigo, os autores (Sousa et al., 2022) enfatizam o uso da arquitetura OPC UA³ (Open Platform Communications Unified Architecture), que facilita a comunicação padronizada entre dispositivos de metrologia e outros sistemas operacionais na manufatura. Este protocolo permite a integração vertical e horizontal dos dados de medição, desde o chão de fábrica até os sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERP) (Sousa et al., 2022).

Segundo o mesmo artigo (Sousa et al., 2022), a adoção de tecnologias digitais em laboratórios de metrologia contribui significativamente para a melhoria da qualidade e a redução de defeitos

³ OPC-Unified Architecture (OPC-UA) é um padrão de comunicação independente de fabricante e plataforma para comunicação industrial. (Sousa et al., 2022)

nos processos de produção. A digitalização permite a implementação de controlo de qualidade em tempo real, onde os dados de medição são utilizados imediatamente para ajustar os processos, minimizar variações e evitar a produção de peças defeituosas (Barbosa et al., 2022). Esta abordagem está alinhada com os princípios da Manufatura de Defeito Zero (Zero-Defect Manufacturing - ZDM), que visa eliminar defeitos e desperdícios nos processos de produção (Barbosa et al., 2022; Sousa et al., 2022).

Os laboratórios de metrologia digitalizados podem responder de maneira mais flexível e adaptativa às mudanças nas condições de produção e nos requisitos do produto (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). Com a integração de dados de metrologia em tempo real, as empresas podem implementar estratégias de produção adaptativas, ajustando os parâmetros de produção dinamicamente com base nos dados recolhidos (Mahfoud et al., 2024). Isso é particularmente importante em ambientes industriais personalizados e de alta variedade, onde a capacidade de se adaptar rapidamente a diferentes especificações de produtos é crucial (Mahfoud et al., 2024; Sousa et al., 2022).

A digitalização também promove a intercomunicação entre diferentes equipamentos e sistemas através da padronização dos formatos de dados e das interfaces de comunicação. Isso facilita a integração de sistemas e dispositivos de diferentes fornecedores e a cooperação entre diferentes unidades de produção, melhorando a eficiência operacional e reduzindo os custos associados à integração de sistemas (Sousa et al., 2022).

Em resumo, a digitalização dos laboratórios de metrologia transforma a maneira como as medições são utilizadas na indústria, promovendo melhorias na qualidade, eficiência e flexibilidade dos processos de produção. A adoção de padrões abertos e de interfaces digitais, como a OPC UA, não apenas melhora a gestão dos dados de metrologia, mas também integra esses dados de forma mais eficaz no ecossistema mais amplo de manufatura inteligente e conectada (Barbosa et al., 2022; Sousa et al., 2022).

A digitalização dos laboratórios evidencia um cenário de elevada complexidade técnica, que exige soluções acessíveis e adaptáveis (Sousa et al., 2022). Neste contexto, torna-se pertinente analisar as tecnologias de desenvolvimento Low-Code, que se apresentam como facilitadoras dessa transição.

2.3 Tecnologias Low-Code

Tendo em conta a necessidade de soluções rápidas, económicas e flexíveis, as plataformas Low-Code emergem como uma resposta estratégica à transformação digital. Irá se introduzir os princípios, características e benefícios desta abordagem, que permite desenvolver aplicações mesmo sem competências avançadas de programação (Martinez & Pfister, 2023).

O desenvolvimento *Low-Code* é uma tecnologia que permite a pessoas sem habilidades avançadas em computação ou programação criar aplicações personalizadas e soluções digitais para atender necessidades operacionais específicas (Martinez & Pfister, 2023). Segundo os mesmos autores, nos últimos anos, o *Low-Code* ganhou impulso considerável, e alguns estudos já destacaram a utilização desta tecnologia para digitalizar fluxos de trabalho e processos em

diversos cenários de negócios. As práticas de desenvolvimento de aplicações *Low-Code* têm o potencial de habilitar diferentes graus de digitalização e inovação em processos específicos (Hassan, 2025; Martinez & Pfister, 2023). O estudo dos (Martinez & Pfister, 2023) também reconhece a importância de adotar uma abordagem estratégica para aproveitar totalmente o *Low-Code* em nível organizacional nas empresas de construção e identifica várias áreas para pesquisa futura. Isso inclui explorar sinergias com temas relevantes para a indústria, como construção simplificada, Internet das Coisas (*IoT*) e Indústria 4.0, entre outros.

O surgimento de tecnologias de *Low-Code* está a transformar a forma como as empresas de vários setores, lidam com o desenvolvimento de *software* e a automação de processos. A partir da análise dos autores (Martinez & Pfister, 2023), podemos inferir diversas questões acerca da utilização e do potencial impacto das tecnologias de *Low-Code*:

- Democratização da Produção de *Software*: O *Low-Code* possibilita que pessoas sem conhecimento avançado em programação possam desenvolver aplicações personalizadas, diminuindo a barreira para a criação de soluções digitais. Isso torna a tecnologia mais acessível, permitindo que mais colaboradores contribuam para a inovação nas empresas (Martinez & Pfister, 2023).
- Digitalização de Processos: O uso de plataformas de *Low-Code* para a digitalização de fluxos de trabalho e processos em vários contextos empresariais tem se tornado cada vez mais proeminente, conforme evidenciado nos estudos de (Martinez & Pfister, 2023). A habilidade de ajustar rapidamente as ferramentas digitais às necessidades operacionais específicas possibilita uma reação mais rápida às alterações do mercado e às necessidades internas (Martinez & Pfister, 2023).
- Pesquisas Futuras: Existe uma clara evidência de que ainda existem muitos campos inexplorados no uso de tecnologias de *Low-Code*. O estudo futuro pode investigar como o *Low-Code* pode ser usado para aprimorar a colaboração e a administração de dados em grandes projetos, que muitas vezes envolvem diversos *stakeholders* (Martinez & Pfister, 2023).

Segundo os autores (Sanchis et al., 2020), a maioria dos profissionais usa *Low-Code* para acelerar a transformação digital e aumentar a resposta às necessidades de negócio, enquanto muitos valorizam a redução na dependência de habilidades técnicas especializadas, tal como é possível observar na Figura 2.

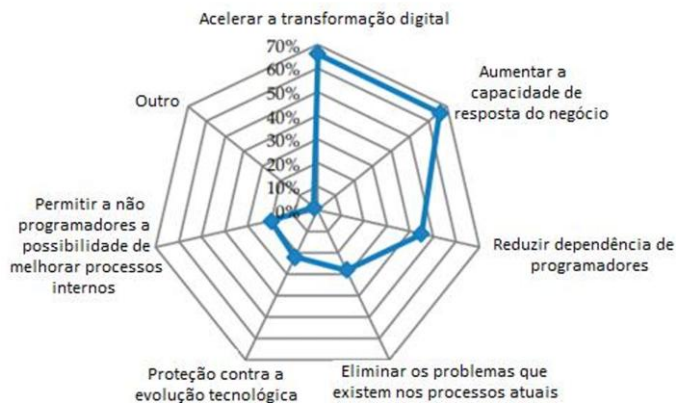


Figura 2 - Resultados de um questionário a 3300 profissionais sobre as vantagens das plataformas Low-Code
Adaptado de (Sanchis et al., 2020)

2.3.1 Diversidade de tecnologias Low-Code

As plataformas de desenvolvimento de *Low-Code* disponibilizam ferramentas tecnológicas que simplificam e automatizam o desenvolvimento de *software*, atendendo às necessidades atuais das organizações e impulsionam a transformação digital. Isso possibilita que as empresas criem aplicações sem a necessidade de engenharia complexa e simplifiquem sua configuração, obtendo rapidez e eficiência. Para além disso, essas plataformas proporcionam uma maneira mais econômica de atender às necessidades do mercado interno e/ou necessidades corporativas (Sá et al., 2024). Segundo os autores (Sá et al., 2024) este modelo de desenvolvimento está em ascensão, unindo código a interfaces gráficas interativas, possibilitando a criação e implementação de uma aplicação de maneira ágil. Normalmente, as plataformas de *Low-Code* apoiam-se numa interface gráfica onde o utilizador só precisa definir a aparência e a funcionalidade da aplicação, sem a necessidade de utilizar métodos de programação convencionais. Isso evita o desenvolvimento de sintaxe de código e soluciona questões de implementação (Elshan et al., 2023). As estratégias de criação de *Low-Code* surgem da fusão de linguagens de programação de 4ª geração com princípios de desenvolvimento ágil de aplicações (Elshan et al., 2023; Sá et al., 2024).

Segundo os mesmos autores (Sá et al., 2024) a tecnologia *Low-Code* é utilizada em vários setores, incluindo na indústria, a gestão de relacionamento com clientes, recursos humanos, gestão de projetos e contabilidade. Os autores referem que alguns dos principais sistemas *Low-Code* incluem *OutSystems*®, *Microsoft Power Apps*®, *Mendix*®, *Salesforce*®, *Appian*®, *Zoho Creator*®, entre outros (Figura 3).



Figura 3 - Principais sistemas Low-Code

Segundo os autores (Sá et al., 2024) essas plataformas proporcionam ambientes de desenvolvimento visuais que possibilitam às empresas criar *softwares* rapidamente com um mínimo de programação, diminuindo a exigência de experiência extensa em programação dos usuários. As plataformas oferecem código fundamental, possibilitando que as empresas desenvolvam protótipos, construam ou ampliem aplicações sem a necessidade de criar infraestruturas complexas (Elshan et al., 2023). Tanto programadores quanto não programadores podem se beneficiar destas ferramentas para desenvolver aplicações ágeis com fluxos de trabalho e funcionalidades customizadas (Elshan et al., 2023; Sá et al., 2024).

Há uma variedade de ferramentas e plataformas disponíveis no mercado, proporcionando uma ampla gama de escolhas para as empresas interessadas. Aqueles que já aplicaram ou pretendem aplicar uma estratégia de *Low-Code* ou sem código no futuro imediato foram questionados sobre quais ferramentas já usaram, testaram e avaliaram (Pang et al., 2024).

De forma a entender as diferenças entre soluções de programação mais convencionais e soluções *Low-Code* foi realizado um estudo comparativo (Pang et al., 2024) conforme é possível observar na Tabela 1. Destacando-se as seguintes vantagens em escolher *Low-Code*:

- Redução dos custos de desenvolvimento: além de reduzir os custos devido à redução do tempo de codificação, a solução *Low-Code* requer muito menos engenheiros altamente qualificados e experientes (Pang et al., 2024).
- Melhoria na comunicação: os fluxogramas de controlo criados não são somente programas executáveis, mas também documentos autoexplicativos, o que pode prevenir equívocos desnecessários e aprimorar a clareza da comunicação (Pang et al., 2024).

Tabela 1 - PRO-CODE V.S. LOW-CODE
adaptado de (Pang et al., 2024)

		Solução <i>Pro-Code</i>	Solução <i>Low-Code</i>
Tempo de Entrega (Dias)		90	48
Desenvolvimento	Tempo (Dias)	25	15
	Número de Pessoal	7	4
	Qualificações do Pessoal	Engenheiro Eletrotécnico: +3 anos de experiência: 5 Eng. Software: +2 anos de experiência: 1	Eng. Comissionamento: +3 anos de experiência: 1 <1 ano de experiência: 3
Comissionamento	Tempo (Dias)	60	33
	Número de Pessoal	5	3
	Qualificações do Pessoal	Engenheiro Eletrotécnico: +3 anos de experiência: 2 Eng. Comissionamento: <1 ano de experiência: 1	Eng. Comissionamento: +2 anos de experiência: 1 <1 ano de experiência: 2
No. de Equipas Envolvidas		3	1
Comunicação entre Equipas (Dias)		5	0
Quantidade de Código (Linhas)		30.000	200
Custos com Pessoal		¥115.000	¥40.250

As plataformas Low-Code, como destacado por (Sá et al., 2024) fornecem um ambiente onde o código fonte é integrado com interfaces gráficas interativas, facilitando assim o desenvolvimento de aplicações de uma forma visual e intuitiva. Isso reduz drasticamente a curva de aprendizagem e a complexidade associada ao desenvolvimento de *software*, tornando a tecnologia acessível a uma gama mais ampla de profissionais dentro de uma organização (Elshan et al., 2023). Além disso, essas plataformas suportam a digitalização de fluxos de trabalho e processos em vários cenários de negócios, desde a gestão de relacionamento com clientes até à gestão de projetos e contabilidade (Elshan et al., 2023; Sá et al., 2024)

A adoção de ferramentas *Low-Code* nas empresas está em ascensão, conforme indicado por (Sá et al., 2024) e (Beranič et al., 2020) Essas ferramentas estão a ser utilizadas para facilitar diferentes graus de digitalização e inovação, especialmente em processos específicos que beneficiam de automação e eficiência melhorada. Além disso, a pesquisa futura sugerida por esses estudos destaca a necessidade de explorar ainda mais as sinergias entre *Low-Code* e tecnologias emergentes como *IoT* e Indústria 4.0, o que poderia abrir novas oportunidades para a integração de sistemas e melhoria de processos (Sá et al., 2024).

A aplicabilidade do Low-Code não se limita à teoria — diversos setores industriais já começaram a explorar estas ferramentas (Neumann et al., 2022).

2.4 Aplicações de *Low-Code* em Contextos Industriais

Após entender o potencial do *Low-Code*, é essencial observar como estas plataformas estão a ser aplicadas na prática. Irá ser analisado a sua adoção em ambientes industriais, onde a velocidade de resposta e a redução de custos são fundamentais para a competitividade.

Os avanços tecnológicos associados à Indústria 4.0 têm imposto uma pressão crescente sobre os profissionais envolvidos com sistemas automatizados, especialmente na área de desenvolvimento de *software* para sistemas mecânicos (Neumann et al., 2022). Esta pressão surge da necessidade de integrar conhecimento especializado do domínio com competências avançadas de programação, de modo a garantir a criação de *software* que não só seja de alta qualidade, mas também sustentável e de fácil manutenção. Este cenário revela-se particularmente desafiador para pequenas e médias empresas do setor de automação e robótica, que muitas vezes não dispõem de departamentos de engenharia de *software* dedicados, conforme referido por (Neumann et al., 2022).

A Indústria 5.0 surge em resposta a essas exigências, promovendo a integração entre humanos e sistemas avançados de produção e impulsionando a adoção de plataformas de desenvolvimento de *Low-Code* (Neumann et al., 2022; Rijwani et al., 2024). Estas plataformas são particularmente úteis para profissionais não programadores, pois permitem o desenvolvimento de soluções por meio de linguagens de programação visual, facilitando tarefas como a adaptação de máquinas móveis (Neumann et al., 2022). Por exemplo, estas plataformas permitem que especialistas em hidráulica, sem uma formação profunda em programação, desenvolvam e ajustem o *software* para controlo de componentes hidráulicos de forma intuitiva e visual (Neumann et al., 2022).

Contudo, à medida que as funcionalidades das plataformas se expandem, a complexidade dos programas visuais aumenta, o que pode tornar a gestão desses sistemas um desafio, especialmente em termos de escalabilidade, conforme referido por (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). A pressão para reduzir o tempo de colocação de produtos no mercado eleva ainda mais esses desafios, impondo uma carga significativa sobre os desenvolvedores (Miguel & Pereira Da Silva, 2016).

Atualmente, as empresas precisam responder de maneira rápida e resiliente às mudanças nas exigências do mercado (Miguel & Pereira Da Silva, 2016). Nesse contexto, as plataformas de desenvolvimento de *Low-Code* fornecem mecanismos tecnológicos que facilitam e automatizam a criação de aplicações de *software* para apoiar as necessidades atuais das empresas e promover a transformação digital conforme mencionado por (Sanchis et al., 2020).

Também com base nesse mesmo estudo (Sanchis et al., 2020), os especialistas preveem que as plataformas de *Low-Code* poderão ser fundamentais para operar de maneira eficaz e manter a competitividade no mercado. A literatura menciona diversos casos de empresas que enfrentaram riscos para a continuidade de suas operações por não possuírem a resiliência necessária e não se adaptarem prontamente à nova era tecnológica impulsionada pela Indústria 4.0 (Sanchis et al., 2020). As organizações precisam criar soluções digitais com maior rapidez do que seus concorrentes, e as ferramentas de automação no desenvolvimento de *software*, como

as plataformas de desenvolvimento de *Low-Code*, podem ser a resposta para essas novas procuras digitais das organizações (Elshan et al., 2023). Essas plataformas proporcionam um meio de acelerar a criação de aplicações, possibilitando às empresas reagir rapidamente às alterações de mercado e identificar oportunidades de inovação de maneira mais ágil (Elshan et al., 2023). Neste contexto, a conexão entre as plataformas de desenvolvimento de *Low-Code* e os dispositivos *IoT* é crucial para estudos futuros, com o objetivo de fortalecer a Indústria 4.0. Isso requer novas abordagens focadas na pesquisa de *Low-Code* para a criação de aplicações que simplifiquem a comunicação e aprimorem equipamentos e produtos inteligentes e interligados ao longo de toda a cadeia de valor (Elshan et al., 2023; Sanchis et al., 2020).

Dentre as várias plataformas existentes, o *Microsoft Power Apps*® destaca-se pela sua integração com ferramentas amplamente utilizadas (Beranič et al., 2020).

2.4.1 Tecnologia *Microsoft Power Apps*®

O *Microsoft Power Apps*® representa uma aplicação concreta da abordagem *Low-Code*, com forte presença no meio empresarial. Irá ser explorado as suas funcionalidades, vantagens e limitações, com base em estudos de caso e experiências práticas, incluindo o uso académico e organizacional.

O *Microsoft Power Apps*® é um recurso visual online que disponibiliza um conjunto de ferramentas que permitem criar aplicações online com múltiplas interfaces compostas por ecrãs interativos para manipulação de dados (Rajaram et al., 2022). Possibilita a ligação a diversas fontes de dados, incluindo ficheiros alojados na *cloud*, como folhas de cálculo do *Microsoft Excel* ou listas do *SharePoint* associadas a um site (*SharePoint*). Além disso, permite integrar diretamente os dados provenientes das aplicações *Power Apps*® no ambiente do *Microsoft Teams*.

O *Power Apps* foi utilizado como parte de um trabalho prático no programa de mestrado em Tecnologias de Informática e Comunicação na Universidade de Maribor (Beranič et al., 2020). No estudo optou-se pelo *Microsoft Power Apps*®, visto que este está incluído no pacote *Microsoft Office 365*® usado pela universidade. Nesse mesmo estudo (Beranič et al., 2020) a tarefa dos estudantes consistia em desenvolver uma aplicação simples para se familiarizarem com a ferramenta de desenvolvimento de *Low-Code* ou sem código. Baseado nas respostas dos estudantes e na nossa experiência prática com a aplicação exemplo, as principais vantagens do uso do *Power Apps*® podem ser resumidas como:

- Interface intuitiva e fácil de utilizar.
- Criação automática de ecrãs.
- Implementação rápida de aplicações simples.
- Integração simples com uma base de dados.
- Teste imediato da aplicação após cada alteração.

Os estudantes destacaram que a abordagem é adequada para ser utilizada como um produto minimamente viável para aplicações de nível superior. Segundo (Beranič et al., 2020) as principais desvantagens do uso do *Microsoft Power Apps*® podem ser resumidas como:

- Funcionamento pouco fiável e problemas comuns na conexão com tabelas do Excel.
- Desempenho mais fraco.
- Dificuldade em adicionar itens que não estão na tabela do Excel.
- Erros desconhecidos que desaparecem após reiniciar a aplicação.
- Documentação oficial insuficiente.
- Adoção limitada da ferramenta, resultando em menos suporte disponível na internet.
- Falta de opção de guardar automaticamente o trabalho, resultando em perda de trabalho.

Em suma, enquanto o *Microsoft Power Apps*® se destaca como uma ferramenta poderosa para o desenvolvimento rápido e intuitivo de aplicações, ele também apresenta desafios que podem limitar seu potencial em cenários mais complexos ou críticos. A experiência na Universidade de Maribor (Beranič et al., 2020) ressalta tanto o potencial educacional da ferramenta como as limitações práticas que devem ser abordadas para melhorar sua utilização no futuro. *Power Apps*® permite uma personalização que adapta processos inovadores às necessidades específicas das empresas, exemplificando sua aplicabilidade em diversos contextos, de logística a serviços de saúde (Rajaram et al., 2022). A habilidade de personalizar aplicações que não apenas simplificam, mas inovam operações é um dos principais atrativos do *Power Apps*®, conforme evidenciado em estudos que destacam sua flexibilidade e capacidade de integração (Sá et al., 2024).

A análise do *Power Apps*® evidencia o seu potencial como ferramenta facilitadora da transformação digital. Para compreender o que o futuro reserva a estas plataformas, é necessário olhar para as tendências e desafios emergentes.

2.5 Futuro das Tecnologias *Low-Code* em Gestão Industrial

Com base nas aplicações atuais e nas necessidades identificadas, irá ser explorado o futuro das plataformas *Low-Code* em ambientes industriais. São discutidos temas como interoperabilidade, dependência de fornecedores e evolução das plataformas em resposta à crescente complexidade dos processos empresariais.

As futuras plataformas de desenvolvimento de *Low-Code* (*LCDP- Low-Code Development Platform*) (Bies et al., 2022) precisam de encontrar um equilíbrio entre facilitar o uso para os desenvolvedores comuns e manter as funcionalidades necessárias para atrair engenheiros de *software* qualificados. Caso contrário, os engenheiros podem encontrar-se incapazes de utilizar estas plataformas devido à falta de componentes essenciais de *software* (Bies et al., 2022). A migração de dados ou aplicações específicas de uma plataforma para outra não é uma opção viável. O bloqueio por um fornecedor específico é um dos principais obstáculos na adoção de

aplicações baseadas na *cloud*. Os fornecedores de *software cloud* podem impactar os clientes de três maneiras principais: projetando sistemas que são incompatíveis com *softwares* de outros fornecedores, utilizando padrões proprietários ou arquiteturas fechadas que não permitem a interoperabilidade com outras aplicações, e licenciando o *software* sob condições exclusivas (Bies et al., 2022).

Segundo os autores (Bies et al., 2022) o conceito de *Low-Code* está bem encaminhado para se tornar um intermediário entre a gestão e a tecnologia da Informação, trabalhando de forma sinérgica para impulsionar as inovações digitais dentro da empresa. As LCDPs por si só não podem contribuir para uma transformação digital, mas podem servir como um facilitador e possibilitar que as PMEs criem inovações digitais sem ter de investir milhares de euros (Bies et al., 2022). Assim, as LCDPs como Gestão de Processos de Negócios (BPM) podem fazer parte de uma estratégia de digitalização que evolui continuamente por meio de análises e recomendações. Como ilustrado na Figura 4, as LCDPs podem ser uma parte essencial de uma empresa futura, permitindo a adaptação e melhoria de processos em tempo real num ambiente de *digital twins*.

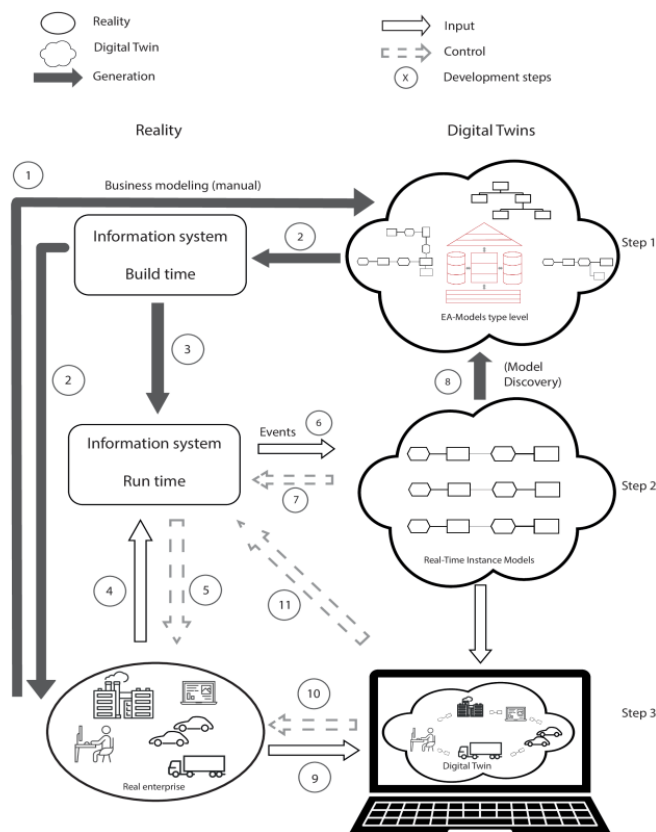


Figura 4 - Digital LCPD Twin
retirado de (Bies et al., 2022)

As necessidades das organizações por transformação digital criam uma oportunidade para o desenvolvimento de *Low-Code* demonstrar seu valor (Bies et al., 2022). Com a progressão da transformação digital, os requisitos para aplicações empresariais tornam-se mais complexos e específicos. Embora o desenvolvimento de baixo *Low-Code* ofereça benefícios que permitem às

organizações responder agilmente às tendências do setor, estas plataformas precisam de maior flexibilidade e capacidade de personalização (Bies et al., 2022).

2.6 Síntese Crítica da Revisão de Literatura

A revisão de literatura realizada evidencia um panorama em transformação, onde a necessidade de digitalização, agilidade operacional e resiliência organizacional tem conduzido à adoção crescente de plataformas Low-Code. Contudo, observa-se uma lacuna significativa nos estudos que abordam aplicações específicas destas plataformas em ambientes industriais, como é o caso dos laboratórios de metrologia.

Paralelamente, embora a literatura destaque amplamente as vantagens das tecnologias Low-Code, há ainda uma exploração limitada das suas restrições, nomeadamente no que respeita à escalabilidade, integração com outros sistemas e dependência de fornecedores específicos. Estas limitações justificam a escolha crítica de ferramentas como o *Microsoft Power Apps*® neste projeto, cuja seleção se baseou não apenas na facilidade de uso, mas também na sua disponibilidade organizacional e integração com o ecossistema Microsoft já existente.

A revisão bibliográfica permitiu, assim, fundamentar tecnicamente a proposta de intervenção aqui apresentada, enquanto revelou a escassa produção científica sobre a aplicação concreta destas tecnologias em contextos industriais. Esta lacuna teórica — evidenciada pela quase inexistência de estudos empíricos focados em desenvolvimento de aplicações Low-code para laboratórios de metrologia — reforça a pertinência e a originalidade deste trabalho.

Neste sentido, a presente dissertação procura suprir tal carência, não apenas através da conceção e implementação de uma aplicação inovadora, mas também ao contribuir para a construção de conhecimento académico sobre o uso de plataformas Low-Code em contextos de elevada criticidade técnica. A aplicação prática desenvolvida, e documentada nos capítulos seguintes, representa assim um caso concreto e replicável, cujos resultados poderão servir de base para investigações futuras, bem como para a adoção alargada de soluções semelhantes em organizações com desafios operacionais análogos.

Por outro lado, importa sublinhar a relevância industrial deste tema, tendo em conta o crescente interesse das empresas por soluções tecnológicas que agilizem a resposta operacional, reduzam custos e aumentem a rastreabilidade dos processos. A capacidade de desenvolver aplicações de forma rápida, flexível e com reduzida dependência de recursos especializados alinha-se com as exigências da competitividade industrial contemporânea, particularmente no domínio da Qualidade 4.0.

A nível académico, a pertinência deste trabalho decorre da sua natureza aplicada e interdisciplinar, cruzando áreas como a engenharia industrial, a metrologia e as tecnologias de informação. Ao mesmo tempo que se propõe uma solução concreta para um problema organizacional real, fomenta-se a reflexão crítica sobre os limites, oportunidades e desafios das abordagens Low-Code em ambientes industriais específicos.

A fundamentação teórica aqui apresentada constitui, por conseguinte, o alicerce para a proposta metodológica e técnica explorada nos capítulos seguintes, onde se delinea o

desenvolvimento e avaliação da aplicação *Microsoft Power Apps*[®], especificamente adaptada à realidade de um laboratório de metrologia. Com isso, pretende-se não só resolver um problema concreto de gestão, mas também contribuir para o avanço do conhecimento em torno da digitalização de processos críticos através de tecnologias Low-Code.

3 PROBLEMA IDENTIFICADO E ABORDAGEM METODOLÓGICA

3.1 Problema Identificado

O laboratório de metrologia é uma parte fundamental no controlo da qualidade industrial, assegurando que os componentes e produtos finais cumprem os requisitos estabelecidos. Para além da verificação da conformidade, também fornece apoio técnico direto às equipas de produção, engenharia e qualidade.

No entanto, apesar da sua importância estratégica, o processo de requisição de serviços ao laboratório apresentava um grau de maturidade organizacional muito aquém do desejável. A ausência de um sistema estruturado conduzia a práticas informais, com pedidos efetuados por e-mail, telefone ou comunicação verbal, sem qualquer registo centralizado ou padronização de procedimentos. Tal como destacado por (Oppermann et al., 2022), a gestão moderna de laboratórios de metrologia deve assentar na integração de infraestruturas digitais que assegurem a automatização de fluxos de trabalho. (Sousa et al., 2022) reforçam esta necessidade, ao defenderem que a digitalização é essencial para garantir controlo de qualidade em tempo real, adaptabilidade dos processos e integração com os sistemas produtivos, numa lógica de Produção Zero Defeitos. Neste sentido, a transformação digital do processo de requisição surge como um passo fundamental para alinhar o laboratório com os princípios da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0, promovendo uma abordagem orientada para a eficiência, precisão e transparência

Esta informalidade resultava em várias limitações críticas:

- Ausência de um modelo de requisição estruturado, levando a grande variabilidade na qualidade e completude da informação fornecida pelos requerentes;
- Dificuldades de rastreabilidade e registo histórico, dado o uso de múltiplos canais não integrados;
- Impossibilidade de prever, com um mínimo de rigor, o tempo necessário para a execução de cada pedido, comprometendo o planeamento do laboratório e as expectativas de resposta por parte dos Requerentes e do gestor do laboratório.

A inexistência de uma ferramenta digital que permitisse consultar o estado dos pedidos, gerar indicadores de desempenho ou apoiar a gestão de recursos dificultava não só a priorização das tarefas, mas também a criação de mecanismos de melhoria contínua.

Neste contexto, tornou-se evidente a necessidade de desenvolver uma solução digital que permitisse:

- Padronizar a forma como os pedidos são submetidos;
- Automatizar a análise técnica e a estimativa de tempos;
- Oferecer rastreabilidade e visibilidade a todos os intervenientes;
- Apoiar o gestor do laboratório na organização e distribuição da carga de trabalho;

- Reduzir o erro humano e aumentar a previsibilidade do processo.

A solução teria de ser suficientemente intuitiva para que qualquer requerente pudesse utilizá-la com facilidade, mas ao mesmo tempo robusta e técnica para servir como ferramenta de trabalho para o técnico de metrologia e de planeamento para o gestor do laboratório.

De forma a melhor enquadrar o impacto das falhas existentes e os benefícios esperados com a implementação da solução digital, apresenta-se a Tabela 2, que sintetiza a comparação entre a situação antes e depois da implementação:

Tabela 2 – Comparação do antes e depois da implementação

Tipo de Falha Identificada (Antes da Implementação)	Antes		Depois			
	Impacto antes da Implementação	Ocorrência Estimada Antes (%)	Resultado Esperado após a Implementação	Impacto Esperado após a Implementação	Redução Estimada Após (%)	Ocorrência Estimada Após (%)
Erros de registo manual	Elevada probabilidade de erro humano ou falta de informação	40%	Minimização de erros através de formulários validados	Redução significativa de erros operacionais	90%	4%
Atrasos no acesso à informação	Tempo de resposta lento a verificações e pedidos	25%	Acesso imediato à informação em tempo real	Aumento da eficiência e agilidade nas respostas	85%	4%
Dificuldade na atualização de dados	Desatualização frequente da base de dados	15%	Atualização centralizada e em tempo real	Informação fiável e atualizada permanentemente	90%	2%
Risco de perda de documentação em suporte físico	Vulnerabilidade da informação a perdas ou danos	18%	Eliminação do suporte físico e digitalização segura	Segurança e preservação dos registos técnicos	100%	0%
Falta de integração entre processos	Descoordenação entre equipas e tarefas	19%	Integração de fluxos de trabalho e dados	Sinergia entre áreas técnicas e administrativas	80%	4%
Ausência de planeamento visual centralizado	Elevado risco de sobreposição e omissão de atividades	20%	Visibilidade clara da carga futura e antecipação de sobrecargas	Melhoria da gestão do tempo e da distribuição de tarefas	85%	3%

A Tabela 2 evidencia as principais falhas identificadas no processo anterior e os ganhos esperados com a implementação da solução digital. Destaca-se, entre as melhorias mais

recentes, a introdução de um planeamento visual centralizado, que permite antecipar conflitos de agenda e distribuir a carga de trabalho de forma mais equilibrada. Esta evolução contribui significativamente para o reforço da previsibilidade e eficiência na gestão das atividades laboratoriais.

3.2 Abordagem Metodológica

A escolha metodológica para este projeto baseia-se na necessidade de atingir eficazmente os objetivos propostos, implementando uma solução tecnológica que otimize a gestão do laboratório de metrologia. Por isso, adotou-se uma abordagem pragmática, utilizando ferramentas *Low-Code* para desenvolver uma aplicação que centralize e automatize os processos laboratoriais.

O plano de investigação envolve várias fases estratégicas:

1. **Análise e levantamento de Requisitos** - Esta fase inicial foca-se na identificação precisa das necessidades do laboratório e na definição clara dos requisitos funcionais e não funcionais da aplicação. Através de entrevistas com *stakeholders* e análise de processos existentes, é possível compilar um conjunto detalhado de especificações que a solução deverá cumprir, tal como é possível verificar no Apêndice A.
2. **Desenho da Solução** - Após a recolha de requisitos, segue-se o desenho da arquitetura da aplicação e das interfaces de utilizador. Esta etapa será crucial para garantir que a aplicação seja intuitiva, eficiente e adaptável às necessidades do laboratório. Tal como é possível verificar no Apêndice B, foi realizada a primeira proposta para a implementação da aplicação.
3. **Desenvolvimento e Implementação** - Com base no desenho, a construção da aplicação será realizada usando plataformas *Low-Code*, que permitem um desenvolvimento ágil e flexível. Esta abordagem minimiza a codificação manual, acelera o processo de desenvolvimento e facilita a integração com sistemas existentes.
4. **Testes e Validação** - A aplicação desenvolvida será submetida a uma série de testes para assegurar a sua funcionalidade, segurança e usabilidade. Testes unitários, testes de integração e testes de aceitação pelo utilizador são essenciais para garantir que a aplicação atende aos requisitos definidos e é robusta em ambiente operacional real, conforme é possível observar no Apêndice C o formulário de testes e validação.
5. **Implementação e Monitorização** - Após os testes, a aplicação será implementada no ambiente operacional. Será essencial uma fase de monitorização contínua para avaliar a eficácia da solução, identificar problemas e realizar ajustes necessários, conforme é possível observar no Apêndice D, o formulário de monitorização.

A escolha desta metodologia é adequada devido à sua conformidade com os objetivos do projeto, oferecendo uma implementação ágil e eficiente no contexto do laboratório de metrologia. A adaptabilidade das ferramentas *Low-Code* e a capacidade de fazer ajustes rápidos

são essenciais para atender às necessidades específicas deste ambiente, assegurando uma solução sob medida e de alta qualidade.

Com o objectivo de ilustrar o funcionamento do processo de requisição de metrologia antes e depois da digitalização, foram desenhados dois diagramas BPMN que representam a situação actual (AS-IS) e a situação futura (TO-BE).

Situação Actual – AS-IS

A Figura 5 apresenta o diagrama BPMN correspondente à situação atual do processo de requisição de metrologia. Este revela um fluxo desestruturado, dependente de múltiplos canais informais (e-mail, telefone ou verbal), frequentemente com lacunas na informação transmitida.

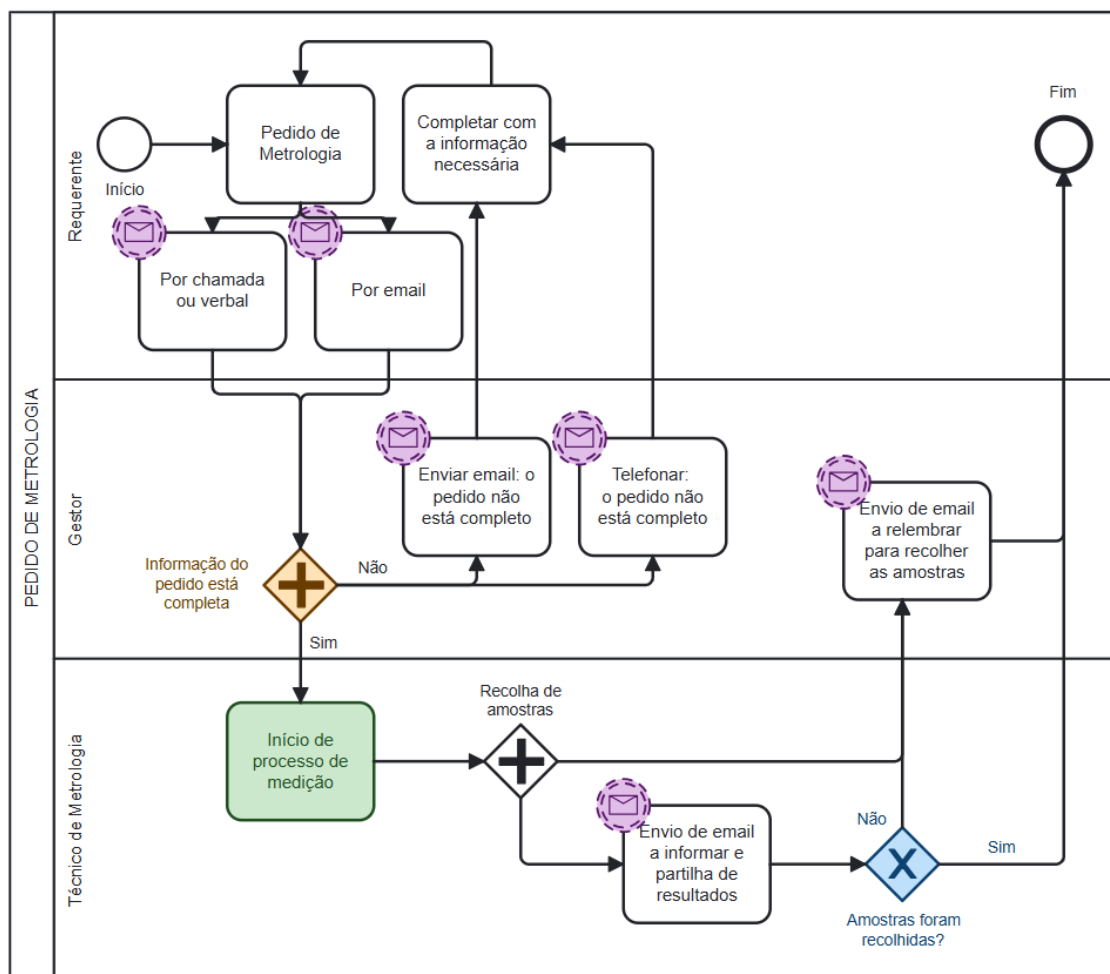


Figura 5 - Mapa BPMN da Situação Actual (AS-IS)

Principais limitações identificadas:

- Ausência de padronização na submissão dos pedidos;
- Utilização de múltiplos canais de comunicação não integrados;
- Necessidade recorrente de esclarecimentos por parte do gestor de laboratório;
- Falta de visibilidade do estado do pedido por parte do requisitante.

Situação Futura – TO-BE

A Figura 6 representa o cenário futuro do processo, após a implementação da solução digital com recurso a ferramentas Low-Code. Neste modelo, a requisição é efetuada através de um formulário padronizado, com validação automática do preenchimento da informação e comunicação automatizada com todos os intervenientes.

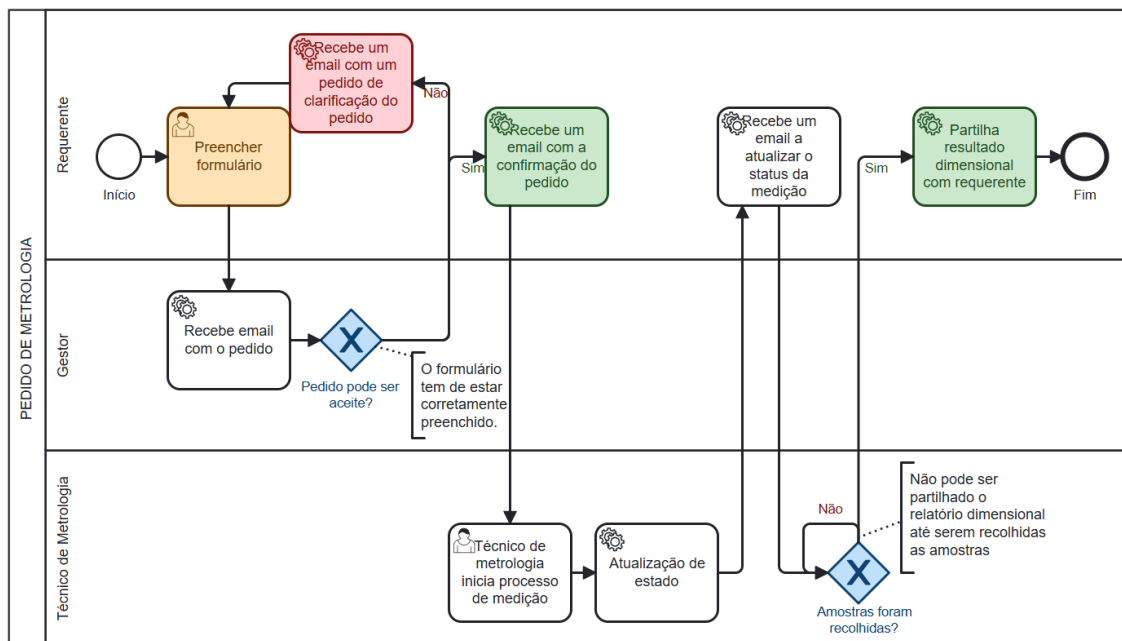


Figura 6 – Mapa BPMN da Situação Futura (TO-BE)

Melhorias introduzidas:

- Padronização e obrigatoriedade do preenchimento completo do pedido;
- Comunicação automática e integrada entre os intervenientes;
- Visibilidade em tempo real do estado de execução dos pedidos;
- Estimativa automática do tempo de resposta com base nas regras definidas;
- Redução da intervenção manual do gestor e aumento da eficiência do processo.

Estes diagramas evidenciam a evolução significativa do processo de requisição, promovendo uma transição de um sistema informal e reativo para um modelo digital, estruturado, rastreável e alinhado com os princípios da Indústria 4.0 e da Qualidade 4.0.

4 IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

Este capítulo descreve o processo de digitalização do fluxo de requisição de serviços ao laboratório de metrologia, o qual, até então, era gerido de forma informal, descentralizada e sem mecanismos eficazes de rastreabilidade, planejamento ou normalização.

Neste enquadramento, a digitalização do processo de requisição ao laboratório de metrologia foi concretizada através do desenvolvimento de uma aplicação personalizada, construída na plataforma *Microsoft Power Apps*[®]. Esta ferramenta foi concebida para responder de forma eficaz às necessidades específicas do processo em questão, assegurando maior eficiência, rastreabilidade e padronização no fluxo de trabalho.

Para além de formalizar um processo que até então era gerido de forma informal e descentralizada, a aplicação passou a incorporar uma lógica de decisão automatizada, baseada em critérios técnicos previamente definidos.

O desenvolvimento seguiu três grandes eixos orientadores:

- Criar uma experiência simples, clara e acessível para o utilizador que submete o pedido;
- Garantir que o técnico de metrologia recebe informação fiável, completa e tratável, permitindo-lhe responder de forma estruturada e eficiente.
- Permitir ao gestor do laboratório planear as atividades e monitorizar indicadores de desempenho.

4.1 Estrutura da Aplicação

A aplicação foi organizada de forma a adaptar-se às necessidades específicas de três perfis de utilizador distintos: o **requerente**, o **gestor do laboratório** e o **técnico de metrologia**. Cada um tem acesso a funcionalidades diferentes, ajustadas às suas responsabilidades no processo.

Esta diferenciação de acessos baseia-se no princípio da separação de responsabilidades, geralmente aplicado no desenvolvimento de sistemas informáticos e processos organizacionais, com o objetivo de aumentar a segurança, a fiabilidade e a eficiência. Ao limitar o acesso de cada perfil apenas às funcionalidades estritamente necessárias, evitam-se erros operacionais involuntários, duplicação de tarefas, conflitos de informação e potenciais violações de integridade de dados. Por exemplo, impedir que o requerente altere dados técnicos ou que o técnico de metrologia modifique parâmetros do pedido garante maior controlo sobre o fluxo de trabalho e responsabilização clara pelas ações realizadas.

Adicionalmente, esta abordagem contribui para a usabilidade da aplicação, permitindo que cada utilizador interaja apenas com os elementos relevantes à sua função, reduzindo a complexidade da interface e aumentando a eficácia na execução das tarefas.

O fluxo de trabalho da aplicação foi concebido de forma sequencial e automatizada, recorrendo às ferramentas *Microsoft Power Apps*[®], *Outlook*[®], *Planner*[®], *SharePoint*[®] e *Power Automate*[®],

com o objetivo de assegurar uma gestão eficiente, comunicação clara e rastreabilidade de todos os pedidos de metrologia.

O processo inicia-se com a submissão ou alteração do pedido por parte do requerente, seguindo-se a validação por parte do gestor. Em caso de rejeição, o requerente é notificado por email com a respetiva justificação. Se o pedido for aceite, o requerente é igualmente informado por email, sendo criada automaticamente uma tarefa no *Planner*[®], acessível ao gestor e ao técnico, bem como é criada de forma automática uma atividade no calendário partilhado, com a duração correspondente ao tempo estimado calculado, permitindo um planeamento mais eficaz e visual da carga de trabalho.

O técnico realiza então a medição solicitada, insere o relatório na plataforma e o sistema envia uma notificação ao requerente para recolha das amostras. Após a confirmação da recolha pelo técnico, o relatório é disponibilizado ao requerente, encerrando-se o processo.

A Figura 7 ilustra graficamente este ciclo, destacando as interações entre os perfis envolvidos e os sistemas integrados:

- *Power Apps*[®]: interface para submissão e acompanhamento dos pedidos;
- *Power Automate*[®]: execução dos fluxos automáticos;
- *Outlook*[®]: envio de notificações por email e integração com o calendário para criação automática das atividades planeadas;
- *Planner*[®]: gestão e atribuição de tarefas;
- *SharePoint*[®]: armazenamento de dados.

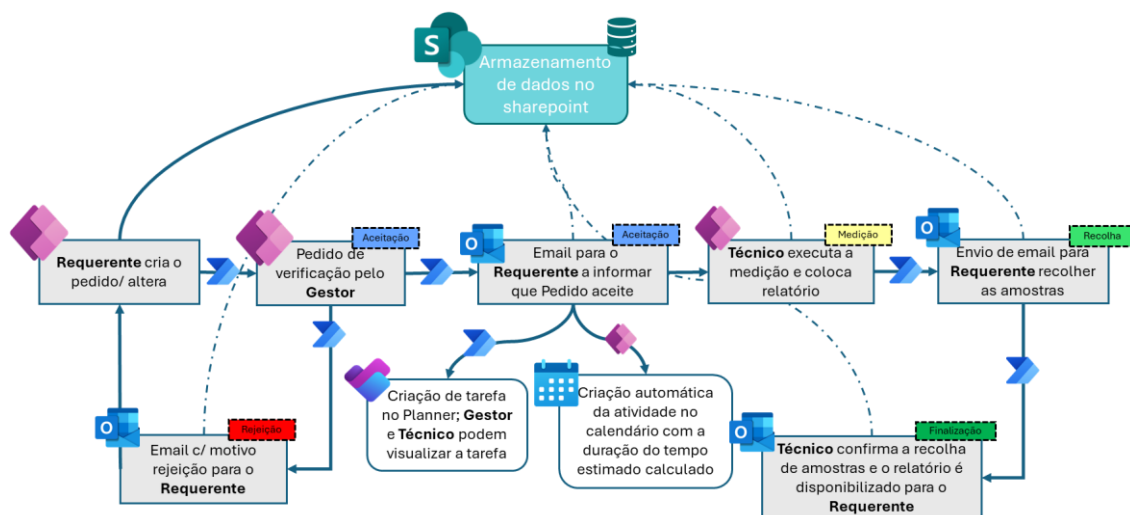


Figura 7 – Esquema das interações da aplicação

A combinação destas ferramentas permite a automatização de tarefas administrativas repetitivas, aumentando a produtividade e garantindo uma gestão transparente dos pedidos laboratoriais. A criação automática de eventos no calendário do *Outlook*[®], com base na estimativa de tempo gerada pela aplicação, constitui uma melhoria adicional relevante, pois

proporciona visibilidade imediata das atividades planeadas, facilita o planeamento da carga de trabalho e reduz o risco de sobreposição de tarefas.

Uma vez que a aplicação utiliza listas do SharePoint como repositório principal, todas as submissões de pedidos são automaticamente registadas com carimbo temporal (*timestamp*) e mantêm os valores tal como submetidos no momento da criação. Assim, alterações futuras ao formulário — como a adição ou remoção de campos, ou ajustes de opções disponíveis — não afetam os registos anteriores, uma vez que os dados já submetidos permanecem armazenados com os valores originais.

Quanto à **segurança e autenticação**, a aplicação beneficia do ecossistema Microsoft 365, com autenticação multifator (MFA) e controlo de permissões detalhado por grupo ou utilizador. Esta abordagem representa uma vantagem face a algumas **limitações referidas na literatura**, como a dificuldade em restringir acessos ou garantir consistência dos dados em soluções descentralizadas ou baseadas em partilhas manuais. Assim, assegura-se um acesso controlado e uma maior proteção da informação.

4.1.1 Interface do Requerente

A principal preocupação na construção do formulário de requisição foi garantir simplicidade e clareza, conforme é possível verificar na Figura 8. O objetivo é permitir que qualquer colaborador, mesmo sem conhecimentos técnicos aprofundados, consiga submeter um pedido de forma correta e completa.

As principais características desta interface incluem:

- Campos orientados com instruções simples e exemplos para facilitar o preenchimento;
- Ocultação automática de campos técnicos para o requerente, como a escolha do equipamento de medição;
- Validação em tempo real dos dados introduzidos, impedindo a submissão de pedidos incompletos;
- Cálculo automático da estimativa de tempo de execução, apresentado de imediato após o preenchimento;

Formulário para realizar pedido de metrologia:
 Todos os itens com(*) devem ser preenchidos.

Pedido Metrologia:

* Número (PN)
 F01U.XXX.XXX

* Descrição do pedido

* Value Stream/Department
 Encontrar itens

Data de Pedido
 Selecionar uma data...

* Tipo de pedido
 Encontrar itens

Anexos
 NOTA: É necessário adicionar o projeto 2D e 3D, caso contrário, o pedido será rejeitado.
 Não há nada anexado.

Submeter

Tempo estimado para a atividade: 0 horas de trabalho

Progresso:

A Aceitação
 O seu pedido foi enviado para ser verificado pela chefia!

M Medição
 O seu pedido está neste momento a ser executado!

R Recolha
 Será necessário recolher as amostras para saber o resultado!

F Finalização
 O seu pedido está finalizado! Obrigada :)

Figura 8 – Formulário Estruturado com visualização do Estado

A validação em tempo real na aplicação foi assegurada através da utilização de expressões lógicas como *IfError()*, *IsBlank()*, *IsEmpty()* e a funcionalidade “Required” no Power Apps®, integradas num modelo de **formulário inteligente e contextualizado**, adaptado ao perfil do utilizador e ao estado do pedido.

Por exemplo, no campo “Número (PN)”, foi implementada uma verificação imediata para garantir que o campo não se encontra vazio (“Required”). Adicionalmente, outros campos críticos foram alvo de validação automática. No campo “Anexos”, foi utilizada a expressão *IsEmpty(DataCardValue.Attachments)* para impedir a submissão de pedidos sem a devida documentação técnica obrigatória. Caso o campo esteja vazio, é apresentado um alerta em tempo real e a submissão é bloqueada até ser corrigida.

Estas validações asseguram não só a qualidade da informação recolhida, como também reduzem significativamente a ocorrência de erros humanos durante o preenchimento dos formulários.

Com estas melhorias, foi possível reduzir significativamente o número de erros e pedidos devolvidos, enquanto se aumentou a confiança dos utilizadores no sistema. Antes da digitalização, era frequente a submissão de pedidos incompletos, com omissões em dados críticos (como número de dimensões ou quantidade de peças), duplicação de requisições, ou uso incorreto dos canais de comunicação (pedidos verbais não registados, e-mails dispersos ou perdidos). Estas falhas originavam atrasos no planeamento, retrabalho administrativo e dificuldades de rastreabilidade.

Esta nova interface do requerente mitiga essas ineficiências através de um sistema orientado, validado e centralizado, que não apenas melhora a qualidade da informação submetida, como também reforça a transparência interdepartamental. A adoção de um esquema visual codificado por cores permite ao utilizador identificar facilmente o estado de cada pedido

(Aceitação, Medição, Recolha, Finalização e Rejeição), promovendo a autonomia e evitando pedidos repetidos por falta de visibilidade, tal como é possível verificar na Figura 9.

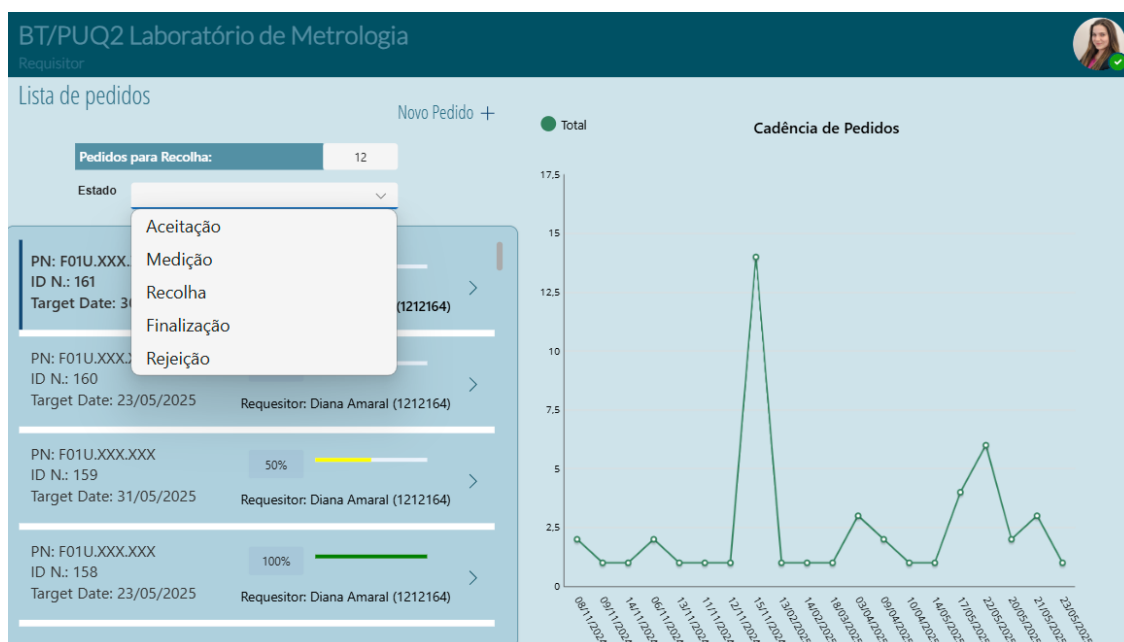


Figura 9 – Interface do requerente

Adicionalmente, a possibilidade de consultar o histórico e a cadência de pedidos submetidos ao longo do tempo permite aos requerentes uma visão mais clara sobre os seus próprios padrões de solicitação e contribui para uma utilização mais racional e informada do serviço. Estas melhorias resultaram numa redução substancial de erros de submissão, numa menor necessidade de devoluções para correção e num aumento global da confiança dos utilizadores no sistema digital.

4.1.2 Interface do Técnico de Metrologia

Do lado do técnico, a aplicação fornece acesso direto e estruturado a todos os pedidos submetidos, permitindo uma análise rápida da informação técnica associada.

As principais funcionalidades incluem:

- Listagem dos pedidos atribuídos, com filtros por estado;
- Acesso às respostas do requerente relativamente à necessidade de CMM, existência de programa e presença de estratégia de medição;
- Possibilidade de adicionar observações técnicas ou solicitar esclarecimentos adicionais.

Antes da implementação da aplicação, o trabalho do técnico assentava frequentemente numa abordagem empírica, baseada em comunicação informal, experiência individual e levantamento manual de requisitos, muitas vezes dispersos entre emails, chamadas telefónicas ou documentos não estruturados. Esta ausência de centralização e normalização dificultava o planeamento das tarefas, aumentava o risco de omissões técnicas relevantes e comprometia a

consistência dos critérios de avaliação. Este painel permitiu ao técnico dispor de um painel único, padronizado e orientado por dados objetivos, que lhe permite avaliar de forma estruturada cada pedido com base em critérios previamente definidos. Esta abordagem melhora a uniformidade nas decisões, reduz o tempo necessário para a análise inicial e permite uma rastreabilidade completa das decisões tomadas.

A componente gráfica no lado direito da interface apresenta a quantidade de pedidos finalizados entre os dias 10/11/2024 e 16/11/2024, conforme ilustrado na Figura 10. Esta funcionalidade o permite ao técnico uma perceção imediata e objetiva do seu desempenho ao longo do tempo, sem necessidade de aceder a relatórios externos ou realizar cálculos manuais. Para além disso, este tipo de feedback contínuo reforça o sentimento de responsabilidade individual e pode atuar como fator motivacional, permitindo ao técnico autoavaliar-se e ajustar o seu ritmo de trabalho, quando necessário. Esta funcionalidade insere-se numa lógica de **transparência operacional e orientação para resultados**, contribuindo diretamente para a melhoria contínua do desempenho técnico e para a eficiência global do processo metrológico.

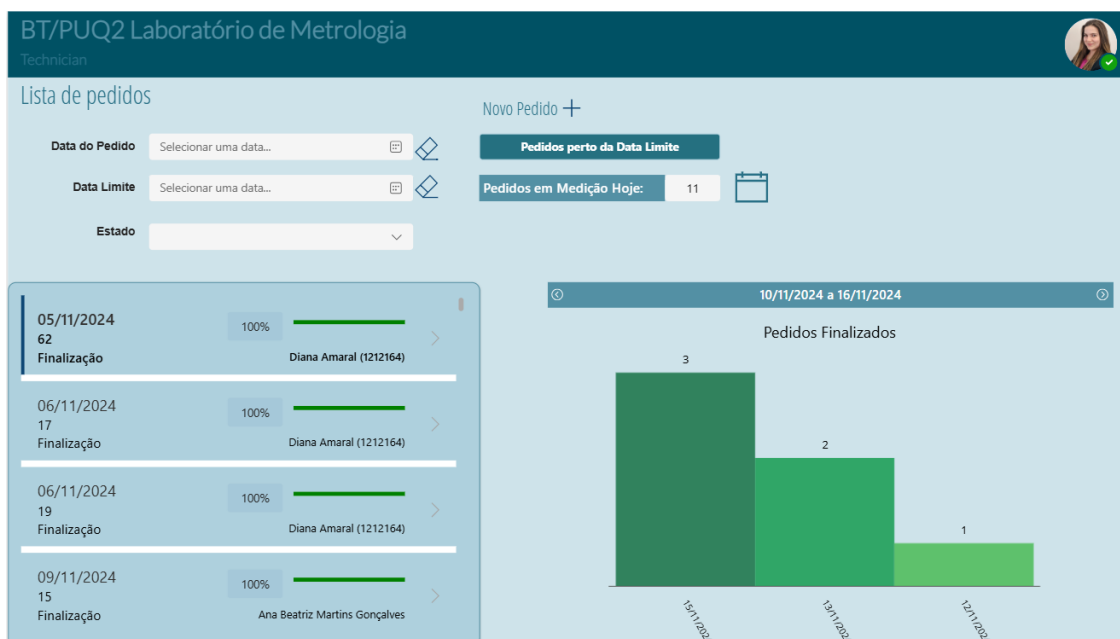


Figura 10 – Interface do Técnico de Metrologia

A funcionalidade que permite filtrar os pedidos por estado, nomeadamente *Medição*, *Recolha* ou *Finalização*. Esta capacidade de filtragem facilita a navegação entre os diferentes tipos de pedidos e otimiza a organização das tarefas diárias. É igualmente visível o contador de "Pedidos em Medição Hoje", que neste caso apresenta o número 4, funcionando como um indicador visual do volume de trabalho atual, tal como é possível observar na Figura 11. Esta métrica é atualizada automaticamente e constitui uma ferramenta essencial para a gestão de prioridades.



Figura 11 – Interface Técnico de metrologia com possibilidade de filtrar diferentes tipos de medição, verificar pedidos para medir no dia e também pedidos pertos da data-limite.

A funcionalidade "Pedidos perto da data-limite", a qual permite identificar rapidamente os pedidos cuja data de conclusão se aproxima, funcionando como uma ferramenta de alerta antecipado. Neste exemplo, é exibida a mensagem “Faltam 2 dia(s) para a conclusão da tarefa”, relativa ao pedido com o número 145, tal como é ilustrado na Figura 12. Esta funcionalidade reduz significativamente o risco de incumprimento dos prazos estabelecidos e promove uma atuação proativa por parte do técnico.

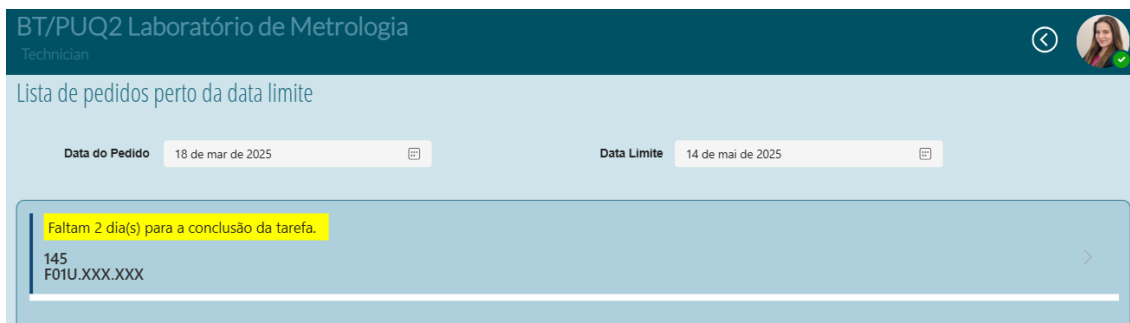


Figura 12 – Ecrã que permite visualizar pedidos pertos da data limite

Existe também a comunicação com o *Planner* através do *Power Automate*, que permite a criação automática de uma tarefa no *Planner* assim que o pedido é validado e aceite pelo gestor, tal como ilustrado na Figura 13.

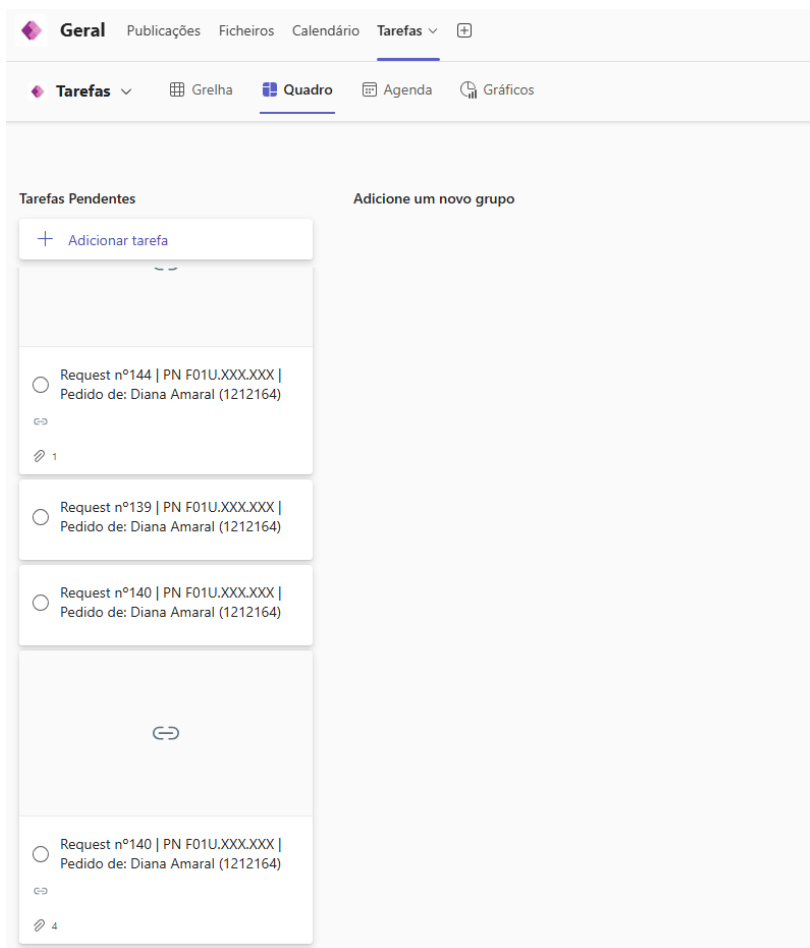


Figura 13 – Interligação com o *Planner* – visualização do quadro de tarefas já com os anexos incluídos

Este automatismo representa uma melhoria significativa face ao sistema anteriormente utilizado, no qual a criação das tarefas era efetuada manualmente pelos técnicos ou gestores, recorrendo a entradas livres sem qualquer formulário estruturado.

O novo modelo mantém o *Planner* como ferramenta de apoio à organização e planeamento das atividades, mas elimina a necessidade de registo manual, reduzindo o risco de omissões, atrasos ou incoerências nos dados. Além disso, garante que cada tarefa criada contém automaticamente os campos essenciais previamente definidos no formulário de requisição (como tipo de medição, prazo previsto ou observações técnicas), assegurando a padronização da informação e facilitando o seguimento posterior.

Este automatismo contribui ainda para uma maior fluidez no processo de agendamento e execução, minimizando o esforço administrativo e permitindo que os intervenientes se concentrem em tarefas de maior valor acrescentado. A integração automática reforça, assim, a

fiabilidade da informação e a eficiência do fluxo de trabalho, promovendo uma gestão mais ágil e estruturada das tarefas laboratoriais.

Para além da criação automática de tarefas no Planner, a aplicação permite também a **criação automática de eventos no calendário partilhado “Metrology”**, com base na estimativa de tempo calculada. Este evento surge diretamente no calendário, garantindo visibilidade imediata das atividades planeadas por data e duração. Esta funcionalidade permite ao técnico e ao gestor consultarem, de forma gráfica e centralizada, o planeamento previsto das medições, conforme ilustrado na Figura 14.

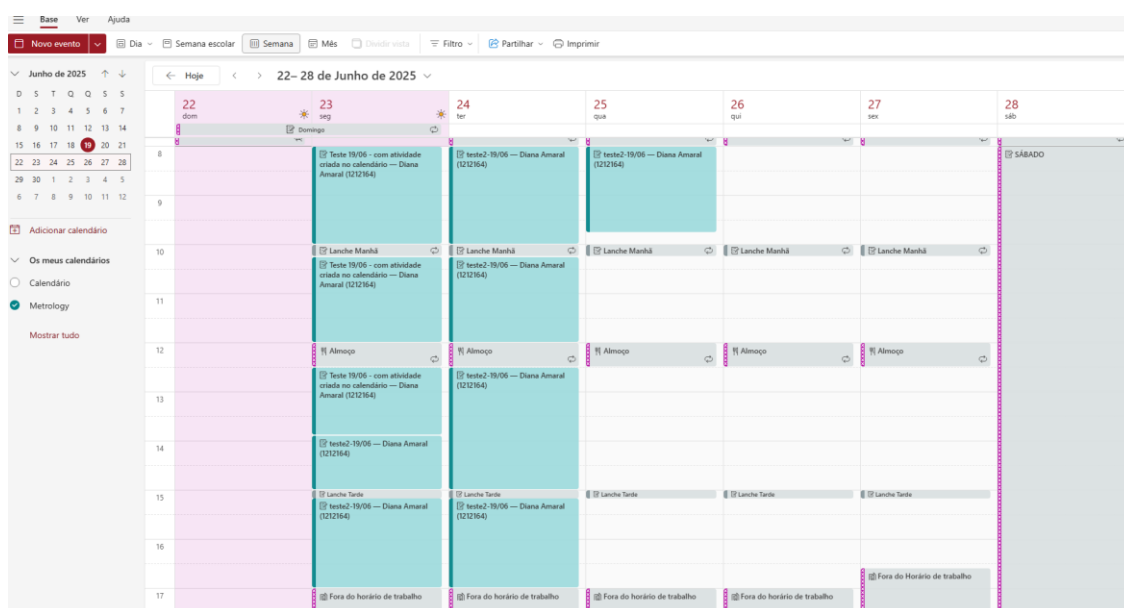


Figura 14 – Criação automática no calendário partilhado “Metrology” da atividade com o tempo estimado

A introdução deste calendário partilhado apresenta diversos benefícios operacionais, nomeadamente:

- **Melhoria da visibilidade coletiva do planeamento**, permitindo que todos os intervenientes visualizem de forma imediata as cargas de trabalho previstas, sem necessidade de solicitações adicionais;
- **Redução de conflitos de agendamento**, ao disponibilizar uma referência comum sobre os períodos ocupados com atividades;
- **Facilitação da antecipação de picos de atividade**, permitindo uma resposta mais proativa por parte da equipa técnica ou da gestão.

Adicionalmente, é possível visualizar dentro da própria aplicação Power Apps o calendário com as próximas atividades previstas, sem necessidade de aceder a ferramentas externas, conforme

demonstrado na Figura 15. Esta funcionalidade complementa a gestão operacional, permitindo uma visão clara da distribuição temporal das tarefas.

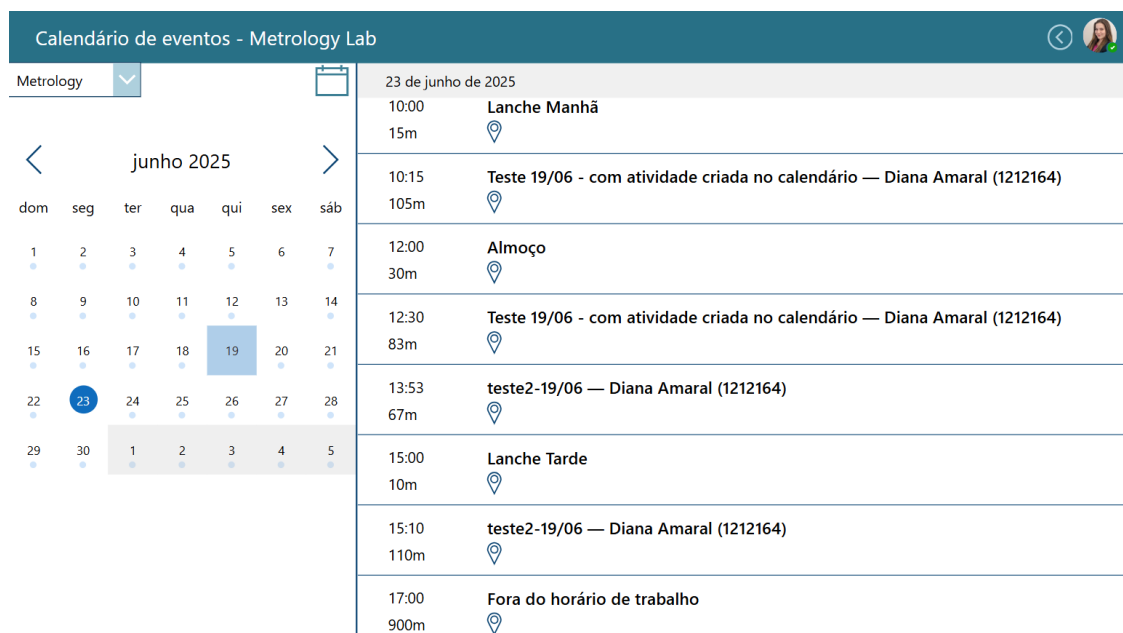


Figura 15 – Possibilidade de visualizar as próximas atividades dentro da aplicação

Esta integração interna no Power Apps oferece vantagens complementares, tais como:

- **Acesso imediato e contextualizado à informação de planeamento**, sem necessidade de alternar entre plataformas;
- **Consulta ágil da distribuição temporal das tarefas diretamente no ambiente de trabalho da aplicação**, reforçando a fluidez e a usabilidade do sistema;
- **Apoio à gestão de prioridades**, ao permitir uma visão condensada das atividades futuras, o que facilita a tomada de decisões técnicas ou organizativas de forma fundamentada.

A conjugação destas duas funcionalidades — agendamento automático no calendário “Metrology” e visualização das próximas tarefas na aplicação — constitui um avanço significativo no suporte ao planeamento do laboratório, promovendo uma atuação mais coordenada, previsível e eficaz.

4.1.3 Interface do Gestor do Laboratório

O gestor do laboratório tem uma visão transversal sobre todo o processo. A aplicação disponibiliza um painel de controlo que reúne todas as requisições em curso e respetivas previsões de carga de trabalho, tal como é possível observar na Figura 16.

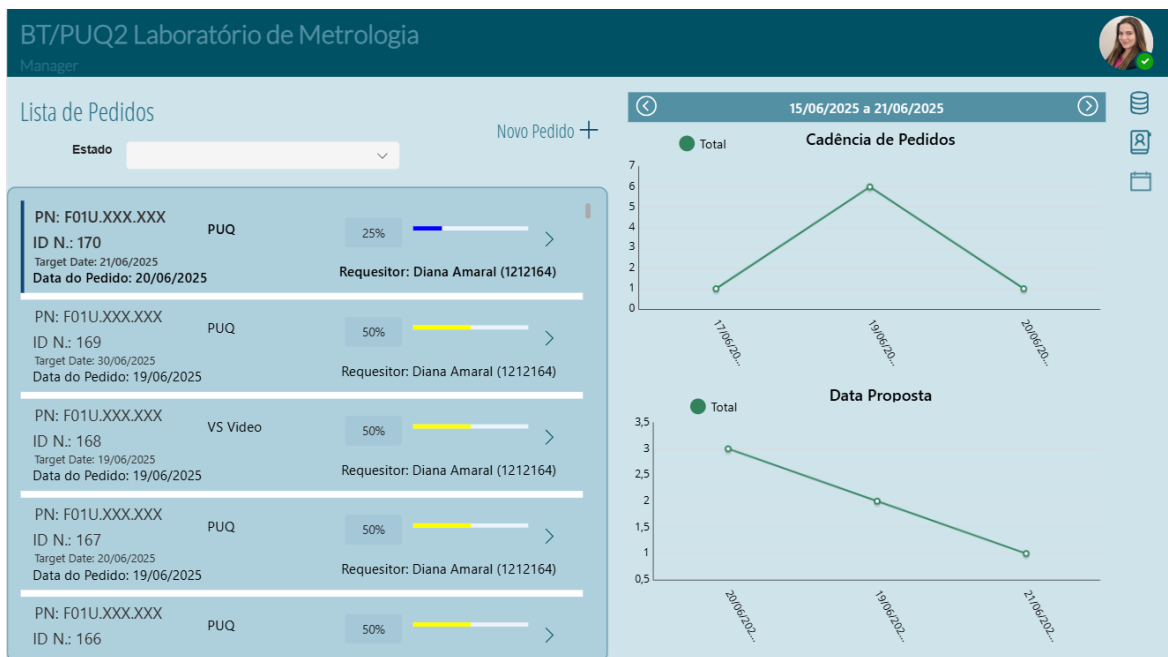


Figura 16 – Interface Gestor do Laboratório

Entre as funcionalidades disponíveis destacam-se:

- Acesso ao histórico completo de pedidos;
- Visualização agregada da carga atual do laboratório, facilitando a distribuição de tarefas.

Através deste painel, o gestor passou a dispor de uma base sólida para tomar decisões operacionais e estratégicas, com base em informação fiável e atualizada.

É possível verificar na Figura 17 que nesta interface direcionada ao Gestor do Laboratório também é possível visualizar alguns *Dashboards* que permite obter algumas conclusões sobre os departamentos que fazem mais pedidos e tipos de pedidos mais frequentes, etc.

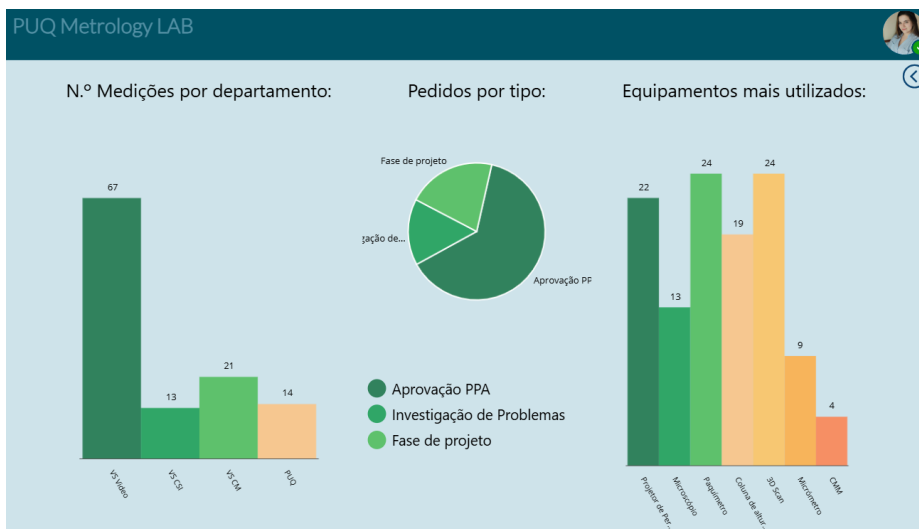


Figura 17 – Dashboards para o Gestor do Laboratório.

De forma a garantir a continuidade do funcionamento da aplicação — mesmo em períodos de férias, ausências prolongadas ou redefinição de utilizadores — a aplicação permite ao gestor configurar perfis de substituição diretamente na interface. Esta funcionalidade assegura que as tarefas e responsabilidades podem ser facilmente atribuídas a outros elementos da equipa, sem comprometer o fluxo de trabalho ou a integridade da informação registada, conforme é possível verifica na Figura 18.

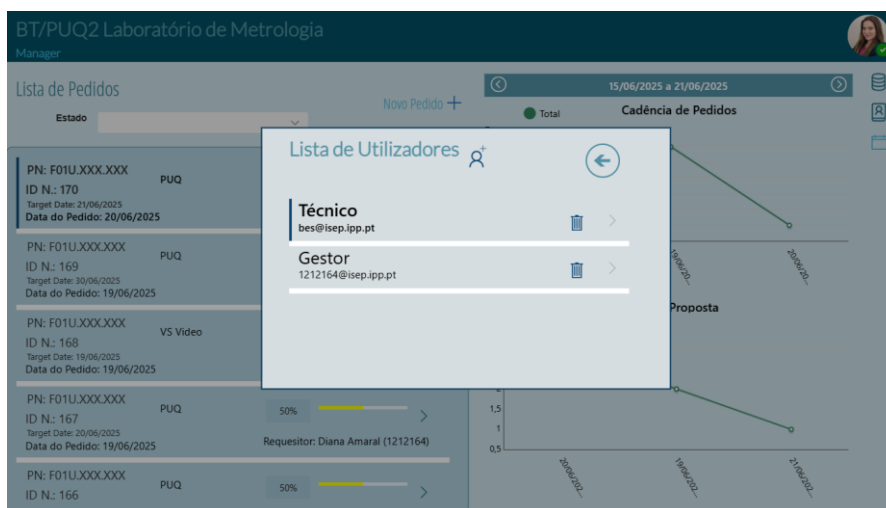


Figura 18 – Definir lista de utilizadores

Adicionalmente, conforme informado anteriormente, o gestor pode aceder ao calendário partilhado “Metrology” Figura 14 e Figura 15, onde são automaticamente registadas as atividades previstas, com base no tempo estimado introduzido na requisição. Esta funcionalidade permite planear com maior precisão a carga futura e identificar antecipadamente potenciais gargalos operacionais. A visibilidade centralizada das tarefas agendadas contribui para uma gestão mais eficiente e alinhada com os objetivos de serviço.

4.2 Processos Auxiliares ao Pedido Metrológico

A aplicação foi construída de forma a integrar todos os elementos que influenciam a previsão do tempo de execução de um pedido. Conforme é possível verificar na Figura 19 cada fator técnico relevante foi traduzido em regras simples e objetivas, criando uma lógica de cálculo transparente e replicável.

The screenshot shows a web form titled "Formulário para realizar pedido de metrologia: Todos os itens com (*) devem ser preenchidos." The form is divided into two main sections: "Pedido Metrologia:" and "Progresso:".

Pedido Metrologia:

- nova estratégia de medição:
- Desenho tem dimensões GD&T?:
- Novo programa de medição?:
- Numero de peças por cavidade: [dropdown menu]
- Numero de cavidades: [dropdown menu]
- Quantidade de dimensões: [dropdown menu]
- * Data proposta: [date picker]

Progresso:

- A** Aceitação: O seu pedido foi enviado para ser verificado pela chefia!
- M** Medição: O seu pedido está neste momento a ser executado!
- R** Recolha: Será necessário recolher as amostras para saber o resultado!
- F** Finalização: O seu pedido está finalizado! Obrigada :)

At the bottom of the form, it states: "Tempo estimado para a atividade: 0 horas de trabalho". A "Submeter" button is located at the bottom right of the form area.

Figura 19 – cálculo do tempo estimado em horas

4.2.1 Avaliação da criticidade da medição

O primeiro critério analisado incide sobre a viabilidade de utilizar equipamentos de medição convencionais, como paquímetro, micrómetro, projetor de perfil ou microscópio. Sempre que as características geométricas ultrapassam os limites desses instrumentos, é necessário recorrer a uma Máquina de Medição por Coordenadas (CMM).

Nestas situações, o requerente deverá responder à pergunta: “As dimensões têm GD&T?”. A existência de tolerâncias geométricas — como planicidade, concentricidade ou perpendicularidade — exige um esforço acrescido na interpretação, programação e execução da medição.

Se a resposta for negativa, a aplicação assume que a medição poderá ser feita por meios convencionais. Se for positiva, é automaticamente adicionado **meio dia útil ao tempo estimado**. Este valor não é arbitrário: resulta da análise do histórico de pedidos anteriormente executados no laboratório de metrologia, nos quais se verificou que desenhos com GD&T requerem, em média, um acréscimo de tempo equivalente a aproximadamente quatro horas de trabalho efetivo. Trata-se, contudo, de uma estimativa baseada em tendências observadas, sujeita a variação conforme a especificidade de cada caso.

Este mecanismo permite sinalizar, desde logo, a maior complexidade do pedido, promovendo um planeamento mais criterioso por parte do requerente.

4.2.2 Existência de Programa de Medição

O formulário inclui ainda uma questão sobre a existência de um programa de medição previamente desenvolvido para as dimensões em análise. Dependendo da resposta, a estimativa de tempo é ajustada da seguinte forma:

- **Programa existente:** não implica qualquer acréscimo de tempo;
- **Necessidade de criação de novo programa:** acresce 1,5 dias úteis.

Esta diferenciação resulta da análise de pedidos anteriores, nos quais se observou que o desenvolvimento de um novo programa de medição — incluindo a interpretação do desenho técnico, a definição da sequência de medição, a validação interna e eventual retrabalho — exige, em média, entre 10 a 14 horas de trabalho técnico contínuo. Foi, por isso, adotado um valor estimado de 12 horas, correspondente a **1,5 dias úteis**, como incremento representativo.

4.2.3 Presença de Estratégia de Medição

Outro fator determinante na análise técnica do pedido diz respeito à existência de uma estratégia de medição definida para as dimensões em causa. Este conceito engloba elementos como o posicionamento da peça, número e distribuição dos pontos de medição, tipo de ponteiros utilizadas, sequência do processo e eventual necessidade de JIGs de apoio — aspetos que impactam diretamente o tempo necessário para configurar e executar a medição.

A aplicação questiona o requerente sobre a existência prévia dessa estratégia, disponibilizando duas opções:

- **Estratégia definida:** sem impacto na estimativa de tempo;
- **Estratégia por definir:** acrescenta 0,5 dias úteis à estimativa base.

Este valor foi determinado com base na análise de casos anteriores em que a inexistência de estratégia clara implicava reuniões adicionais, iterações na montagem da peça e ajustes sucessivos no método de medição. Estas atividades, quando não preparadas com antecedência, acrescentavam cerca de 3 a 5 horas ao tempo de execução — tendo-se optado por um valor médio de 4 horas, que corresponde a 0,5 dia útil.

4.2.4 Cálculo do Tempo Estimado

O tempo estimado de execução de cada pedido foi definido com base na experiência acumulada do laboratório, considerando situações anteriores e tempos médios observados. Verificou-se, empiricamente, que a medição de um conjunto de 10 dimensões técnicas corresponde, em média, a um dia completo de trabalho (cerca de 8 horas).

Com base nesta referência, o tempo base é determinado proporcionalmente ao número de dimensões, agrupadas por blocos de 10, e multiplicado pelo número total de peças a medir, calculado como o produto entre o número de cavidades e o número de amostras por cavidade:

$$T_{base} = \left(\frac{D}{10} \cdot 8\right) \cdot n_{pc} \times n_{cv}$$

A este tempo base, são somados incrementos adicionais consoante três condições técnicas específicas que tendem a aumentar significativamente o tempo de execução:

- A presença de dimensões com GD&T (tolerâncias geométricas) implica a utilização de equipamentos de medição tridimensional (CMM), acrescentando 4 horas (0,5 dias);
- A inexistência de um programa de medição previamente criado exige o desenvolvimento de um novo, com um impacto estimado de 12 horas (1,5 dias);
- A ausência de uma estratégia de medição definida implica um tempo adicional de 4 horas (0,5 dias) para planeamento técnico.

A fórmula final que expressa o tempo total estimado (em horas) é a seguinte:

$$T_{estimado\ total} = \left(\frac{D}{10} \cdot 8\right) \cdot n_{pc} \times n_{cv} + 4 \times x_1 + 12 \times x_2 + 4 \times x_3$$

Onde:

- D representa o número de dimensões,
- n_{pc} : número de peças por cavidade,
- n_{cv} : número de cavidades.
- x_1, x_2, x_3 : são variáveis booleanas (1 ou 0) conforme as três condições referidas estejam ou não presentes.

Exemplo prático:

Suponha-se um pedido com as seguintes características:

- $D = 30$ dimensões;
- $n_{cv} = 2$ cavidades;
- $n_{pc} = 3$ amostras por cavidade;
- O desenho contém GD&T ($x_1 = 1$);
- É necessário criar um novo programa ($x_2 = 1$);
- Já existe uma estratégia de medição ($x_3 = 0$);

O tempo total estimado será então:

$$T_{estimado\ total} = \left(\frac{30}{10} \cdot 8\right) \cdot (2 \times 3) + 4 \times 1 + 12 \times 1 + 4 \times 0$$

Ou seja, o tempo estimado para a execução deste pedido seria de **160 horas**, o equivalente a **20 dias de trabalho**, tal como é possível observar na Figura 20:

Formulário para realizar pedido de metrologia:
Todos os itens com(*) devem ser preenchidos.

Pedido Metrologia:

Nova estratégia de medição?

Desenho tem dimensões GD&T?

Novo programa de medição?

Numero de peças por cavidade
3

Numero de cavidades
2

Quantidade de dimensões
30

* Data proposta
Selecionar uma data...

Submeter

Tempo estimado para a atividade: 20,0 dias de trabalho

Figura 20 -Validação da fórmula de cálculo de tempo estimado

Esta abordagem permitiu uma estimativa coerente com a realidade prática, garantindo previsibilidade no planeamento das tarefas e fundamentando o cálculo em dados técnicos previamente verificados no contexto real do laboratório.

É importante destacar que esta fórmula foi construída com base em valores empíricos e pode ser ajustada conforme a realidade do laboratório evolua. Por exemplo, a introdução de novas tecnologias de medição, a automatização de certas etapas, ou a disponibilização de bibliotecas de programas reutilizáveis poderão reduzir significativamente os tempos médios atribuídos a cada componente do processo.

Da mesma forma, se se verificar que a complexidade média das peças submetidas aumentou — exigindo mais tempo por dimensão — o coeficiente de base (tempo por 10 dimensões) poderá ser revisto para manter a precisão da estimativa. A modularidade da fórmula permite essa flexibilidade, sendo possível recalibrar os parâmetros sempre que surjam alterações no contexto operacional, mantendo assim o modelo válido e útil para a gestão de planeamento e alocação de recursos.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A introdução da aplicação para gestão de pedidos ao laboratório de metrologia veio reformular profundamente o processo, não apenas ao nível operacional, mas também na forma como a informação é estruturada, analisada e utilizada para suporte à decisão. A digitalização permitiu resolver ineficiências anteriormente naturalizadas e trouxe consigo ganhos visíveis em fiabilidade, transparência e organização.

Este capítulo apresenta uma análise crítica das transformações introduzidas, comparando o modelo anterior (AS-IS Figura 5) com o novo modelo digital (TO-BE - Figura 6), com base nos diagramas de processo elaborados. A discussão incide nos impactos operacionais, técnicos e organizacionais, sendo sustentada por observações práticas e evidência recolhida durante a fase de implementação.

5.1 Estruturação e Padronização do Processo

No modelo anterior, a ausência de um canal único e estruturado para a submissão de pedidos resultava num fluxo de trabalho altamente fragmentado. Os pedidos eram feitos por meios diversos e informais, como emails soltos ou trocas verbais, o que dava origem a situações recorrentes de:

- Falta de informação essencial nos pedidos;
- Necessidade de contactos adicionais para esclarecer requisitos técnicos;
- Dificuldade em manter registo do histórico dos pedidos;
- Impossibilidade de priorizar tarefas de forma objetiva.

Com a implementação da aplicação, introduziu-se uma lógica padronizada, com campos obrigatórios, validações automáticas e registo direto numa base de dados central. Cada pedido segue agora um percurso bem definido, permitindo:

- Recolha de dados consistentes desde a origem;
- Redução significativa da variabilidade nos pedidos;
- Visibilidade imediata do estado de cada requisição;
- Maior controlo sobre o fluxo de trabalho no laboratório.

Esta estrutura padronizada conferiu ao processo uma previsibilidade antes inexistente e facilitou a coordenação entre Requerentes, técnicos e o gestor do laboratório.

5.2 Eliminação da Ambiguidade Técnica e Redução de Erros

Com o novo sistema baseado em critérios previamente definidos, como:

- Número de dimensões a medir;
- Viabilidade da medição com instrumentos manuais;

- Existência ou não de programa de medição;
- Presença de dimensões com GD&T.

A automatização desta lógica reduziu significativamente o erro humano. Ao mesmo tempo, assegurou uma triagem mais eficaz, permitindo ao técnico de metrologia focar-se no conteúdo técnico do pedido e não na sua correção.

5.3 Estimativa de Tempo de Execução Transparente e Justificada

Uma das melhorias mais relevantes introduzidas com a nova aplicação foi a implementação de uma **estimativa de tempo de execução baseada em regras objetivas e automatizadas**, tal como explicado no capítulo acima. Anteriormente, esta previsão era feita de forma empírica, sem registo estruturado e dependente da perceção individual do técnico responsável. Este cenário dificultava o planeamento por parte dos Requerentes e gerava inconsistências na comunicação entre áreas.

Com a aplicação desenvolvida, este processo passou a contar com um mecanismo automatizado e transparente, com as seguintes características:

- **A estimativa de tempo é apresentada em tempo real**, no momento da submissão do pedido;
- **O cálculo é suportado por critérios técnicos bem definidos**, como a necessidade de recurso a CMM (presença de GD&T), número de dimensões e desenvolvimento (ou não) de programas de medição e também de estratégia de medição;
- **Cada acréscimo de tempo é justificado individualmente**, permitindo ao requerente compreender o racional por detrás da estimativa final.

Esta funcionalidade contribuiu significativamente para o alinhamento de expectativas entre áreas, reduziu a necessidade de esclarecimentos adicionais e reforçou a confiança dos utilizadores no sistema, promovendo uma cultura de planeamento mais rigorosa e fundamentada.

5.4 Rastreabilidade e Capacidade de Monitorização

A centralização dos dados num único sistema digital trouxe ganhos evidentes no que diz respeito à rastreabilidade. Cada pedido fica agora associado a um registo permanente, que pode ser consultado tanto pelo requerente como pelos responsáveis do laboratório.

Entre os avanços mais relevantes destacam-se:

- Acesso imediato ao histórico completo dos pedidos submetidos;
- Possibilidade de acompanhamento em tempo real do estado de execução;
- Registo automático de todos os parâmetros relevantes para análise futura;

- Potencial de integração com ferramentas como Power BI, permitindo visualizar indicadores-chave como o tempo médio de resposta, taxa de pedidos por área requerente, ou taxa de utilização de CMM.

A rastreabilidade do processo é assegurada de forma integral pela aplicação, através da associação automática e contínua de cada pedido a um conjunto de metainformações padronizadas, nomeadamente:

- ID único de submissão (SharePoint);
- Data e hora de registo (timestamp);
- Identificação do requerente (via autenticação interna);
- Estado atual e histórico de pedidos.

Esta arquitetura permite que qualquer pedido submetido seja consultado a posteriori com toda a informação associada, possibilitando auditorias internas, análise de tempos de resposta e identificação de gargalos.

Assim, o termo “rastreabilidade integral” não se refere apenas à existência de um histórico básico, mas a uma estrutura relacional completa, na qual todas as fases e intervenientes são registados de forma sistemática e acessível.

Estes dados representam a base para uma futura abordagem mais estratégica da área, orientada por indicadores concretos e alinhada com os princípios da Qualidade 4.0.

5.5 Eficiência Operacional e Fiabilidade na Resposta

Apesar de o projeto ainda se encontrar numa fase inicial de maturação, os resultados observados até ao momento são bastante promissores. Alguns dos benefícios já identificados incluem:

- Redução significativa no número de pedidos devolvidos por falta de informação;
- Melhoria na qualidade e consistência dos dados submetidos;
- Menor necessidade de esclarecimentos adicionais por parte do técnico;
- Ganhos de tempo na triagem e organização dos pedidos;
- Melhoria na previsibilidade da carga de trabalho e capacidade de resposta do laboratório.

Um dos contributos relevantes para esta melhoria operacional foi a implementação do calendário automático “Metrology”. Esta funcionalidade, para além de reforçar a visibilidade do planeamento a curto prazo, permite que técnicos e gestores antecipem constrangimentos e ajustem as prioridades de execução com base em dados previamente estruturados. Esta previsibilidade traduz-se numa resposta mais ágil e fundamentada às exigências internas.

Embora ainda não existam métricas quantitativas consolidadas sobre tempos médios antes e depois da implementação, os testemunhos dos utilizadores e observações qualitativas recolhidas apontam para um impacto claro e positivo no funcionamento global do processo.

Após a implementação da aplicação e a sua utilização em ambiente real, foi conduzido um processo de avaliação estruturada, com base no **formulário de monitorização apresentado no Apêndice D**. A recolha de dados envolveu os três perfis principais de utilizadores — **Requerente, Técnico de Metrologia e Gestor do Laboratório** — com o objetivo de monitorizar o desempenho da solução e recolher sugestões de melhoria contínua.

No total, foram obtidos **7 formulários válidos**, preenchidos após pelo menos duas semanas de utilização efetiva da aplicação. A avaliação seguiu uma escala de 1 (Muito Insatisfatório) a 5 (Excelente), abrangendo os seguintes aspetos:

- Desempenho da aplicação (velocidade, estabilidade);
- Informação das notificações automáticas;
- Facilidade de acesso à informação submetida;
- Utilidade do planeamento automático no Outlook/Planner;
- Redução de erros e retrabalho no processo;
- Satisfação global com a aplicação no ambiente real.

Os resultados quantitativos foram bastante positivos, revelando um elevado nível de aceitação e utilidade prática:

- **Desempenho da aplicação:** média = 4,6
- **Notificações automáticas:** média = 4,3
- **Facilidade de acesso à informação:** média = 4,4
- **Planeamento automático no Outlook/Planner:** média = 4,5
- **Redução de erros/retrabalho:** média = 4,4
- **Satisfação global:** média = 4,7

Estes dados evidenciam não só a robustez técnica da aplicação, como também o seu impacto direto na melhoria dos processos internos. Paralelamente, os campos abertos do formulário permitiram identificar padrões qualitativos relevantes:

- Os **Requerentes** destacaram a redução de tempo no registo de pedidos e a padronização da informação inserida;
- Os **Técnicos** valorizaram a lógica de verificação automática e a centralização dos anexos, o que reduziu falhas e pedidos incompletos;
- O **Gestor do laboratório** salientou a melhoria significativa no planeamento da carga de trabalho, com base na visibilidade e previsibilidade proporcionadas pelo sistema.

Conclui-se que a aplicação não só cumpre os requisitos técnicos e funcionais definidos no início do projeto, como **introduz ganhos objetivos em eficiência, rastreabilidade e organização operacional**. Os resultados obtidos suportam ainda a sua continuidade e evolução futura, com base nas sugestões recebidas durante a fase de monitorização.

5.6 Comparação Funcional entre o Processo Antigo e o Novo

A reestruturação do processo de requisição de metrologia foi formalizada com o suporte de dois diagramas BPMN – um representando o modelo anterior (AS-IS) e outro o modelo digital implementado (TO-BE), conforme apresentado anteriormente. Esta representação gráfica permitiu identificar, com clareza, os pontos de ineficiência no processo antigo e validar os ganhos operacionais obtidos com a digitalização. A Tabela 2 apresenta uma comparação direta entre os dois modelos, destacando as melhorias implementadas.

Tabela 3 – Tabela de comparação processo antigo “AS IS” e novo “TO BE”

	PROCESSO ANTIGO (AS IS)	PROCESSO NOVO (TO BE)
1. INÍCIO DO PEDIDO	Requerente faz um pedido genérico.	Pedido inicia-se com o preenchimento de um formulário estruturado .
2. VALIDAÇÃO DA INFORMAÇÃO	Feita manualmente, com verificações subjetivas.	Verificação automatizada da correção do preenchimento .
3. COMUNICAÇÃO DE ERROS	Enviava-se apenas email ou ligava-se a informar da não aceitação ou a pedir clarificação.	Sistema envia pedido de clarificação , permitindo reutilizar o pedido.
4. ACEITAÇÃO DO PEDIDO	Verifica-se se é possível aceitar com base no planeamento e informa-se através de chamadas ou mensagens	Após validação, o requerente recebe confirmação automatizada .
5. ATUALIZAÇÃO DE ESTADO	Não existe uma informação clara sobre o progresso das medições.	Atualização do estado automaticamente após passar por cada passo.
6. RECOLHA DE AMOSTRAS	Processo pouco claro e sujeito a esquecimentos.	Há verificação se as amostras foram recolhidas , bloqueando partilha de resultados se não o forem.
7. COMUNICAÇÃO DE RESULTADOS	Manual e dependente do técnico.	Envio automático de email com o resultado .

5.7 Considerações Finais e Reflexão Crítica

Mais do que uma ferramenta digital isolada, a aplicação desenvolvida representa uma mudança estrutural no modo como o processo de requisição ao laboratório de metrologia é compreendido, executado e gerido. A digitalização não se limitou a automatizar tarefas —

reconfigurou comportamentos, aumentou a fiabilidade da informação e trouxe à superfície uma área de suporte técnico frequentemente subvalorizada no contexto da organização.

A eliminação da informalidade e da subjetividade na submissão e análise dos pedidos teve efeitos imediatos, nomeadamente:

- Maior transparência na triagem e planeamento;
- Responsabilização objetiva dos intervenientes, com regras claras;
- Dignificação do papel da metrologia, agora visível através de indicadores concretos e rastreáveis.

Este novo enquadramento tornou possível uma gestão proativa dos recursos laboratoriais, permitindo antecipar picos de carga de trabalho, identificar gargalos e apoiar decisões de priorização com base em dados.

Adicionalmente, o facto de a aplicação ter sido desenvolvida em *Power Apps*[®], com arquitetura modular e integração com ferramentas como *Power Automate*[®] e *Planner*[®], oferece elevada flexibilidade e escalabilidade. Este ponto é especialmente relevante, uma vez que:

- A solução pode ser facilmente adaptada a outros contextos técnicos internos, como inspeções de qualidade ou manutenção preventiva;
- Pode servir de modelo replicável para outras unidades ou departamentos, com ajustes mínimos;
- Permite evolução contínua, incorporando feedback dos utilizadores sem necessidade de reconstrução total da plataforma.

Do ponto de vista cultural, a aplicação provocou uma mudança de paradigma: o processo deixou de ser visto como um “pedido técnico” opaco e tornou-se num ciclo planeado, monitorizado e auditável, onde todas as partes envolvidas compreendem os critérios, as restrições e os impactos das suas escolhas. Esta transformação traduz-se numa maior confiança interna, melhoria da colaboração interdepartamental e uma cultura mais orientada à qualidade e à melhoria contínua.

Em síntese, a digitalização do processo de requisição ao laboratório de metrologia ultrapassou largamente os ganhos operacionais esperados. Constituiu-se como um instrumento estratégico, potenciador de eficiência, rigor e conhecimento. A solução não apenas respondeu aos problemas identificados no modelo AS-IS, como lançou as bases para a construção de um serviço técnico mais robusto, mensurável e alinhado com os princípios da Qualidade 4.0.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões Finais

O projeto desenvolvido teve como principal objetivo reestruturar e digitalizar o processo de requisição de serviços ao laboratório de metrologia, através da implementação de uma aplicação concebida em *Microsoft Power Apps*[®]. Esta iniciativa procurou dar resposta às fragilidades identificadas no processo, marcado pela informalidade na comunicação e pela ausência de registos sistemáticos.

A presente dissertação teve como questão central: **De que forma a centralização digital dos processos pode melhorar a eficiência e a rastreabilidade num laboratório de metrologia?**

Os resultados obtidos permitem afirmar que a centralização digital, concretizada através do desenvolvimento de uma aplicação personalizada, contribuiu de forma clara para a melhoria da eficiência e rastreabilidade operacional no laboratório em estudo.

Através da eliminação de canais dispersos (como e-mail, telefone e comunicação verbal), e da criação de um ponto único de submissão, acompanhamento e gestão de pedidos, foi possível reduzir erros, eliminar redundâncias e agilizar a resposta às solicitações.

A rastreabilidade foi assegurada por mecanismos automáticos de registo e controlo, permitindo o acesso contínuo ao estado de cada pedido e ao respetivo histórico. Esta rastreabilidade não apenas garante a conformidade com requisitos de qualidade e auditoria, como também permite análises retrospectivas de desempenho e planeamento.

Do ponto de vista da **centralização de dados**, o projeto demonstrou que uma plataforma unificada facilita o controlo, a partilha de informação e a tomada de decisão. A consolidação de todos os pedidos e respetivos atributos num repositório único (SharePoint), com lógica integrada em Power Apps e Power Automate, traduziu-se num modelo de operação mais transparente, confiável e sustentável.

A centralização revelou-se, assim, não apenas uma questão técnica, mas um **fator estratégico de modernização**, promovendo a normalização dos fluxos, a previsibilidade das ações e a melhoria contínua dos serviços prestados pelo laboratório.

A análise detalhada do processo existente evidenciou um funcionamento altamente dependente da experiência dos técnicos e da comunicação informal entre os intervenientes, o que dificultava o planeamento eficaz, comprometia a fiabilidade das previsões e impossibilitava a criação de métricas de desempenho.

A nova solução foi desenhada com base em três eixos fundamentais:

- **Padronização do processo de submissão**, através de um formulário intuitivo, guiado e adaptado ao nível de conhecimento do requerente;

- **Automatização da lógica de planeamento**, com regras técnicas claras associadas ao número de dimensões, necessidade de CMM, existência de programas de medição e estratégia de medição;
- **Rastreabilidade integral**, com registo centralizado dos pedidos, atualização automática do estado e possibilidade de análise de dados históricos.

Acresce a este conjunto de melhorias a funcionalidade de criação automática de eventos no calendário do laboratório. Esta medida revelou-se especialmente útil para o planeamento antecipado e controlo da carga de trabalho, contribuindo para uma abordagem mais previsível e coordenada no processo de execução das medições.

Com esta aplicação, foi possível alcançar melhorias evidentes na qualidade dos dados submetidos, na agilidade da triagem técnica e na transparência da estimativa de tempo de execução. A separação clara de responsabilidades entre requerente, técnico de metrologia e gestor do laboratório permitiu também reduzir erros, uniformizar decisões e reforçar a confiança no processo.

Mais do que uma ferramenta funcional, a solução implementada representa uma mudança estrutural na forma como o serviço metrológico é solicitado e gerido.

6.2 Trabalhos Futuros

Apesar das melhorias já alcançadas, o sistema atual representa apenas o ponto de partida de um processo mais amplo de transformação digital. A arquitetura modular e a flexibilidade da aplicação permitem um conjunto de evoluções relevantes, entre as quais se destacam:

- **Criação de dashboards analíticos em Power BI**, que possibilitem o acompanhamento de indicadores como tempos médios de execução, tipos de medições mais frequentes, variação da carga de trabalho ao longo do tempo, entre outros;
- **Integração da aplicação com o Calendário no Microsoft Teams**, permitindo a criação automática de tarefas para cada pedido submetido, com base no tempo estimado calculado. Esta integração permitirá:
 - Visualizar a carga de trabalho por dia/semana em formato de calendário;
 - Sincronizar os tempos estimados com as agendas reais, reforçando o planeamento e a capacidade de resposta do laboratório;
- **Expansão da aplicação a outras áreas técnicas**, como a receção técnica de materiais ou a verificação de componentes críticos, reutilizando a lógica de decisão e a estrutura do formulário;
- **Implementação de um módulo de feedback**, onde os Requerentes possam avaliar o serviço recebido, fornecendo informação útil para ações de melhoria contínua e reforço da qualidade do atendimento técnico.

Estes desenvolvimentos futuros irão não só reforçar os ganhos já obtidos, como também posicionar o laboratório de metrologia como uma unidade estratégica no sistema de qualidade

da organização — **mais proativa, orientada por dados e integrada nos fluxos de decisão industrial.**

Complementarmente, está prevista a realização futura de uma avaliação sistemática da experiência dos utilizadores da aplicação, após um período representativo de utilização em contexto real. Para tal, será elaborado e aplicado um questionário estruturado dirigido aos diferentes perfis de utilizador — Requerentes, técnicos de metrologia e gestor do laboratório — com o objetivo de recolher dados objetivos sobre a usabilidade da aplicação, a clareza dos formulários, a utilidade da estimativa de tempo fornecida, bem como a visibilidade do estado dos pedidos. Esta iniciativa permitirá recolher informação quantitativa e qualitativa essencial para orientar melhorias sustentadas e reforçar o alinhamento da aplicação com as necessidades concretas do terreno.

No sentido de orientar de forma estratégica a execução destes desenvolvimentos, propõe-se a seguinte **matriz de priorização**, Tabela 4, construída com base no impacto operacional esperado, na complexidade de implementação e na urgência de cada iniciativa:

Tabela 4 – Matriz de priorização de Atividades

Desenvolvimento Futuro	Prioridade	Justificação
Criação de dashboards analíticos em Power BI	Alta	Instrumento essencial para monitorizar o desempenho do processo, identificar padrões e suportar decisões de melhoria contínua.
Integração com o Calendário no Microsoft Planner	Alta	Permite alinhar previsões com a execução real, facilitando a gestão de recursos e aumentando a previsibilidade das atividades.
Implementação de módulo de feedback do Requerente	Média	Relevante para recolher perceções dos utilizadores, mas requer maturidade na utilização da aplicação para obter dados úteis.
Avaliação da experiência dos utilizadores através de questionário	Média	Essencial para validar a eficácia da solução, embora dependente de um período de utilização representativo.
Expansão da aplicação a outras áreas técnicas	Baixa	Representa uma oportunidade futura de reaproveitamento da lógica desenvolvida, mas pressupõe consolidação da solução atual.

A definição desta matriz permitirá canalizar os esforços de desenvolvimento para as iniciativas com maior retorno esperado no curto e médio prazo, assegurando uma evolução sustentada e alinhada com as necessidades operacionais do laboratório.

Para além destas iniciativas, destaca-se como proposta estratégica futura a **integração de inteligência artificial e modelos preditivos** no apoio à gestão. Uma possibilidade concreta seria a utilização de algoritmos de aprendizagem automática (*machine learning*) para:

- Previsão mais precisa do tempo de execução, com base em dados históricos de medições, tipo de peça, número de dimensões e complexidade técnica;
- Detecção de anomalias nos pedidos submetidos, como inconsistências, omissões ou desvios em relação a padrões históricos;
- Sugestão inteligente de programação de tarefas, ajustando dinamicamente os prazos e prioridades conforme a carga de trabalho real.

A integração de IA permitiria assim passar de um modelo baseado em regras estáticas para um sistema adaptativo e inteligente, com capacidade de aprender com a experiência acumulada e de se ajustar automaticamente ao contexto. Este avanço contribuiria para uma gestão ainda mais eficiente e transparente do laboratório de metrologia.

6.3 Limitações e Considerações Críticas

Apesar dos resultados alcançados, é importante reconhecer algumas limitações que devem ser consideradas na avaliação do impacto da aplicação e na definição de desenvolvimentos futuros:

- **Dependência tecnológica:** A aplicação assenta na plataforma *Microsoft Power Apps*, integrada no Microsoft 365, o que implica dependência de licenciamento contínuo e possíveis restrições em termos de desempenho ou integração com outros sistemas.
- **Validação da lógica de estimativa:** A fórmula de cálculo do tempo de execução baseia-se em conhecimento empírico, carecendo de validação com dados históricos estruturados que permitam aferir com rigor a sua fiabilidade em diferentes cenários.
- **Risco de resistência à adoção:** A mudança de um processo informal para um sistema digital estruturado pode ser percebida como um desafio por alguns utilizadores, sobretudo os menos familiarizados com tecnologia. A inexistência de um plano formal de gestão da mudança agrava este risco.
- **Limitações metodológicas:** A metodologia de investigação-ação utilizada revelou-se adequada para envolver os utilizadores no desenvolvimento e adaptação contínua da solução. No entanto, por não ter sido definida uma base de dados de referência antes da implementação, e por não existir um grupo comparativo que mantivesse o processo antigo, torna-se difícil quantificar, com total precisão, qual o impacto direto da aplicação em indicadores como a eficiência, os tempos de resposta ou a redução de erros. Os resultados observados são positivos, mas podem também refletir outros fatores, como o maior envolvimento dos utilizadores ou a mudança de hábitos operacionais ao longo do tempo.

Reconhecer estas limitações é essencial para garantir a evolução sustentada da solução e consolidar as bases para futuros trabalhos de aprofundamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Shaji, G. (2024). *The Fourth Industrial Revolution: A Primer on Industry 4.0 and its Transformative Impact*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10671872>
- Andrew Olu-lawal, K., Kayode Olajiga, O., Chigozie Ani, E., Kehinde Adeleke, A., & Jose Portillo Montero, D. (2024). THE ROLE OF PRECISION METROLOGY IN ENHANCING MANUFACTURING QUALITY: A COMPREHENSIVE REVIEW. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(3), 728–739. <https://doi.org/10.51594/estj/v5i3.868>
- Araújo, F., & Varajão, J. (2023). Vantagens e Desvantagens do Desenvolvimento de Sistemas de Informação com Tecnologias Low-Code – Uma Revisão de Literatura: Completed Research Full Paper. *Proceedings of the Americas Conference on Information Systems (AMCIS)*, 1-1–9. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aps&AN=172885921&site=eds-live>
- Barbosa, C. R. H., Sousa, M. C., Almeida, M. F. L., & Calili, R. F. (2022). Smart Manufacturing and Digitalization of Metrology: A Systematic Literature Review and a Research Agenda. In *Sensors* (Vol. 22, Issue 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/s22166114>
- Beranič, T., Rek, P., & Heričko, M. (2020). Adoption and Usability of Low-Code/No-Code Development Tools. *Central European Conference on Information & Intelligent Systems*, 97-97–103. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aps&AN=149342042&site=eds-live>
- Bies, L., Weber, M., Greff, T., & Werth, D. (2022). A Mixed-Methods Study of Low-Code Development Platforms: Drivers of Digital Innovation in SMEs. *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2022*. <https://doi.org/10.1109/ICECCME55909.2022.9987920>
- Bisht, B., Rawat, K., Vohat, A., Jangid, N., Singh, N., Nishinari, K., Vlaskin, M. S., Kurbatova, A., & Kumar, V. (2025). Industry 4.0 digital transformation: Shaping the future of food quality. In *Food Control* (Vol. 170). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.111030>
- Coutinho, C. P., Sousa, A., Dias, A., Bessa, F., Ferreira, M. J., & Vieira, S. (2009). Investigação-ação: metodologia preferencial nas práticas educativas. *Revista Psicologia, Educação e Cultura*, 13(2), 1–26. https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/10148/1/Investiga%c3%a7%c3%a3o_Ac%c3%a7%c3%a3o_Metodologias.PDF
- Elshan, E., Dickhaut, E., & Ebel, P. A. (2023). *An Investigation of Why Low Code Platforms Provide Answers and New Challenges*. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2023.746>

- Hassan, M. (2025). *Assessing the Impact of Low-Code Process Automation on Pension Application Processing in Municipal Settings: A case study*. www.bth.se
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2023). An integrated outlook of Cyber–Physical Systems for Industry 4.0: Topical practices, architecture, and applications. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100001. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2022.100001>
- Mahfoud, H., Moutaoukil, O., Toum Benchekroun, M., & Latif, A. (2024). Real-Time Predictive Maintenance-Based Process Parameters: Towards an Industrial Sustainability Improvement. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 931 LNNS, 18–34. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54288-6_3
- Majocco, P., Mosch, P., & Obermaier, R. (2024). Digital transformation under uncertainty - market value effects of early Industry 4.0 innovation projects. *Procedia Computer Science*, 232, 232–241. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.023>
- Martinez, E., & Pfister, L. (2023). Benefits and limitations of using low-code development to support digitalization in the construction industry. In *Automation in Construction* (Vol. 152). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104909>
- Miguel, J., & Pereira Da Silva, P. (2016). *ACREDITAÇÃO DO LABORATÓRIO DE METROLOGIA DA FRILABO PARA ENSAIOS E CALIBRAÇÕES EM TEMPERATURAS*.
- Na, L., Qin, L., Lili, W., & Xiaoyi, L. (2008). A novel approach for automation of precision calibration process. *Proceedings of the 2008 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability, ICIAFS 2008*, 319–323. <https://doi.org/10.1109/ICIAFS.2008.4783927>
- Neumann, E. M., Vogel-Heuser, B., Haben, F., Krüger, M., & Wieringa, T. (2022). Introduction of an Assistance System to Support Domain Experts in Programming Low-Code to Leverage Industry 5.0. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(4), 10422–10429. <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3193728>
- Oppermann, A., Eickelberg, S., Exner, J., Bock, T., Bernien, M., Niepraschk, R., Heeren, W., Baer, O., & Brown, C. (2022). Digital Transformation in Metrology: Building a Metrological Service Ecosystem. *Procedia Computer Science*, 200, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.229>
- Panagiotidou, E., Chountalas, P. T., Magoutas, A., & Kitsios, F. C. (2024). The multifaceted impact of ISO/IEC 17025 accreditation: a sector-specific analysis in civil engineering testing and calibration laboratories. *TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-10-2023-0347>
- Pang, C., Liang, J., Yu, G., Zhang, J., Nishi, H., Wang, K. I. K., Li, Z., Dai, W., & Vyatkin, V. (2024). A Low-Code Development Platform for Industrialized Insect-based Bioconversion

- Systems. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*.
<https://doi.org/10.1109/ISIE54533.2024.10595736>
- Qiu, F., Kumar, A., Hu, J., Sharma, P., Tang, Y. B., Xu Xiang, Y., & Hong, J. (2025). A Review on Integrating IoT, IIoT, and Industry 4.0: A Pathway to Smart Manufacturing and Digital Transformation. In *IET Information Security* (Vol. 2025, Issue 1). John Wiley and Sons Ltd.
<https://doi.org/10.1049/ise2/9275962>
- Rajaram, A., Olory, C., Leduc, V., Evaristo, G., Coté, K., Isenberg, J., Isenberg, J. S., Dai, D. L., Karamchandani, J., Chen, M. F., Maedler-Kron, C., & Fiset, P. O. (2022). An integrated virtual pathology education platform developed using Microsoft Power Apps and Microsoft Teams. *Journal of Pathology Informatics*, 13.
<https://doi.org/10.1016/j.jpi.2022.100117>
- Rijwani, T., Kumari, S., Srinivas, R., Abhishek, K., Iyer, G., Vara, H., Dubey, S., Revathi, V., & Gupta, M. (2024). Industry 5.0: a review of emerging trends and transformative technologies in the next industrial revolution. In *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. Springer-Verlag Italia s.r.l. <https://doi.org/10.1007/s12008-024-01943-7>
- Sá, D., Guimarães, T., Abelha, A., & Filipe Santos, M. (2024). Low Code Approach for Business Analytics. *Procedia Computer Science*, 231, 421–426.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.228>
- Sanchis, R., García-Perales, Ó., Fraile, F., & Poler, R. (2020). Low-code as enabler of digital transformation in manufacturing industry. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1).
<https://doi.org/10.3390/app10010012>
- Schenkenfelder, B., Salomon, C., Buchgeher, G., Schossleitner, R., & Kerl, C. (2023). The Potential of Low-Code Development in the Manufacturing Industry. *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2023-September*.
<https://doi.org/10.1109/ETFA54631.2023.10275503>
- Sousa, J., Mendonça, J. P., & Machado, J. (2022). A generic interface and a framework designed for industrial metrology integration for the Internet of Things. *Computers in Industry*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103632>
- Strazzullo, S., Cricelli, L., Troise, C., & Camilleri, M. A. (2024). Leveraging Industry 4.0 technologies for sustainable value chains: Raising awareness on digital transformation and responsible operations management. *Sustainable Development*.
<https://doi.org/10.1002/sd.3211>
- Traqueia, A., Pacheco, E., & Taveira, E. (2019). *REFLEXÃO CRÍTICA SOBRE MÉTODOS E TÉCNICAS DE RECOLHA DE DADOS: INVESTIGAÇÃO-AÇÃO*.

You, Z., & Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE Access*, 8, 122908–122922.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>

APÊNDICE A - FORMULÁRIO DE ENTREVISTA – LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

Com o objetivo de compreender em profundidade as necessidades dos diferentes intervenientes no processo de requisição metrológica, foi realizado um conjunto de entrevistas semiestruturadas. Estas entrevistas serviram de base para o levantamento de requisitos funcionais e não funcionais da aplicação a desenvolver. As perguntas aplicadas foram:

1. Quais os principais desafios que encontra atualmente no processo de submissão de pedidos de medição?
2. Que dificuldades existe atualmente na gestão do laboratório de metrologia?
3. Que informações considera essenciais para que um pedido seja claro e completo?
4. Existe alguma etapa do processo atual que considera redundante ou ineficiente?
5. De que forma gostaria de acompanhar o estado dos seus pedidos?
6. Que melhorias acredita que uma aplicação digital poderia introduzir no seu trabalho?

Validação do Envolvimento dos Stakeholders

A participação ativa dos stakeholders foi assegurada ao longo de todas as fases do projeto através das seguintes ações:

- **Entrevistas individuais** com os três perfis principais de utilizador: requerentes, técnicos de metrologia e gestor do laboratório;
- **Sessões de validação coletiva**, onde foram apresentados os requisitos identificados e o modelo AS-IS, promovendo o alinhamento de expectativas;
- **Testes práticos da aplicação**, com recolha estruturada de feedback para ajustes iterativos;
- **Revisão e validação dos diagramas BPMN** com os intervenientes, garantindo a precisão da representação dos processos reais;
- **Incorporação efetiva do feedback recolhido** na definição da interface, fluxos de decisão e funcionalidades implementadas.

Esta abordagem garantiu um forte alinhamento da solução com as necessidades reais dos utilizadores e fomentou a sua aceitação e apropriação da ferramenta desenvolvida.

APÊNDICE B– PRIMEIRA PROPOSTA PARA A IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

A proposta inicial da aplicação "Metrology LAB – Power Apps" foi concebida com o intuito de dar resposta às dificuldades operacionais identificadas no processo informal de requisição de medições. Esta aplicação tem como objetivo centralizar, padronizar e automatizar a gestão dos pedidos de metrologia, permitindo uma melhoria significativa da eficiência, rastreabilidade e comunicação entre intervenientes.

Metrology LAB - Power Apps

Problema: Não existe um local que permita pessoas fora do departamento elaborarem um pedido de metrologia.

Objetivo: Criar uma aplicação onde seja possível elaborar pedidos de metrologia e fazer gestão de pedidos.

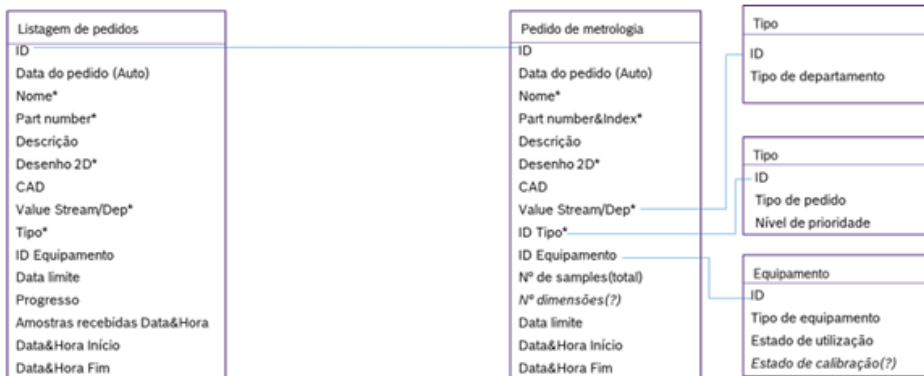
Funcionalidades:

- Registo de um novo pedido, permitindo a sua edição (enquanto não está em progresso) e o acompanhamento do estado;
- Aceitação/rejeição do pedido (colocação da estimativa de tempo e prioridade(L/M/H))
- Acompanhamento de algumas métricas
- Registo e visualização do resultado

Automações:

- Envio de email sempre que um novo pedido gerado, ou o seu estado alterado(PUQ responsável recebe também o email)
- Envio de um email com o fecho e resultado (deverá ser confirmado primeiro com PUQ Eng.)
- Após confirmação pelo PUQ Eng ser compartilhado com o Requisitor

Estrutura de Dados



Menus

- Menu Inicial
 - com listagem de pedidos e estado
 - ícone para adicionar novo pedido.
- Formulário de novo pedido
- Página de aceitação
- Página de abertura da atividade e registo (contabilização de tempo de máquina e de pessoa - Timer)
- Página Resultado

Esta proposta constitui a primeira iteração de conceção funcional e estrutural da aplicação, tendo servido de base ao desenvolvimento e testes iniciais em ambiente real. Foi posteriormente ajustada com base no feedback dos utilizadores e na validação dos requisitos definidos.

APÊNDICE C - FORMULÁRIO DE TESTES E VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO

Este formulário destina-se a recolher feedback de utilizadores durante a fase de testes da aplicação desenvolvida para o laboratório de metrologia. O objetivo é avaliar a funcionalidade, usabilidade e utilidade da solução implementada, de forma a identificar pontos fortes e oportunidades de melhoria.

Identificação do Utilizador

Nome: _____

Função: Requerente Técnico Gestor

Data do Teste: ____ / ____ / _____

Avaliação por Critérios

Por favor, assinale a opção que melhor reflete a sua opinião sobre cada afirmação:

Escala: 1 – Discordo totalmente | 2 – Discordo | 3 – Neutro | 4 – Concordo | 5 – Concordo totalmente

Critério	1	2	3	4	5
A aplicação é fácil de utilizar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A submissão do pedido foi intuitiva	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A informação técnica está clara e completa.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
O cálculo do tempo de execução foi compreensível	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
As tarefas foram bem atribuídas no calendário/planner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A aplicação melhora o planeamento e comunicação do processo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Comentários e Sugestões

O que considera mais útil nesta aplicação?

Encontrou alguma dificuldade durante a utilização?

Sugestões de melhoria:

APÊNDICE D - FORMULÁRIO DE MONITORIZAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA APLICAÇÃO

Este formulário destina-se a apoiar a fase de monitorização da aplicação implementada no ambiente operacional do laboratório de metrologia. O objetivo é recolher observações e sugestões contínuas dos utilizadores, identificando potenciais dificuldades, falhas recorrentes ou oportunidades de melhoria.

Identificação do Utilizador

Nome: _____

Função: Requerente Técnico Gestor

Data de registo: ____ / ____ / _____

Avaliação da Eficácia da Solução

Por favor, indique a sua opinião sobre os seguintes aspetos da aplicação:

Escala: 1 – Muito Insatisfatório | 2 – Insatisfatório | 3 – Aceitável | 4 – Bom | 5 – Excelente

Aspeto avaliado	1	2	3	4	5
Desempenho da aplicação (velocidade, estabilidade)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Informação das notificações automáticas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Facilidade de acesso à informação submetida	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Utilidade do planeamento automático no outlook/planner	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Redução de erros e retrabalho no processo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Satisfação global com a aplicação no ambiente real	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observações de Utilização (Monitorização)

Identificou algum problema ou falha técnica durante a utilização?

Existem funcionalidades que considera desnecessárias ou confusas?

Sugestões para melhoria contínua da aplicação:
