



Levantamento de requisitos provenientes dos diagnósticos do SHIFT2FUTURE na dimensão Estratégia, Organização e Cultura

Novembro de 2025
(versão 1.0)

Ficha Técnica

Designação: Relatório com levantamento de requisitos provenientes dos diagnósticos do SHIFT2FUTURE na dimensão Estratégia, Organização e Cultura

Entregável: D1.1

Entidade Responsável: ISQ – Instituto de Soldadura e Qualidade

Equipa Técnica

Realização: APSI – Associação Portuguesa de Sistemas de Informação

Coordenação e Revisão: ISQ

Data de Publicação: 25 de novembro de 2025

Programa de Financiamento

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)

Projeto

SHIFT2DigitalGreen - Promoção de fatores críticos para a transição digital e verde

Código Operação

COMPETE2030-FEDER-01275900

Índice

Resumo	iii
Acrónimos	iv
Lista de Tabelas	v
Lista de Figuras	v
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Objetivos	1
2 Levantamento das Necessidades	2
2.1 Estratégia	2
Formalizar a estratégia i4.0	2
Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia	3
Disponibilizar apoio estruturado ao diagnóstico, priorização e roadmap	4
Acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0 (sensibilização)	5
Orientar investimentos com base em evidências	6
Transformar tecnologias já presentes em valor	7
2.2 Síntese das necessidades da dimensão Estratégia	8
2.3 Organização	9
Ligar máquinas e sistemas às TI	9
Desenvolver comunicações M2M e interoperabilidade	10
Alargar a recolha automática de dados (cobertura total)	11
Integrar informação internamente e com parceiros	12
Implementar processos e controlo autónomos em tempo real	13
Evoluir da <i>cloud</i> como armazenamento para motor de inovação	14
Reforçar a gestão das TI e da segurança nas interfaces externas	15
2.4 Síntese das necessidades da dimensão Organização	16
2.5 Cultura	17
Fortalecer a cultura digital	17
Reduzir o receio da partilha e utilização de dados	19
Reforçar redes de colaboração e inovação aberta	20
2.6 Síntese das necessidades da dimensão Cultura	21
2.7 Inovação Digital	21
Criar serviços baseados em dados integrados com clientes	21
Aumentar o peso dos serviços <i>data-driven</i> no negócio	22
Passar da recolha para a utilização/análise de dados	24
Incorporar funcionalidades TIC nos produtos	24

Explorar dados produzidos pelo produto	25
Partilhar informação com clientes/fornecedores	26
Adotar SI integrados (MES/ERP/PPS) como base da digitalização	27
Atualizar infraestrutura para M2M	28
Digital twin em toda a fábrica	29
2.8 Síntese das necessidades da dimensão Inovação Digital.....	31
3 Pilares da transição digital incremental.....	33
3.1 Pilar Estratégia	33
3.2 Pilar Organização	34
3.3 Pilar Cultura	35
3.4 Pilar Inovação Digital	35
3.5 Reflexão Final.....	36
4 Definindo caminhos sustentáveis para a transição digital das PME	38
5 Conclusões.....	48
6 Referências bibliográficas	49

Resumo

A transição digital das pequenas e médias empresas (PME) constitui um processo essencial para a sua competitividade e resiliência, mas também representa um desafio significativo para a sua sustentabilidade. A literatura recente evidencia uma relação complexa entre maturidade digital e sustentabilidade. Embora o avanço digital promova eficiência, inovação e melhor desempenho ambiental, social e de governança, pode igualmente gerar efeitos negativos, como o aumento do consumo energético e dos resíduos eletrónicos. Assim, o impacto global da digitalização depende fortemente do modo como as empresas integram a tecnologia com os seus objetivos estratégicos e de sustentabilidade.

A maioria das métricas de desempenho das PME com elevados níveis de maturidade digital privilegia os aspetos económicos, negligenciando as dimensões sociais e ambientais. A falta de normalização na medição e a escassez de instrumentos adaptados às PME tornam difícil avaliar a contribuição real da digitalização para a sustentabilidade. Identificam-se ainda lacunas metodológicas, como a ausência de ferramentas de análise de fronteira estocástica ou de modelos de eficiência baseados em dados, e a reduzida utilização de inteligência artificial na avaliação da performance sustentável. O estudo de Mick et al. (2024) reforça estas conclusões ao mostrar que não existem, atualmente, “roadmaps” completos para a transformação digital sustentável das PME, sendo urgente desenvolver orientações práticas que integrem maturidade digital, inovação e os princípios de sustentabilidade.

Este relatório tem três objetivos principais: (i) identificar os pilares críticos da transição digital das PME; (ii) mapear as necessidades associadas a cada pilar, organização, tecnologia e financiamento; e (iii) analisar de que forma estas necessidades se relacionam com os impactes na sustentabilidade económica, social e ambiental. Ao fazê-lo, o relatório fornece uma leitura integrada da maturidade digital e das pressões de sustentabilidade, em vez de as tratar como agendas separadas.

O documento reúne evidências recentes sobre transformação digital nas PME, maturidade digital e sustentabilidade; integra contributos sobre medição de desempenho e governança; e cruza essa base teórica com as necessidades identificadas pelas empresas portuguesas nos domínios de Estratégia, Organização, Cultura e Inovação Digital. Esta articulação permite ligar práticas concretas, como automatização de processos, gestão de dados, novos modelos de negócio e governação ética da tecnologia, a resultados de eficiência operacional, competitividade, responsabilidade social e uso responsável de recursos.

O contributo central do relatório é, assim, oferecer um enquadramento que apoia as PME na definição de uma trajetória de transição digital que seja sustentável a partir da sua conceção. A transição digital orientada à eficiência energética e circularidade, capacitação das pessoas em vez de mera substituição, e melhoria da transparência e governação. Ao posicionar a transformação digital como instrumento para criar valor económico duradouro, reduzir impactes ambientais e reforçar coesão social, o relatório constitui uma base prática para decisões de política pública e de gestão que acelerem a transição sustentável do tecido empresarial português.

Acrónimos

AI – *Artificial Intelligence*

APIs – *Application Programming Interfaces*

BDA – *Big Data Analytics*

BI – *Business Intelligence*

CAD – *Computer-Aided Design*

CIT – *Centros de Interface Tecnológica*

CLP – *Controlador Lógico Programável*

CPS – *Cyber-Physical Systems*

CRM – *Customer Relationship Management*

EDI – *Electronic Data Interchange*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

FI – *Fábrica Inteligente*

i4.0 – *Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial*

IIoT – *Industrial Internet of Things*

IoT – *Internet of Things*

IT – *Information Technology*

KPI – *Key Performance Indicator*

MES – *Manufacturing Execution System*

M2M – *Machine-to-Machine*

OPEX – *Operational Expenditure*

OT – *Operational Technology*

PME – *Pequenas e Médias Empresas*

PPS – *Planeamento e Programação da Produção*

R&D – *Research and Development (I&D)*

RGPD – *Regulamento Geral de Proteção de Dados*

SaaS – *Software as a Service*

SLA – *Service Level Agreement*

TCO – *Total Cost of Ownership*

VR/AR – *Virtual Reality / Augmented Reality*

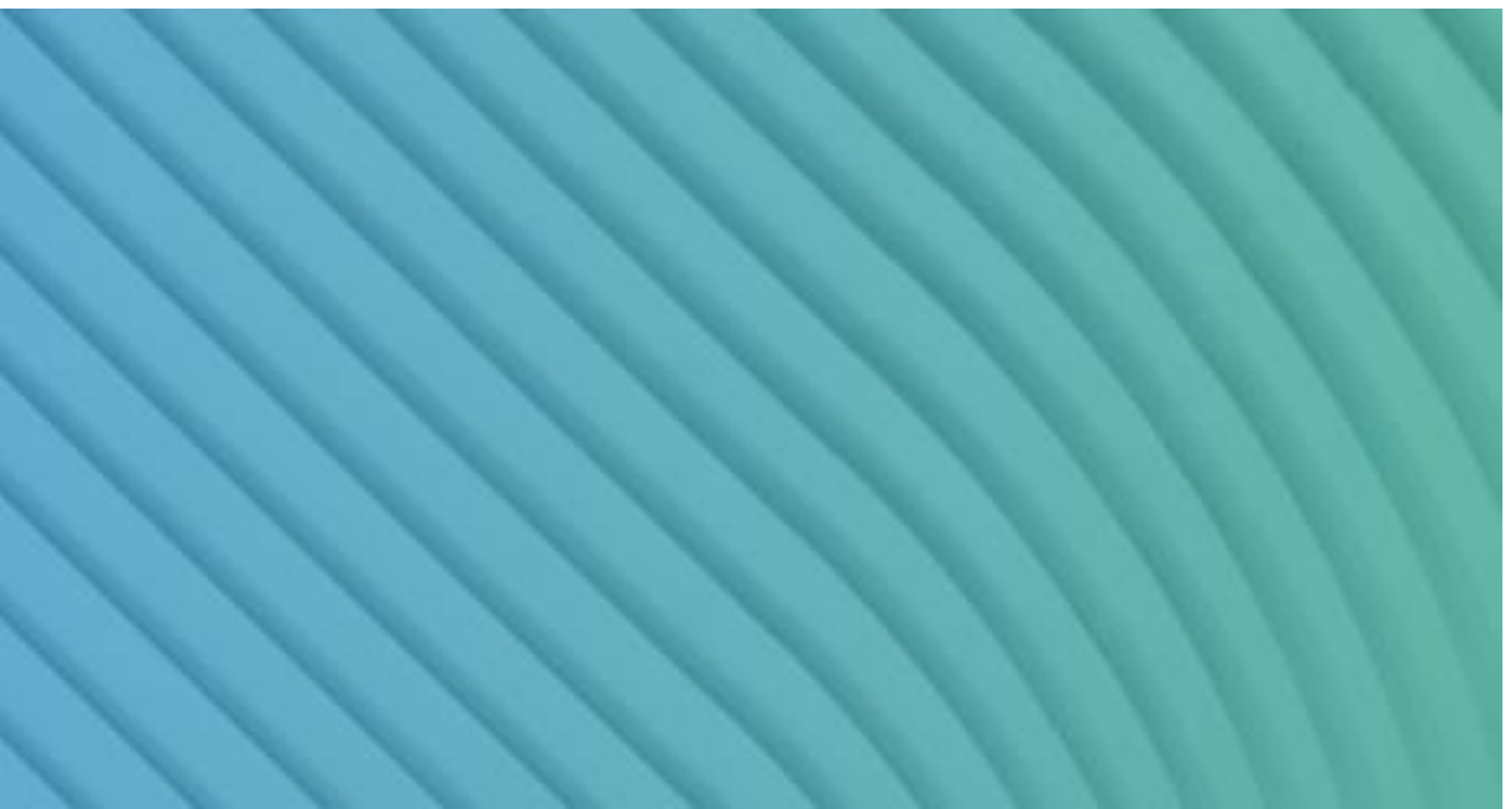
WEF – *World Economic Forum*

Lista de Tabelas

Tabela 1- Síntese das necessidades da dimensão Estratégia	8
Tabela 2 - Síntese das necessidades da dimensão Organização.....	16
Tabela 3 - Síntese das necessidades da dimensão Cultura	21
Tabela 4 - Síntese das necessidades da dimensão Inovação Digital	31
Tabela 5 - Necessidades Críticas e Impactes na Maturidade Digital.....	37
Tabela 6 - Ligação entre Pilares, Necessidades Críticas e Impactes na Sustentabilidade	40

Lista de Figuras

Figura 1- Framework dos impactes das necessidades	45
---	----



1 Introdução

1.1 Enquadramento e Objetivos

A transição digital tornou-se uma prioridade estratégica para a competitividade das pequenas e médias empresas (PME), incluindo em Portugal. Contudo, muitos dos diagnósticos efetuados têm evidenciado que grande parte das PME portuguesas ainda se encontra em fases iniciais de maturidade digital, com iniciativas pontuais em vez de uma transformação integrada. No contexto da Indústria 4.0, caracterizada pela automação e pela utilização intensiva de dados, é necessário conhecer a situação atual das empresas e sensibilizá-las para este novo paradigma, para que seja possível a sustentabilidade e competitividade do tecido empresarial num mercado global cada vez mais digital.

O presente relatório, elaborado com base nas necessidades identificadas pelo relatório elaborado no âmbito do projeto SHIFT2Future, tem como objetivo analisar, de forma estruturada, essas necessidades, agrupando-as em quatro dimensões (Estratégia, Organização, Cultura e Inovação Digital) e discutir a sua importância para a digitalização das PME, assim como o potencial impacto da satisfação das mesmas. Os objetivos são (1) contextualizar cada necessidade com evidência empírica do estudo realizado no âmbito do projeto SHIFT2Future, (2) explicar as razões pela quais as necessidades foram consideradas críticas para a transição digital e (3) fundamentar, com base em literatura científica, os benefícios esperados.

Do conjunto de necessidades identificadas, destacam-se, de acordo com a dimensão, as seguintes: (i) Na dimensão da Estratégia, verifica-se frequentemente a ausência de uma visão clara para a Indústria 4.0, assim como a ausência de mecanismos formais de monitorização, o que dificulta a implementação consistente das iniciativas digitais. (ii) Na dimensão de Organização, são perceptíveis fragilidades nas infraestruturas e na integração de sistemas (como a baixa interligação entre máquinas e sistemas de informação, recolha de dados incompleta e lacunas na gestão das tecnologias de informação (TI) e na gestão da segurança da informação). (iii) Na dimensão da Cultura, muitas empresas enfrentam um défice de cultura digital e resistências à partilha e à utilização de dados, sendo necessária a promoção de iniciativas de sensibilização e capacitação contínuas, tanto internas quanto com parceiros. Por fim, na (iv) dimensão da Inovação Digital, observa-se uma oferta reduzida de serviços baseados em dados, um baixo aproveitamento da informação proveniente dos produtos e uma incorporação insuficiente de funcionalidades digitais nos produtos e operações.

2 Levantamento das Necessidades

2.1 Estratégia

Esta dimensão refere-se à capacidade da empresa para tornar a transição digital uma prioridade de negócio. A capacidade da empresa para formular e implementar uma estratégia i4.0 alinhada com o modelo de negócio, definir objetivos e indicadores (KPIs) que permitam monitorizar a execução, e orientar investimentos e a gestão de tecnologia e inovação para gerar valor económico e competitivo.

Formalizar a estratégia i4.0

De acordo com os resultados do Shift2Future¹, apenas 1,6% das PME indicaram ter uma estratégia de Indústria 4.0 completamente implementada, e 20% em fase de implementação, o que significa que a larga maioria se encontra, ainda, numa fase inicial relativamente a esta dimensão. Este problema significa que as iniciativas de digitalização tendem a ocorrer de forma *ad-hoc*, sem um plano que alinhe os investimentos tecnológicos com os objetivos de negócio de médio e longo prazo. Trata-se de um problema crítico, uma vez que a ausência de uma estratégia formal dificulta a coordenação de esforços, a gestão eficaz de recursos e a obtenção de apoio organizacional para a transição digital. Gouveia et al. (2024) mostram que a orientação estratégica é indispensável para que a digitalização produza resultados consistentes, e Campagna & Bhada (2024) defendem que a adoção de tecnologias sem um plano estruturado conduz a esforços dispersos e a retornos limitados. Em linha com estes argumentos, Ghobakhloo et al. (2022) reforçam que a elaboração de estratégias adaptadas às características das PME aumenta de forma decisiva a taxa de sucesso da Indústria 4.0. Ao formalizar uma estratégia, a empresa estabelece prioridades, alinha investimentos digitais com objetivos de negócio e define indicadores de progresso, criando condições para gerir recursos de forma eficiente. Com isto, espera-se a formação de uma visão de médio e longo prazo, maior coerência na execução e capacidade para acelerar resultados tangíveis da transição digital, fatores essenciais para competir num mercado global cada vez mais digitalizado.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade “**Formalizar a estratégia i4.0**”, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

¹ <https://www.shift2future.pt/resultados>

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Formalizar a estratégia i4.0	Crítica	Sem um plano explícito e partilhado, as iniciativas de digitalização surgem de forma ad-hoc, dispersam-se e perdem alinhamento com os objetivos de negócio, dificultando a coordenação e o uso eficiente dos recursos.	Clarifica orientação, disciplina a priorização de recursos e sustenta a execução consistente dos projetos.

Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia

A necessidade de instituir um conjunto de indicadores de desempenho e um sistema de monitorização (por exemplo, um painel de KPI) é fundamental para assegurar que a transição digital decorre de forma controlada e alinhada com os objetivos estratégicos. A evidência recolhida pelo Shift2Future demonstra que a maioria das PME não dispõe, atualmente, de mecanismos formais para medir o progresso das suas iniciativas de Indústria 4.0. Cerca de 70% das empresas não têm qualquer abordagem definida por indicadores, o que significa que poucas estabeleceram métricas ou benchmarks que lhes permitam avaliar o grau de adoção tecnológica, a eficácia dos novos processos ou o valor acrescentado pela digitalização. Esta lacuna traduz-se numa dificuldade em distinguir iniciativas bem-sucedidas das que não produzem resultados, dificultando a aprendizagem organizacional. O relatório recomenda a adaptação de metodologias de gestão de desempenho, como o Balanced Scorecard, ao contexto digital, para colmatar esta falha.

A literatura científica confirma a relevância desta necessidade. Como sublinha a máxima de gestão, *“If you can’t measure it, you can’t improve it”*, a ausência de indicadores objetivos conduz a decisões pouco informadas e a desperdício de recursos. Definir KPIs claros (exemplos: percentagem de processos digitalizados, redução dos tempos de ciclo, aumento da produtividade ou melhorias na satisfação do cliente) permite quantificar o progresso, identificar desvios e promover ações corretivas atempadas. Gamache et al. (2020) evidenciam que a integração de sistemas ERP/MES com monitorização em tempo real é decisiva para que as PME beneficiem integralmente da Indústria 4.0. Ao implementar um sistema robusto de monitorização, a empresa assegura o alinhamento entre as equipas, reforça a transparência sobre os benefícios alcançados e garante que a transição digital permanece orientada para resultados concretos, sejam eles maior eficiência, melhor qualidade ou maior sustentabilidade.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia	Crítica	A maioria das PME (≈70%) não possui métricas para avaliar a adoção tecnológica, o que dificulta decisões informadas e aprendizagem organizacional.	Institui gestão por evidência, assegura correções atempadas à estratégia e promove ciclos de melhoria contínua.

Disponibilizar apoio estruturado ao diagnóstico, priorização e roadmap

A exigência de disponibilizar apoio especializado e metodológico para que as PME possam diagnosticar o seu nível de maturidade digital, compreender os conceitos e oportunidades da Indústria 4.0, definir um roteiro de iniciativas priorizadas e planear os passos seguintes da transformação é determinante para ultrapassar as dificuldades identificadas no levantamento das necessidades (Omol et al., 2023). Os resultados de um estudo desenvolvido no projeto Shift2Future salienta que muitas empresas carecem de orientação para diagnosticar o ponto de partida, clarificar conceitos, traçar uma visão de futuro e estabelecer prioridades de ação. Entre as recomendações, destaca-se a importância de disponibilizar ferramentas de autoavaliação e acompanhamento especializado por entidades do ecossistema científico e tecnológico (como Centros de Inovação Tecnológica ou Universidades) para guiar as PME na transição digital. A realidade mostra que mais de 75% das empresas não possuem uma estratégia implementada e a maioria carece de indicadores, o que confirma a ausência de planos estruturados e a dificuldade em definir prioridades de investimento.

A literatura confirma que, no plano operacional, este apoio estruturado pode e deve combinar capacidades internas com o contributo de entidades externas do ecossistema científico e tecnológico, sendo este um fator crítico de sucesso na adoção da Indústria 4.0. Ghobakhloo et al. (2022) identificam a assistência externa como uma das cinco condições essenciais para uma implementação bem-sucedida, incluindo consultoria, formação especializada e envolvimento de parceiros tecnológicos para colmatar lacunas de conhecimento e de recursos. Para PME sem equipas internas dedicadas exclusivamente à transição digital, este suporte é frequentemente o catalisador necessário para iniciar o processo. Um diagnóstico sólido permite identificar lacunas críticas, reduzir riscos de investimento e concentrar esforços nas alavancas de maior valor. A priorização informada assegura que os projetos com retorno mais rápido ou impacto mais significativo sejam implementados primeiro, condição essencial para empresas com recursos limitados. Em última análise, um roadmap bem fundamentado funciona como um plano do processo a implementar, fomentando confiança, promovendo implementações mais eficazes e alinhadas com a estratégia, evitando desperdícios e acelerando a transição digital em comparação com abordagens fragmentadas ou baseadas em tentativa e erro.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Disponibilizar apoio estruturado ao diagnóstico, priorização e roadmap”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Disponibilizar apoio estruturado ao diagnóstico, priorização e roadmap	Necessária	Muitas PME não dispõem de capacidade interna para avaliar lacunas e ordenar investimentos; um diagnóstico estruturado reduz riscos e aumenta eficácia	Reduz riscos, foca nas alavancas de maior retorno e sequencia a transformação de forma realista.

Acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0 (sensibilização)

A necessidade de acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0, através de iniciativas de sensibilização e capacitação, assume um papel determinante para que as PME possam concretizar uma transição digital bem-sucedida. Trata-se de promover ações de formação, workshops, partilha de casos de sucesso e programas educativos que elevem a literacia digital de toda a organização, desde a gestão de topo até aos técnicos operacionais (Braun et al., 2024). Os resultados obtidos no Shift2Future evidenciam que a maioria das PME revela ainda um défice significativo de conhecimento sobre conceitos, tecnologias e boas práticas de I4.0, recomendando explicitamente a criação de instrumentos de apoio adequados às necessidades reais das empresas. Esta lacuna traduz-se frequentemente em inércia ou em iniciativas tímidas e descoordenadas, bem como em obstáculos adicionais, como a resistência cultural ou o receio de partilhar dados, que decorrem, na maioria dos casos, da falta de sensibilização e de entendimento sobre o valor das tecnologias emergentes.

A literatura académica sublinha que a capacitação interna é um dos fatores mais transversais e críticos para o êxito da transição digital. Tal como demonstram Bastos et al. (2025), o investimento em tecnologias só produz impacto quando acompanhado de conhecimento adequado para as explorar e integrar. Estudos recentes destacam ainda que o compromisso com a aprendizagem e monitorização contínuas constitui uma condição essencial para as empresas prosperarem na era digital (Mick et al., 2024). Ao acelerar a difusão de conhecimento sobre Indústria 4.0, as PME obtêm benefícios múltiplos: os decisores ganham maior discernimento para fundamentar investimentos e avaliar prioridades, enquanto os colaboradores compreendem melhor a racionalidade e os objetivos das iniciativas digitais, aumentando a adesão e reduzindo a ansiedade face à mudança. Em consequência, a adoção de novas tecnologias e práticas torna-se mais rápida, eficaz e sustentável, encurtando a curva de aprendizagem e diminuindo falhas de implementação.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0	Necessária	O défice de literacia digital é transversal; sem sensibilização e capacitação, as empresas ficam inertes ou resistem à mudança.	Capacita equipas e liderança para decidir, implementar e escalar tecnologias com eficácia.

Orientar investimentos com base em evidências

A necessidade de orientar os investimentos com base em evidência é extremamente relevante para garantir que os recursos escassos das PME sejam aplicados de forma eficaz na transição digital. Em vez de investir de forma dispersa ou apenas por influência das tendências do sector, é essencial que as empresas fundamentem as decisões de investimento em dados de desempenho, análises de custo-benefício e benchmarks sectoriais. Esta abordagem permite que os recursos sejam canalizados para as áreas com maior retorno potencial e para as lacunas tecnológicas mais prementes. Os resultados do Shift2Future evidenciam que, embora muitas empresas manifestem intenção de investir em Indústria 4.0, com destaque para áreas como produção, R&D e tecnologias de informação, “muito poucas” dispõem efetivamente das funcionalidades necessárias já implementadas. Tal revela que existe frequentemente um desfasamento entre intenção e ação estratégica, e que a ausência de critérios objetivos de priorização compromete o impacto dos investimentos realizados.

A literatura confirma que a transição digital, para ser bem-sucedida, deve assentar numa lógica de decisão baseada em evidência (Butt, 2020; Sagala & Óri, 2024). Estudos recentes mostram que muitas organizações iniciam projetos de digitalização sem uma análise rigorosa dos seus desafios ou do retorno esperado, o que as leva a desperdiçar recursos e a implementar soluções que não resolvem os problemas mais críticos (Ghobakhloo et al., 2022; Gouveia et al. 2024). Aplicar diagnósticos de maturidade, analisar indicadores operacionais e estudar experiências setoriais permite identificar áreas de intervenção com maior urgência e retorno. A título de exemplo, estima-se que uma parte significativa dos dados produzidos pelas empresas não sejam atualmente utilizados para apoio à decisão, representando uma oportunidade perdida (Jackson and Hodgkinson, 2023). Investir em capacidades de análise de dados (como sistemas de business intelligence, analítica preditiva e IA Generativa) pode produzir aumentos substanciais de eficiência e qualidade. A GenAI, como uma ferramenta auxiliar, pode acelerar a preparação e a sumarização da informação, criar cenários e esboços de *business cases*, sintetizar feedbacks técnicos e de clientes, e disponibilizar apoio às equipas operacionais e de gestão, sempre com a devida proteção de dados, validação humana e com base em critérios de qualidade. Segundo a literatura, as evidências experimentais em que foram

utilizadas ferramentas de IA generativa, apontam para um aumento de 14% de produtividade em equipas de suporte, um aumento de 25% de velocidade e +40% de qualidade nas tarefas realizadas dentro da “fronteira” tecnológica (Noy & Zhang, 2023; Dell’Acqua et al., 2023).

Ao basear os investimentos nos diagnósticos efetuados e em dados concretos, as PME reforçam a credibilidade das suas decisões, facilitam o envolvimento da gestão de topo e dos investidores, e aceleram o retorno dos projetos digitais. O impacto esperado é uma transição digital mais sustentada, onde cada ação contribui de forma mensurável para proveitos operacionais e estratégicos.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Orientar investimentos com base em evidências”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Orientar investimentos com base em evidências	Necessária	Investimentos sem fundamentação empírica conduzem a desperdício e fraca integração de tecnologias.	Concentra capital nas lacunas críticas, maximiza o retorno e evita dispersão de iniciativas.

Transformar tecnologias já presentes em valor

A necessidade de transformar as tecnologias já presentes em valor é central para que as PME convertam investimentos anteriores em resultados reais. Muitas empresas já dispõem de sensores em máquinas, dispositivos móveis, soluções em cloud ou bases de dados volumosas, mas enfrentam o desafio de explorar de forma sistemática esses recursos para originar um impacto efetivo no negócio. Segundo um estudo conduzido no âmbito do Shift2Future existe um claro desfasamento entre a adoção tecnológica e a sua utilização efetiva: embora a maioria tenha infraestruturas digitais implementadas, 39,1% das empresas admite não utilizar os dados recolhidos nas operações diárias. Globalmente, estudos apontam que entre 60% e 80% dos dados empresariais ficam por analisar ou aplicar, representando uma enorme perda de valor potencial (Mikalef et al., 2020). Este fenómeno traduz-se num “desperdício de dados” e, consequentemente, numa oportunidade perdida para inovar e otimizar processos.

A literatura científica reforça que a transição digital não se limita a adquirir ferramentas, mas a extrair valor a partir delas (Vial, 2019). Capitalizar tecnologias já disponíveis pode constituir um ganho rápido e decisivo: ao implementar sistemas de análise avançada, como dashboards de business intelligence ou algoritmos de aprendizagem automática, as PME conseguem transformar dados brutos em informação acionável. Nas indústrias, por exemplo, a aplicação de análises preditivas sobre dados de sensores permite antecipar falhas, reduzindo até 12% dos custos de manutenção e eliminando até 70% das avarias inesperadas (Lee et al., 2015). Para além dos resultados internos ao nível da eficiência e

qualidade, explorar integralmente os ativos tecnológicos abre também novas oportunidades de receita (como serviços personalizados baseados em dados de utilização de produtos) e reforça vantagens competitivas sustentáveis, difíceis de replicar por concorrentes.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Transformar tecnologias já presentes em valor”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Transformar tecnologias já presentes em valor	Necessária	Muitas PME possuem ativos digitais subaproveitados, resultando em baixa extração de valor.	Converte dados e ativos digitais em ganhos de eficiência, qualidade e novas receitas.

2.2 Síntese das necessidades da dimensão Estratégia

Tabela 1- Síntese das necessidades da dimensão Estratégia

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Formalizar a estratégia i4.0	Crítica	Define uma visão partilhada, garante alinhamento entre tecnologia e negócio, facilita a mobilização organizacional e acelera resultados consistentes da transição digital.
Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia	Crítica	Fornecer evidências objetivas, permite medir o impacto real da digitalização, assegura a aprendizagem contínua e fundamenta decisões de investimento baseadas em resultados.
Disponibilizar apoio estruturado ao diagnóstico, priorização e roadmap	Necessária	Identifica lacunas críticas, reduz riscos de investimento, orienta recursos para iniciativas prioritárias e cria um plano de ação claro e sequencial.
Acelerar o conhecimento interno sobre a Indústria 4.0	Necessária	Melhora a literacia digital, capacita líderes e equipas para decidir, implementar e escalar tecnologias, aumentando a confiança e a eficácia organizacional.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Orientar investimentos com base em evidências	Necessária	Direciona capital para as áreas de maior impacto, aumenta o retorno sobre os investimentos digitais e evita a dispersão em iniciativas de baixo valor estratégico.
Transformar tecnologias já presentes em valor	Necessária	Potencia ativos digitais existentes, converte dados em informação acionável e gera ganhos de eficiência, qualidade e novas fontes de receita.

2.3 Organização

Esta dimensão diz respeito à forma como a empresa se estrutura e opera para viabilizar a estratégia digital, nomeadamente ao nível dos papéis e responsabilidades, processos e rotinas, integração de sistemas e dados com clientes/fornecedores, governação de TI (incluindo decisões make-or-buy/outsourcing e segurança) e adoção de plataformas de suporte (ERP/MES/PPS e cloud) que orquestram operações inteligentes.

Ligar máquinas e sistemas às TI

A integração dos equipamentos fabris e dos sistemas físicos com as tecnologias de informação da empresa representa um passo decisivo na transição para a Indústria 4.0. Este processo envolve a incorporação de sensores e interfaces IoT nas máquinas e postos de produção, permitindo recolher dados e controlar operações de forma remota, o que permite criar uma ligação em tempo real entre o local físico da fábrica e a camada digital. Contudo, segundo os dados do relatório Shift2Future, esta realidade ainda não é predominante. Apenas 6,3% das PME indicaram possuir controlo total via TI sobre os seus equipamentos, enquanto a maioria apresenta apenas uma conexão parcial. Esta situação traduz-se em ambientes produtivos fragmentados, marcados pela presença de máquinas isoladas, pela ausência de recolha centralizada de dados e pela forte dependência da intervenção manual. Em contraste, a visão da Indústria 4.0 assenta precisamente numa conexão contínua entre máquinas, sensores e sistemas, condição essencial para tirar partido do potencial da automação, da análise em tempo real e da visibilidade integrada sobre todo o processo produtivo.

A literatura tem identificado a conexão OT-TI como a infraestrutura de base para todo o percurso de maturidade digital. Porter e Heppelmann (2014) descrevem as etapas da evolução tecnológica em quatro fases: (1) monitorizar, (2) controlar, (3) otimizar e (4) autonomizar, sendo a monitorização e o controlo digitais o ponto de partida de qualquer processo de transformação. Sem este alicerce, as fases subsequentes ficam comprometidas. A conexão proporciona benefícios imediatos, nomeadamente (i) maior disponibilidade dos equipamentos, dado que falhas e desvios são detetados precocemente; (ii) aumento da fiabilidade e da qualidade, pois o controlo digital é mais preciso do que intervenções humanas pontuais; e (iii) aumento da eficiência, através da coordenação automática entre diferentes máquinas para evitar tempos mortos. Os estudos realizados têm documentado reduções significativas

no que toca a paragens imprevistas quando os sistemas recolhem dados continuamente e planificam a manutenção de forma otimizada (Paraschos & Koulouriotis, 2024). Para além da vertente operacional, a recolha de dados em tempo real potencia decisões de gestão mais rápidas e fundamentadas, como a reprogramação de ordens de produção perante atrasos ou a redistribuição de recursos em linhas subutilizadas (Paraschos & Koulouriotis, 2024). Para PME que operam frequentemente com margens reduzidas, esta integração traduz-se em resultados concretos de produtividade e rentabilidade, ao mesmo tempo que prepara o terreno para etapas mais avançadas da Indústria 4.0, como a analítica preditiva e a automação inteligente.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Ligar máquinas e sistemas às TI”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Ligar máquinas e sistemas às TI	Crítica	Permite integração digital fiável e monitorização contínua em tempo real.	Integração total entre produção e gestão.

Desenvolver comunicações M2M e interoperabilidade

A implementação de comunicações diretas entre máquinas (M2M) e de mecanismos de interoperabilidade de ponta a ponta é um dos pilares da fábrica inteligente. O objetivo central é garantir que os equipamentos, sensores, robôs e sistemas de software comuniquem automaticamente entre si por meio de protocolos normalizados, criando um fluxo contínuo de dados e comandos. Desta forma eliminam-se as “ilhas de automação”, ainda frequentes em muitas PME, onde cada máquina funciona isoladamente, sem partilha de informação com as restantes (Häring et al., 2023; Hermann et al., 2016).

Os resultados do Shift2Future mostram, contudo, que esta realidade está longe de ser comum. Apenas 1,6% das empresas reportam ter comunicações M2M completamente disponíveis, valor idêntico ao registado para a interoperabilidade total. Para a maioria, trata-se de aspetos reconhecidos como relevantes, mas ainda em fases muito embrionárias. O resultado é que sistemas de gestão e equipamentos automatizados não comunicam de forma integrada, obrigando a uma mediação manual que retira fluidez e eficiência às operações.

Do ponto de vista científico e técnico, tanto a interoperabilidade como as comunicações M2M são reconhecidas como condições essenciais para alcançar níveis avançados de automação. Em ambientes produtivos interligados, a informação circula sem interrupções. Um sensor que deteta uma anomalia pode enviar de imediato essa informação para outro sistema, que ajusta parâmetros ou aciona medidas de manutenção sem necessidade de intervenção humana. Esta capacidade de resposta em tempo real reduz falhas, evita desperdícios e contribui para uma melhoria significativa da qualidade.

Além da vertente operacional, a eliminação de etapas manuais de transferência de dados entre sistemas diminui erros e atrasos administrativos. As empresas que atingem altos níveis de integração reportam ganhos substanciais em produtividade, com ciclos de produção mais curtos, redução de stocks intermédios e maior flexibilidade para responder a variações da procura (Chiscop et al., 2025). Para as PME, a concretização desta visão implica investir em redes industriais, plataformas de integração e normalização de dados (Bastos et al., 2025), mas a adoção gradual de protocolos padrão e soluções modulares constitui uma via realista para avançar (Monte Pegado et al., 2025).

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Desenvolver comunicações M2M e interoperabilidade”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Desenvolver comunicações M2M e interoperabilidade	Necessária	Elimina silos, promove a conectividade e a sincronização entre sistemas.	Fluxos contínuos de dados interoperáveis.

Alargar a recolha automática de dados (cobertura total)

A recolha automática e abrangente de dados constitui um alicerce incontornável da digitalização industrial. O propósito é garantir que todas as máquinas, etapas de processo e variáveis críticas sejam monitorizadas em tempo real por sensores, dispositivos IoT ou sistemas integrados, substituindo práticas fragmentadas e dependentes de registos manuais. Contudo, os resultados do estudo conduzido no Shift2Future revelam que esta realidade ainda está distante: 67,2% das PME recolhem dados automaticamente apenas em algumas máquinas, 15,6% não recolhem dados automaticamente e 23,4% continuam a depender de registos manuais. Esta situação confirma que grande parte da informação produzida nas operações não é capturada de forma sistemática, ficando sujeita a atrasos e a erros associados ao registo humano. As linhas de montagem manuais muitas vezes exigem que os trabalhadores registem os dados manualmente, o que pode levar à redução da qualidade dos dados e ao aumento da variação (Thurnheer et al., 2024).

A importância desta necessidade é clara: dados completos, fiáveis e em tempo real são a base de qualquer processo de transição digital. Sem informação recolhida de forma contínua, iniciativas de análise avançada, inteligência artificial ou otimização de processos não conseguem avançar (El Belghiti et al., 2025). A expansão da recolha automática permite, em primeiro lugar, uma maior transparência operacional, oferecendo aos gestores uma visão imediata do estado da produção e a capacidade de detetar falhas ou entraves no momento em que ocorrem. Em segundo lugar, melhora a qualidade da tomada de decisão, ao substituir relatórios tardios ou estimativas incertas por informação objetiva e instantânea. Finalmente, apenas com volumes significativos de dados consistentes é

possível alimentar modelos preditivos e algoritmos de otimização (Ansari et al., 2021; El Belghiti et al., 2025).

O impacto esperado desta transição já se encontra documentado em empresas que alcançaram a cobertura total de sensores, onde se verificaram reduções expressivas em paragens não planeadas, graças à possibilidade de antecipar falhas e ajustar parâmetros de produção em tempo real (Bergeret et al., 2023; Otuagoma Smith et al., 2025). Para além da eficiência, a recolha automática liberta os operadores de tarefas repetitivas e administrativas de registo, permitindo-lhes dedicar-se à análise e à melhoria contínua, reforçando o envolvimento das equipas.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Alargar a recolha automática de dados (cobertura total)”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Alargar a recolha automática de dados	Crítica	Garante visibilidade total das operações e suporte a decisões preditivas.	Transparência e decisões baseadas em dados.

Integrar informação internamente e com parceiros

Apesar de muitas das PME já apresentarem níveis elevados de integração de informação entre as áreas internas (produção, compras, logística e vendas), a ligação com parceiros externos continua a ser deficiente. O estudo resultante do Shift2Future revela que 37,5% das empresas não integram qualquer informação proveniente de clientes ou fornecedores nos seus sistemas centrais, o que significa que mais de um terço das PME opera em isolamento digital relativamente à cadeia de valor. Esta ausência de integração vertical e horizontal impede que encomendas, dados de procura, níveis de stock ou planos de produção sejam sincronizados ao longo da cadeia, originando ineficiências, desperdícios e respostas lentas a flutuações da procura. Sem uma ligação externa, perde-se a visibilidade em tempo real sobre as necessidades dos clientes e sobre as capacidades dos fornecedores, o que compromete o planeamento coordenado e conduz, muitas vezes, a excesso de inventário, tempos de espera prolongados e aumento dos *lead times*.

Do ponto de vista estratégico, a integração de informação ao longo de toda a cadeia de valor é um dos princípios centrais da Indústria 4.0 (Bastos et al., 2025). A integração vertical, que conecta diferentes níveis e sistemas dentro da própria empresa, e a integração horizontal, que estabelece a ligação com clientes, fornecedores e parceiros, permitem alinhar oferta e procura de forma mais precisa, reduzir o efeito *bullwhip* e aumentar a eficiência global. A literatura sobre gestão da cadeia de abastecimento confirma que a partilha de informação com parceiros melhora significativamente o desempenho operacional e a capacidade de resposta (Bastos et al., 2025). Para as PME, esta integração traduz-se

em planeamento colaborativo, maior previsibilidade da produção e redução de desperdícios ao longo da cadeia produtiva.

Para além dos benefícios operacionais, a integração tende também a reforçar os relacionamentos comerciais, pois a transparência de dados aprofunda a confiança mútua (Yilmaz et al., 2025). Uma cadeia de valor digitalmente integrada torna-se mais resiliente e sustentável, capaz de se ajustar rapidamente a mudanças de mercado ou a interrupções, e abre espaço para oportunidades de inovação em parceria.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Integrar informação internamente e com parceiros”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Integrar informação internamente e com parceiros	Necessária	Melhora a colaboração e reduz falhas na cadeia de valor.	Planeamento colaborativo e competitivo.

Implementar processos e controlo autónomos em tempo real

Os resultados do Shift2Future mostram que mais de 56% das PME não têm qualquer experiência em controlo autónomo de processos e cerca de 67% não dispõem de resposta em tempo real a variações ou perturbações. Isto significa que a grande parte das operações ainda depende de intervenções humanas e de decisões tomadas em diferido, como ajustes manuais feitos apenas após a deteção de desvios. A ausência de mecanismos de autocontrolo traduz-se em processos menos ágeis, mais sujeitos a variabilidade e falhas, e com menor capacidade de adaptação.

A automatização avançada e a resposta em tempo real implicam a necessidade de atribuir sensores aos processos, mecanismos e algoritmos capazes de detetar condições em mudança, desde flutuações da procura a variações de qualidade da matéria-prima, e reagir de imediato segundo regras predefinidas ou inteligência incorporada. Trata-se de sistemas com feedback contínuo, em que, por exemplo, uma não conformidade identificada numa peça pode desencadear a regulação automática da máquina ou o desvio do produto para retrabalho, sem esperar pela ação de um supervisor.

A importância desta capacidade para as PME é evidente: processos autorregulados aumentam a consistência, reduzem erros e permitem manter padrões de qualidade mesmo perante perturbações. Além disso, libertam os colaboradores de tarefas de monitorização repetitivas, permitindo-lhes dedicar-se a funções de maior valor acrescentado. A literatura em Indústria 4.0 demonstra que sistemas ciberfísicos e algoritmos de controlo preditivo elevam a produtividade e a qualidade ao eliminar atrasos de reação e reduzir a variabilidade (Bastos et al., 2024). Por exemplo, a integração de machine learning nos sistemas de produção tem permitido prever falhas e ajustar parâmetros antes da ocorrência de problemas, reduzindo drasticamente as taxas de defeito e desperdício.

O impacto esperado para as PME que avancem nesta direção é expressivo. Em primeiro lugar, a qualidade melhora porque a variabilidade é minimizada e os defeitos são prevenidos ou corrigidos no momento. Em segundo lugar, a produtividade aumenta com a redução de paragens e a otimização do fluxo produtivo, sem depender de decisões manuais. Finalmente, a flexibilidade é reforçada, uma vez que a produção pode ajustar-se rapidamente a lotes personalizados ou a alterações de planeamento, graças a sistemas preparados para se reconfigurarem “on-the-fly” (Belmouadden et al., 2025).

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Implementar processos e controlo autónomos em tempo real”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Implementar processos e controlo autónomos em tempo real	Necessária	Aumenta a eficiência, reduz desperdícios e melhora a agilidade.	Auto-otimização e qualidade consistente.

Evoluir da *cloud* como armazenamento para motor de inovação

A computação em *cloud* já foi adotada por muitas PME, mas geralmente de forma limitada (tipicamente como armazenamento de dados), não tirando partido das camadas mais avançadas como análise de dados intensiva ou *software* em modelo *cloud* (SaaS). De acordo com os resultados do Shift2Future, 50% das empresas utilizam *cloud* principalmente para armazenamento, enquanto apenas 17,2% a usam para análise de dados; além disso, cerca de 46,9% não usam qualquer *software* em *cloud* (por ex., aplicações de gestão alojadas remotamente). Esta situação indica que a maioria das PME está a subaproveitar o potencial da *cloud*, sem explorar o seu potencial organizacional. A transição da *cloud* de mero espaço de armazenamento para uma infraestrutura central das operações constitui um passo determinante para as PME.

A importância desta evolução reside nos múltiplos benefícios organizacionais que a computação *cloud* pode gerar quando plenamente integrada no núcleo das operações empresariais. Em primeiro lugar, a *cloud* oferece escalabilidade praticamente ilimitada em termos de capacidade computacional e de armazenamento, permitindo às PME ajustar os recursos de acordo com a procura e pagar apenas pelo que utilizam. Isto otimiza custos e elimina a necessidade de grandes investimentos em servidores próprios, libertando recursos financeiros para outras áreas críticas da organização. Em segundo lugar, a adoção de plataformas *cloud* viabiliza a integração dos principais sistemas empresariais (ERP, MES, CRM), assegurando que dados e processos circulem de forma fluida e que a gestão da informação é centralizada. Esta integração potencia também a colaboração e o acesso remoto, facilitando que equipas geograficamente dispersas ou em modelos híbridos trabalhem sobre a mesma base de informação em tempo real.

Um terceiro aspeto crítico é a democratização do acesso a tecnologias avançadas de analytics. As PME podem, através da *cloud*, executar algoritmos de Big Data, treinar modelos de machine learning ou utilizar sistemas de business intelligence robustos, sem necessidade de investir em hardware especializado. Esta capacidade acelera a inovação, reduz o time-to-value de novas funcionalidades e aumenta a agilidade organizacional na resposta a mercados dinâmicos.

Alguns estudos focados em PME confirmam estes impactes, apontando benefícios como maior flexibilidade, escalabilidade, redução de custos, aumento de produtividade e reforço da inovação (Anwar et al., 2024; Mesjasz-Lech et al., 2025). Ao tirar partido destas vantagens, as PME não apenas modernizam as suas operações, mas consolidam a sua maturidade digital, garantindo maior resiliência e competitividade num ambiente empresarial marcado pela mudança constante. Adicionalmente, com o recurso a software como serviço (SaaS) na cloud, asseguram que utilizam versões atualizadas das aplicações, com correções de segurança e melhorias contínuas, sem necessidade de esforço interno de manutenção.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Evoluir da cloud como armazenamento para analytics/software”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Evoluir da cloud como armazenamento para motor de inovação	Necessária	Transforma a cloud em motor de inovação e inteligência.	Integração cloud centraliza operações, otimiza custos, reforça colaboração e acelera inovação nas PME.

Reforçar a gestão das TI e da segurança nas interfaces externas

À medida que as PME avançam na digitalização e se ligam a parceiros externos, torna-se crucial reforçar a gestão das tecnologias de informação (TI) e a cibersegurança, sobretudo nas interfaces que ligam a empresa ao exterior. O estudo desenvolvido no Shift2Future evidencia esta necessidade, já que cerca de 59,4% das PME têm a gestão de TI centralizada internamente e 34,4% recorrem a outsourcing, mas, apesar da existência de boas práticas de segurança internas, as trocas de dados com parceiros apresentam vulnerabilidades. Isto mostra que, mesmo quando a infraestrutura interna é robusta, as interações digitais com fornecedores, clientes ou prestadores de serviços podem constituir pontos de risco se não forem devidamente acauteladas (El Belghiti et al., 2025).

A necessidade de reforço divide-se em dois eixos complementares. O primeiro consiste em clarificar papéis e responsabilidades na gestão de TI, particularmente quando existe uma combinação de recursos internos e externos (Bastos et al., 2025). É fundamental definir, por exemplo, quem é responsável pela gestão das aplicações, pela execução de backups, pelo suporte e pela manutenção, no caso de serviços terceirizados. O segundo eixo prende-se com o fortalecimento da segurança nas interfaces externas, assegurando que a troca de informação com parceiros decorre de forma encriptada, autenticada e em conformidade com as melhores práticas de proteção de dados (Bastos et al., 2025; Van Veldhoven & Vanthienen, 2023).

Esta evolução é crítica num contexto em que o perímetro de segurança tradicional das empresas se diluiu com a adoção da *cloud*, a integração de cadeias de valor digitais e o aumento do teletrabalho. Atualmente, as PME enfrentam ameaças que podem entrar através de um parceiro menos protegido ou de pontos de acesso remotos mal controlados. Ghobakhloo et al. (2022) tem chamado a atenção para este risco crescente nas cadeias de abastecimento digitais. As vulnerabilidades introduzidas por

terceiros, visibilidade limitada sobre as medidas de segurança dos parceiros e dependência de fornecedores críticos constituem alvos exploráveis por atacantes. Investir em gestão de risco de terceiros (*third-party risk management*) e estabelecer protocolos claros com parceiros, incluindo acordos de nível de serviço com requisitos de segurança, exigência de certificações e auditorias regulares, é tão importante quanto proteger os sistemas internos.

A literatura confirma que muitas violações de segurança em pequenas empresas ocorrem precisamente através de ataques indiretos, nos quais os cibercriminosos exploram o elo mais fraco de uma cadeia para aceder a dados sensíveis ou afetar organizações de maior dimensão (Cartwright & Cartwright, 2023). Neste sentido, clarificar a gestão de TI permitirá às PME decidir melhor que funções manter internamente e quais subcontratar, assegurando maior controlo sobre a qualidade dos serviços externos. Paralelamente, medidas como a utilização de VPNs seguras para parceiros, autenticação multifator, encriptação de ficheiros partilhados e auditorias periódicas reforçam substancialmente a proteção das interfaces externas.

O impacto esperado de responder a esta necessidade é expressivo: uma infraestrutura de TI mais fiável e resiliente, uma rede colaborativa de negócio mais segura e dados a fluir com confiança entre parceiros. Isso traduz-se não só na mitigação de riscos de interrupção, multas regulatórias ou perdas de reputação, mas também na criação de um ambiente de confiança digital no ecossistema em que a PME se insere (Yilmaz et al., 2025). Em última análise, este reforço de gestão e de segurança permite colher integralmente os benefícios da digitalização, nomeadamente integração de sistemas, *cloud computing*, colaboração em rede, sem aumentar excessivamente a exposição a falhas ou ataques, cumprindo em simultâneo as exigências legais de proteção de dados e privacidade (Bastos et al., 2025).

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Reforçar a gestão das TI e da segurança nas interfaces externas”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Reforçar a gestão de TI e da segurança nas interfaces externas	Crítica	Ecossistemas digitais aumentam os riscos e exigem confiança reforçada.	Resiliência digital e maior confiança.

2.4 Síntese das necessidades da dimensão Organização

Tabela 2 - Síntese das necessidades da dimensão Organização

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Ligar máquinas e sistemas às TI	Crítica	Estabelece base digital fiável em tempo real, viabilizando monitorização contínua, automação de processos e integração plena entre chão de fábrica e gestão.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Desenvolver comunicações M2M e interoperabilidade	Necessária	Elimina ilhas de automação, cria fluxos contínuos de dados, garante sincronização entre equipamentos e sistemas, potenciando flexibilidade e eficiência operacional.
Alargar a recolha automática de dados	Crítica	Assegura visibilidade integral das operações, aumenta transparência, permite analítica avançada e decisões preditivas com menor risco de falha.
Integrar informação internamente e com parceiros	Necessária	Promove planeamento colaborativo, reduz o efeito chicote, melhora fiabilidade da cadeia de valor e aumenta competitividade no ecossistema.
Implementar processos e controlo autónomos em tempo real	Necessária	Estabiliza a qualidade, reduz desperdícios, aumenta agilidade de resposta e suporta auto-otimização em ambientes dinâmicos.
Evoluir da <i>cloud</i> como armazenamento para motor de inovação	Necessária	Expande o uso da cloud para analítica avançada, acelera inovação com menor custo, democratiza acesso a dados e aplicações inteligentes.
Reforçar a gestão de TI e da segurança nas interfaces externas	Crítica	Fortalece a resiliência digital, reduz vulnerabilidades em ecossistemas interconectados, assegura a conformidade e aumenta a confiança nas trocas de informação.

2.5 Cultura

Esta dimensão abrange atitudes, conhecimentos e comportamentos que sustentam a transição digital, incluindo literacia digital e de dados, abertura à partilha e uso de informação, aprendizagem contínua e colaboração interna/externa. Estas vertentes da cultura organizacional devem ser suportadas por liderança que comunica propósito e incentiva a experimentação baseada em evidência.

Fortalecer a cultura digital

Para além dos fatores técnicos, a cultura organizacional desempenha um papel decisivo na transição digital, podendo ser tanto um motor como um obstáculo. O relatório do Shift2Future mostra que muitas

PME apresentam um défice de cultura digital e uma estratégia de Indústria 4.0 pouco clara ou insuficientemente comunicada. Na prática, isto traduz-se em colaboradores e até líderes pouco sensibilizados para a mudança, mantendo-se enraizada a cultura de “fazer como sempre se fez”, sem abertura para novas abordagens digitais ou sem compreender completamente o valor destas (Mick et al., 2024). A resistência à mudança pode estar ainda ligada à fraca divulgação da estratégia de negócio na medida em que as pessoas que não entendem para onde a empresa pretende evoluir em termos digitais e de negócio encaram as iniciativas de Indústria 4.0 como experiências isoladas, desprovidas de ligação a um esforço global de criação de valor.

Superar este défice de cultura digital exige uma liderança ativa, que promova uma visão de futuro assente na utilização de dados, na experimentação e na melhoria contínua como parte integrante da cultura organizacional. Implica também uma comunicação transparente, que mostre de forma clara os objetivos da transição digital e o papel de cada pessoa e área nesse processo.

Fortalecer a cultura digital requer liderança e práticas organizacionais que tornem os dados e a aprendizagem contínua parte do trabalho diário, como, por exemplo, definir objetivos de equipa com métricas digitais claras, agendar reuniões de performance suportadas por dashboards e ciclos curtos de “testar-aprender-ajustar” em processos-piloto. Esta abordagem reduz a incerteza, acelera a adoção de novas ferramentas e liga diretamente a transformação a resultados de negócio, evitando iniciativas dispersas e pouco utilizadas. Em termos práticos, quando as decisões passam a ser discutidas com base em evidência e quando a investigação é reconhecida e acompanhada, aumentam a adesão das equipas, a qualidade da execução e a cadência de melhoria, assegurando que a tecnologia instalada forma valor sustentado. Há estudos que mostram que a mudança cultural e de mentalidades é frequentemente o maior desafio da transição digital, ultrapassando as barreiras financeiras ou técnicas (Hasan et al., 2025). Em particular, fomentar uma cultura orientada a dados é condição necessária para que as ferramentas da Indústria 4.0 sejam verdadeiramente aproveitadas.

O impacto esperado de uma liderança que molde ativamente a cultura digital é uma adoção mais sustentada e entusiástica das práticas digitais. Os colaboradores deixam de ser espectadores céticos para se tornarem agentes ativos da mudança, contribuindo com ideias e participando em iniciativas de melhoria. Uma cultura digital sólida garante que as tecnologias instaladas são efetivamente utilizadas para produzir valor e não ficam esquecidas após a sua implementação. Estimula ainda a colaboração entre equipas de diferentes áreas para analisar dados, resolver problemas e testar novas soluções digitais. Em última instância, esta mudança cultural confere sustentabilidade à transformação, que deixa de depender de projetos isolados e passa a fazer parte integrante do modo de operar da empresa.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Fortalecer a cultura digital”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Fortalecer a cultura digital	Crítica	A cultura digital consolida a mudança organizacional e garante coerência na implementação da estratégia i4.0.	Reforça alinhamento estratégico e adesão dos colaboradores.

Reduzir o receio da partilha e utilização de dados

Na dimensão cultural, um desafio específico identificado é o receio que muitas empresas ainda demonstram relativamente à partilha e utilização de dados, aliado a um baixo nível de literacia de dados entre os colaboradores. O relatório do Shift2Future, no que respeita a serviços baseados em dados, evidencia esta situação: 39,1% dos dados recolhidos não chegam a ser utilizados pelas empresas, revelando tanto uma falta de confiança como uma incapacidade de exploração efetiva da informação. Por um lado, prevalece a hesitação em partilhar dados, quer internamente entre departamentos, quer externamente com parceiros, motivada por receios de perda de controlo, de exposição de fragilidades ou de utilização indevida da informação. Por outro lado, muitas vezes, mesmo quando os dados estão disponíveis, os colaboradores não dispõem de competências para os interpretar ou não reconhecem o seu valor, o que traduz a insuficiência da literacia de dados nas organizações.

A importância de ultrapassar este bloqueio cultural é evidente num contexto de ecossistemas digitais e de Big Data (Hasan et al., 2025). A retenção de dados em silos impede que a organização beneficie de sinergias e de entendimentos que só surgem a partir de uma visão integrada. Combinar dados de produção com informação de vendas, por exemplo, permite otimizar o planeamento, enquanto dados de utilização do produto podem inspirar melhorias no design, mas nada disso acontece se a partilha for travada pela desconfiança. Externamente, a partilha controlada de dados com parceiros abre caminho a novos modelos de negócio, como cadeias de abastecimento sincronizadas ou serviços personalizados. Embora a hesitação seja compreensível face a preocupações legítimas de privacidade, propriedade intelectual e cibersegurança, a solução não passa por bloquear a partilha, mas por criar regras claras, processos de governação e tecnologias de proteção adequadas. Hanelt et al. (2021), por exemplo, defendem a necessidade de acordos e plataformas que promovam interoperabilidade e open data de forma segura, precisamente por reconhecer que isso reforça a eficiência e a inovação nos ecossistemas digitais (REF).

Paralelamente, a literacia de dados surge como condição essencial para que a partilha se traduza em valor real. A literacia de dados implica saber ler, analisar, interpretar e comunicar conclusões a partir da informação. As empresas que investem na literacia de dados reportam melhorias significativas na tomada de decisão e no desempenho dos negócios, pois os colaboradores passam a aproveitar melhor as ferramentas analíticas disponíveis e participam em processos de melhoria baseados em factos.

O impacto esperado de endereçar esta necessidade inclui, internamente, passar a fundamentar as decisões em dados e não em perceções, tornando a empresa mais ágil, precisa e resiliente; externamente, a confiança na partilha de dados cria oportunidades de integração em plataformas de dados setoriais e de desenvolvimento de modelos de negócio colaborativos. Além disso, ao combinar uma cultura de confiança com a proteção adequada (encriptação, acessos diferenciados, anonimização de dados sensíveis, conformidade com o RGPD), garante-se que os ganhos em colaboração e inovação não são feitos à custa da segurança.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Reduzir o receio da partilha e utilização de dados”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Reduzir o receio da partilha e utilização de dados	Necessária	A desconfiança limita a colaboração e impede decisões baseadas em informação relevante.	Promove confiança e uso coletivo de dados.

Reforçar redes de colaboração e inovação aberta

No eixo cultural e organizacional, destaca-se a necessidade de reforçar as redes de colaboração e de promover projetos de inovação aberta envolvendo parceiros externos. O relatório do Shift2Future recomenda explicitamente o desenvolvimento de instrumentos e apoios por entidades externas para alinhar as respostas às necessidades reais das empresas, sublinhando que as PME não devem inovar sozinhas. Reforçar estas redes significa criar ou integrar parcerias, consórcios, clusters e projetos colaborativos com outras empresas, centros de conhecimento, startups e até clientes, acelerando a transferência de conhecimento e a cocriação de soluções inovadoras. Em Portugal, já existem associações e clusters industriais dedicados à Indústria 4.0 que permitem às empresas partilhar experiências e desenvolver projetos em conjunto, beneficiando de recursos e resultados partilhados. Como exemplos de clusters ativos, podem ser referidos o PRODUTECH – Associação para as Tecnologias de Produção Sustentável, que promove formação empresarial, candidaturas a apoio à transição digital e inovação colaborativa, e o TICE.PT – Associação do Cluster das Tecnologias de Informação, Comunicação e Electrónica, que ao longo de vários anos tem organizado encontros, workshops e séries “Tech MeetUps Indústria 4.0” e dinamizado eventos e programas para empresas e startups no domínio da Indústria 4.0.

A relevância desta colaboração é particularmente acentuada para as PME, que frequentemente carecem de recursos humanos, financeiros ou tecnológicos para inovar à velocidade exigida pelos mercados. Ao ligarem-se em rede, conseguem aceder a competências críticas externas — desde especialistas em inteligência artificial em universidades a parceiros industriais mais experientes — encurtando significativamente a sua curva de aprendizagem. Além disso, a colaboração traz escala e massa crítica. Em conjunto, as PME podem candidatar-se a fundos de inovação, influenciar fornecedores ou desenvolver soluções adaptadas às suas necessidades. A diversidade de perspetivas envolvidas nas redes de inovação aberta potencia ainda a criação de novas ideias e acelera o ciclo de inovação. Estudos sobre PME demonstram que a participação em redes colaborativas aumenta a capacidade de absorção de conhecimento externo e facilita a transição digital, compensando limitações internas e fortalecendo a competitividade.

Com as redes de colaboração, as PME também conseguem maior capacidade de conciliar a dupla transição digital e verde, aproveitando soluções conjuntas em eficiência energética, economia circular ou novos modelos de negócio baseados em dados. Em termos práticos, reforçar estas redes promove a aceleração da transição digital, abre novas oportunidades de negócio através da integração em cadeias de valor mais exigentes e dá às PME maior visibilidade no ecossistema.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Reforçar redes de colaboração e inovação aberta”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Reforçar redes de colaboração e inovação aberta	Necessária	Redes abertas permitem acesso a conhecimento externo e aceleram inovação conjunta.	Potencia cocriação e inovação colaborativa.

2.6 Síntese das necessidades da dimensão Cultura

Tabela 3 - Síntese das necessidades da dimensão Cultura

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Fortalecer a cultura digital.	Crítica	Eleva o envolvimento dos colaboradores, consolida práticas baseadas em dados e garante continuidade sustentada da mudança.
Reduzir o receio da partilha e utilização de dados	Necessária	Transforma informação em ativo coletivo, qualifica a decisão, aumenta confiança e estimula colaboração interna e externa.
Reforçar redes de colaboração e inovação aberta	Necessária	Potencia co-criação, facilita acesso a competências externas, promove partilha de conhecimento e acelera inovação em ecossistemas colaborativos.

2.7 Inovação Digital

A dimensão Inovação Digital refere-se à capacidade de converter tecnologia e dados em novas propostas de valor, produtos/serviços e modelos de negócio, incluindo a incorporação de funcionalidades TIC em produtos, a exploração dos dados gerados em uso e o desenvolvimento de serviços baseados em dados que criem receitas e fidelização (Vial, 2019).

Criar serviços baseados em dados integrados com clientes

Uma das frentes de inovação digital mais promissoras é a criação de serviços baseados em dados (data-driven) integrados com os clientes. O relatório do Shift2Future evidencia que a maioria das PME industriais portuguesas ainda não explora este tipo de oferta: 65,6% não têm qualquer serviço baseado em dados nem integração de informação com clientes, e apenas 14,1% referem dispor de serviços integrados. Em termos práticos, isto significa que grande parte das empresas continua a limitar-se à venda de produtos físicos tradicionais, sem oferecer valor acrescentado através de serviços digitais

associados ao produto ou à sua utilização. Exemplos de serviços data-driven incluem a monitorização remota de equipamentos fornecidos ao cliente, com alertas de manutenção preditiva; plataformas digitais onde o cliente acompanha em tempo real o estado das encomendas ou o desempenho dos produtos; ou análises de padrões de consumo que permitem sugerir otimizações personalizadas.

A importância desta necessidade está diretamente ligada à tendência de servitização e à busca por novas fontes de receita para além da venda pontual de produtos. Serviços baseados em dados permitem a criação de modelos de negócio mais resilientes, nomeadamente através de subscrições, contratos de manutenção preditiva ou esquemas pay-per-use, diversificando e estabilizando as entradas financeiras das PME. A integração de sistemas com os dos clientes fortalece o relacionamento, torna a empresa mais indispensável e aumenta a fidelidade, criando custos de substituição mais elevados. A literatura sobre digital *servitization* destaca que a transformação de produtos em soluções digitais completas pode aumentar receitas e margens, diferenciando as empresas da concorrência que permanece centrada apenas na venda do produto (Stadlmann et al., 2023).

O impacto esperado da implementação de serviços data-driven é significativo. Em primeiro lugar, abre novas fontes de receita recorrente e contribui para a diversificação e resiliência financeira das PME. Em segundo lugar, promove a fidelização dos clientes, ao oferecer-lhes valor contínuo e personalizado, incentivando-os a permanecer com o fornecedor que proporciona entendimentos e suporte proativos. Em terceiro lugar, possibilita a expansão para novos mercados, uma vez que muitos serviços digitais podem ser prestados de forma remota, ultrapassando barreiras geográficas. Em última análise, a adoção desta abordagem exige novas competências — como análise de dados e desenvolvimento de software — e, em alguns casos, parcerias estratégicas. A criação de serviços baseados em dados representa um passo crucial para transformar PME industriais em fornecedores de soluções completas, mais competitivas e alinhadas com as exigências da economia digital.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Criar serviços baseados em dados integrados com clientes”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Criar serviços baseados em dados integrados com clientes	Crítica	Novos serviços digitais fortalecem a relação com os clientes e diversificam as fontes de receita.	Gera receitas recorrentes e fidelização.

Aumentar o peso dos serviços *data-driven* no negócio

Outra necessidade crítica identificada prende-se com o aumento do contributo dos serviços baseados em dados para o volume de negócios das PME. Os dados do Shift2Future revelam que 59,4% das empresas reportaram que estes serviços não têm qualquer peso nas suas receitas, evidenciando que, para a maioria, a faturação continua dependente da venda tradicional de produtos ou de serviços não digitais. Em termos práticos, isto significa que os modelos de negócio permanecem centrados no

produto físico, deixando por explorar o potencial da monetização de dados. Exemplos de possíveis soluções incluem a venda de dados anonimizados sobre padrões de utilização de produtos para estudos de mercado, o fornecimento de dashboards avançados como serviço pago, ou a adoção de modelos de contrato de desempenho, em que o cliente paga em função da eficiência alcançada, medida por indicadores recolhidos digitalmente.

A importância de expandir o peso dos serviços data-driven está diretamente relacionada com a diversificação e a resiliência económica das empresas. Ao contrário das vendas de produtos, que são pontuais e frequentemente sujeitas à pressão da concorrência internacional, os serviços tendem a produzir receitas recorrentes e margens mais elevadas. Além disso, uma vez desenvolvido, um serviço digital pode ser escalado para múltiplos clientes com custos marginais reduzidos, aproveitando a lógica de economia de escala típica do software. Para as PME, integrar serviços baseados em dados significa capturar maior valor pós-venda e prolongar o relacionamento com os clientes, passando a posicionar-se como fornecedores de soluções completas. A literatura sobre servitização confirma que as empresas que evoluem para combinações produto-serviço conseguem produzir fluxos de receita mais sustentáveis, maior fidelização e uma proteção mais forte contra a comoditização dos seus produtos físicos (Linde et al., 2023).

O impacto esperado desta evolução é substancial. Em primeiro lugar, as PME ganham maior previsibilidade e robustez financeira, apoiadas em receitas recorrentes e menos vulneráveis a flutuações na procura de produtos. Em segundo lugar, posicionam-se como empresas de soluções, e não apenas de mercadorias, o que abre caminho para parcerias de maior valor e para um posicionamento de mercado diferenciado. Em terceiro lugar, muitos serviços data-driven possuem um perfil de sustentabilidade mais positivo, como acontece com serviços de otimização energética baseados em análise de dados, que contribuem simultaneamente para objetivos ambientais e de reputação corporativa. Para concretizar esta mudança, será necessário investir em competências de desenvolvimento de software, ciência de dados e gestão de clientes em novos formatos, mas os casos de sucesso internacionais mostram que o retorno compensa amplamente o esforço inicial. Em suma, aumentar a relevância dos serviços baseados em dados no volume de negócios permitirá às PME construir modelos mais diversificados, rentáveis e sustentáveis, capazes de sustentar reinvestimento em inovação e a criação de vantagens competitivas mais difíceis de replicar.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Aumentar o peso dos serviços data-driven no negócio”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Aumentar o peso dos serviços data-driven no negócio	Necessária	Serviços baseados em dados estabilizam as receitas e aumentam as margens de rentabilidade.	Assegura sustentabilidade e crescimento.

Passar da recolha para a utilização/análise de dados

Já se evidenciou que muitas empresas recolhem dados, mas não os utilizam de forma plena. Daí decorre a necessidade de evoluir da simples recolha para a análise e aplicação efetiva dos dados, de modo a produzir valor real para o negócio. Conforme evidenciado anteriormente, há uma fatia relevante dos dados recolhidos que permanece sem exploração, o que significa que, apesar de investirem em sistemas de recolha, sensores e bases de dados, o passo crucial de transformar a informação em conhecimento acionável não se concretiza numa parte significativa das PME. O objetivo passa, portanto, por implementar ferramentas de análise de dados, *business intelligence* (BI) e inteligência artificial, e por integrar estas análises nos processos de decisão do dia a dia, assegurando que as escolhas estratégicas e operacionais são fundamentadas em evidência.

A relevância deste passo está amplamente documentada na literatura de gestão e inovação. As empresas orientadas por dados apresentam sistematicamente melhores resultados em indicadores de desempenho, precisamente porque as suas decisões são mais rápidas, consistentes e fundamentadas (Radi et al., 2024). Ao aplicar análises estatísticas, dashboards de indicadores ou algoritmos preditivos, as PME podem antecipar problemas, identificar padrões e agir de forma proativa em vez de meramente reativa. A capacitação analítica é apontada por diversos autores como um diferencial competitivo essencial no contexto da Indústria 4.0, exigindo investimento não só em tecnologia, mas também nas competências humanas necessárias para interpretar e aplicar a informação.

O impacto esperado desta evolução é substancial. Ao incorporar a análise de dados nos processos, a tomada de decisão torna-se mais ágil e fundamentada, reduzindo erros e encurtando os ciclos de melhoria contínua. Em vez de depender de relatórios mensais ou da intuição dos gestores, a empresa passa a monitorizar indicadores em tempo real e a ajustar operações quase de imediato. Isto traduz-se em ganhos concretos de eficiência, redução de desperdícios e maior alinhamento das decisões com as necessidades dos clientes. Do ponto de vista organizacional, cria-se uma dinâmica de melhoria incremental que fortalece a resiliência e a capacidade de inovação da PME.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Passar da recolha para a utilização/análise de dados”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Passar da recolha para a utilização/análise de dados	Necessária	A análise de dados melhora as decisões, reduz riscos e acelera a inovação.	Apoia decisões preditivas confiáveis.

Incorporar funcionalidades TIC nos produtos

No domínio dos Produtos Inteligentes, o estudo conduzido no âmbito do Shift2Future revelou que uma parte significativa das PME continua a comercializar produtos sem qualquer integração de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Concretamente, 48,4% das empresas afirmaram não ter

incorporado funcionalidades TIC nos seus produtos, o que significa que quase metade do tecido empresarial ainda oferece soluções incapazes de gerar ou transmitir dados. Esta realidade representa uma limitação importante, pois na Indústria 4.0 espera-se que os produtos possam ser conectados, monitorizados e integrados em ecossistemas digitais. Atribuir sensores aos produtos, identificadores digitais, ligação à internet, memória ou sistemas de monitorização é, assim, um passo essencial para a evolução tecnológica e para a criação de valor adicional para o cliente.

A incorporação de TIC nos produtos transforma-os em elementos da Internet das Coisas, permitindo-lhes recolher e transmitir informação em tempo real. Isto abre a porta a uma vasta gama de novos serviços, como a monitorização remota, contratos de manutenção preditiva ou atualizações de software à distância, que elevam a experiência do cliente e prolongam a relação comercial. A literatura sublinha que os produtos inteligentes contribuem para reduzir o custo total do ciclo de vida, ao mesmo tempo que possibilitam novas fontes de receita para os fabricantes, através de serviços associados e modelos de negócio baseados na utilização (Stadlmann et al., 2023). Por exemplo, sensores num equipamento podem ajudar o cliente a otimizar o consumo energético, enquanto fornecem ao fabricante dados valiosos para propor serviços personalizados ou vender consumíveis de forma mais eficiente.

Para os clientes, traduz-se em maior eficiência, fiabilidade e valor de utilização; para as empresas, representa diferenciação em mercados cada vez mais competitivos e a possibilidade de diversificar o modelo de negócio através da servitização. Acresce que estes produtos oferecem também vantagens ambientais, ao permitirem uma gestão mais racional dos recursos e a rastreabilidade ao longo do ciclo de vida, facilitando processos de manutenção e reciclagem. Assim, incorporar TIC nos produtos não é apenas uma tendência tecnológica, mas um requisito estratégico para assegurar competitividade, sustentabilidade e resiliência das PME no contexto da Indústria 4.0.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Incorporar funcionalidades TIC nos produtos”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Incorporar funcionalidades TIC nos produtos	Necessária	Produtos inteligentes diferenciam a oferta e permitem novos modelos de negócio.	Enriquece a experiência e o valor do produto.

Explorar dados produzidos pelo produto

Em complemento à necessidade de capacitar todos os produtos com funcionalidades digitais, surge a exigência de encerrar o ciclo de utilização dos dados por eles produzidos, transformando-os em conhecimento e serviços de valor acrescentado. O levantamento efetuado no âmbito do projeto Shift2Future mostra que, mesmo quando há produtos com componentes digitais, apenas 17,2% das empresas analisam os dados gerados por esses produtos. Isto significa que mais de 80% das PME não aproveitam a informação valiosa sobre como, quando e em que condições os seus produtos são utilizados pelos clientes. Esta lacuna traduz-se numa oportunidade perdida de desenvolver serviços

diferenciados, de melhorar continuamente os produtos e de explorar novos modelos de negócio. Fechar o ciclo dados–utilização–serviço implica recolher dados em tempo real do produto em uso, enviá-los para análise (por exemplo, via plataformas cloud) e formar entendimentos que permitam tanto oferecer serviços pós-venda como repensar estratégias de design e comercialização.

A importância deste processo é inequívoca. A monitorização da utilização de produtos em campo permite, por exemplo, oferecer manutenção preditiva, evitando falhas inesperadas e tempos de paragem prolongados para o cliente, enquanto produz receitas recorrentes para o fabricante. Além disso, o feedback real obtido da utilização alimenta diretamente o ciclo de inovação e desenvolvimento, possibilitando ajustar características de design e introduzir melhorias que correspondam às condições reais de operação. O conceito de *digital twin*, assenta precisamente nesta lógica de criar um reflexo digital do produto em utilização, que serve para testar, antecipar falhas e otimizar a sua performance. Esta capacidade de ligar produto, dados e serviços permite também evoluir para modelos de servitização avançados, como contratos baseados em resultados (*outcome-based services*), em que o cliente não compra apenas o equipamento, mas sim horas de funcionamento ou níveis de desempenho garantidos.

O impacto esperado da exploração sistemática dos dados de produto é transformador. Para os clientes, traduz-se em equipamentos mais fiáveis, serviços mais personalizados e uma utilização mais eficiente dos recursos. Para as PME, abre-se a oportunidade de criar fluxos de receita recorrente, fidelizar clientes e posicionar-se como fornecedoras de soluções completas e inteligentes, em vez de meros vendedores de produtos físicos. Adicionalmente, estas práticas contribuem para a sustentabilidade, uma vez que permitem estender a vida útil dos produtos, planear melhor a sua manutenção e até estruturar processos de recolha e reciclagem informados pelos dados.

A seguir apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Explorar dados produzidos pelos produtos”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Explorar dados produzidos pelos produtos	Necessária	Dados gerados permitem a manutenção preditiva e a inovação contínua.	Sustenta novos modelos de negócio.

Partilhar informação com clientes/fornecedores

No âmbito das Operações Inteligentes, o Relatório de Maturidade produzido no âmbito do Shift2Future destacou um problema estrutural: 37,5% das empresas não integram qualquer informação externa nos seus sistemas centrais, que ainda funcionam de forma isolada em relação a clientes e fornecedores. Este défice de integração representa uma barreira significativa à criação de cadeias de valor verdadeiramente digitais e colaborativas. A necessidade aqui identificada consiste em melhorar a visibilidade e a colaboração ao longo da cadeia através da partilha de dados em tempo real. Essa partilha pode assumir várias formas, desde previsões de consumo e níveis de stock até planos de

produção e estado de encomendas, e realizar-se por meio de plataformas de gestão colaborativa da cadeia de abastecimento, portais web, EDI ou APIs que conectem os sistemas ERP/MES da empresa com os dos seus parceiros estratégicos (Sukma & Yamnill, 2025).

A importância desta integração é clara. Uma cadeia de valor sustentada pela troca de informação é mais ágil, previsível e eficiente. Quando um fornecedor acede a previsões de vendas do cliente, pode ajustar a sua produção com antecedência, reduzindo o risco de rupturas ou excessos de stock. Do mesmo modo, quando um cliente tem acesso ao andamento da produção ou expedição no sistema do fornecedor, consegue planear melhor a sua logística e comunicar de forma mais proativa com os seus próprios clientes finais. A literatura sobre gestão da cadeia de abastecimento demonstra que esta transparência reduz os desperdícios, mitiga o chamado efeito chicote (*bullwhip effect*) e melhora substancialmente o desempenho global. A confiança entre parceiros também se reforça, pois a partilha de informação cria alinhamento e compromisso mútuo.

O impacto esperado da concretização desta integração horizontal é profundo. Para as PME, significa aceder a práticas avançadas como *Vendor Managed Inventory*, em que os fornecedores gerem autonomamente o stock dos clientes com base em dados de consumo em tempo real, reduzindo custos e aumentando a eficiência de ambos. Em termos de sustentabilidade, a coordenação mais fina permite reduzir transportes urgentes e desperdícios de produção, contribuindo para cadeias mais verdes. Já em termos de resiliência, cadeias digitalmente integradas conseguem reagir coletivamente a disrupções. Quando ocorre, por exemplo, o atraso de um navio, todos os parceiros que partilham dados são capazes de ajustar os seus planos em conjunto, limitando os impactes. Em síntese, ao reforçar a integração de dados com clientes e fornecedores, as PME transformam-se em nós ativos de uma rede digital colaborativa, com ganhos de eficiência, sustentabilidade e capacidade de adaptação a um mercado cada vez mais dinâmico.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Partilhar informação com clientes/fornecedores”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Partilhar informação com clientes/fornecedores	Necessária	Transparência e agilidade aumentam a competitividade e a confiança na cadeia de valor.	Melhora a colaboração e a previsibilidade.

Adotar SI integrados (MES/ERP/PPS) como base da digitalização

Uma das necessidades críticas para a digitalização das PME é a implementação de sistemas de informação integrados, que funcionem como a espinha dorsal da transição digital. O relatório do Shift2Future evidencia que sistemas como ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System) ou PPS (Planeamento e Programação da Produção), quando devidamente integrados, têm a capacidade de converter processos tradicionais em fluxos digitais contínuos, eliminando práticas baseadas em papel e silos de informação. No entanto, muitas PME ainda operam com soluções fragmentadas, seja através de software departamental não interligado, seja por folhas

de cálculo manuais, o que compromete a fluidez e a consistência dos dados. A adoção de sistemas core integrados (como um ERP para compras, vendas, inventário e finanças, complementado por MES para ligar o planeamento à execução fabril) é, por isso, um passo essencial para criar as condições necessárias ao avanço na Indústria 4.0.

A importância desta integração reside no facto do ERP/MES se tornar o pilar digital da organização. É a partir destes sistemas que se assegura a rastreabilidade de ponta a ponta e a coerência da informação em toda a empresa. Sem esta infraestrutura, qualquer tentativa de implementar ferramentas avançadas, como inteligência artificial ou analítica preditiva, será dificultada pela dispersão e baixa qualidade dos dados. A literatura confirma que a integração de sistemas nucleares é um alicerce indispensável para alcançar níveis superiores de maturidade digital, pois permite estabelecer uma “única versão da verdade” organizacional. Do ponto de vista operacional, a integração reduz erros e retrabalho, aumenta a padronização de processos e assegura que decisões críticas, como planos de produção, se baseiam em dados atualizados e consistentes (Frank et al., 2019).

Prevê-se um impacto expressivo decorrente da satisfação desta necessidade. A implementação de ERP/MES/PPS integrados fornece às PME uma rastreabilidade total da cadeia de valor, ligando matérias-primas, processos fabris, encomendas e entregas ao cliente final. Além de melhorar a qualidade e a eficiência interna, esta rastreabilidade é cada vez mais exigida em setores regulados, como a indústria alimentar, farmacêutica ou automóvel. Adicionalmente, ao assegurar a disponibilidade de dados em tempo real, os sistemas integrados tornam-se a base de iniciativas de Business Intelligence e de algoritmos de otimização. Assim, longe de ser um fim em si mesmo, o ERP/MES integrado é um potenciador de todas as outras tecnologias da Indústria 4.0. Ao capacitar a empresa de processos digitais claros e bem estruturados, cria-se um terreno fértil para a automação contínua, a inovação baseada em dados e uma maior resiliência organizacional.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Adotar sistemas de informação integrados (ERP/MES/PPS)”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Adotar SI integrados (MES/ERP/PPS) como base da digitalização	Necessária	Sistemas integrados garantem rastreabilidade de ponta a ponta e melhoram a eficiência.	Automatiza fluxos e aumenta a qualidade.

Atualizar infraestrutura para M2M

Na esfera da Fábrica Inteligente, destaca-se a necessidade de investir numa infraestrutura física e digital capaz de suportar comunicações Máquina a Máquina (M2M) e interoperabilidade de forma integral e fiável. O relatório produzido no âmbito do Shift2Future mostra que estas funcionalidades permanecem ainda em estado incipiente na maioria das PME, em grande parte devido à dependência de equipamentos antigos que não foram concebidos para integração digital. Máquinas antigas sem portas de comunicação, controladores proprietários sem compatibilidade com protocolos abertos ou redes industriais lentas e inseguras são exemplos de barreiras práticas que limitam a conectividade.

Para ultrapassar estas restrições, torna-se necessário atualizar hardware, implementar redes industriais modernas (como Ethernet industrial ou 5G privado), introduzir gateways IoT e adotar normas de comunicação standardizadas, de modo a criar um ecossistema fabril verdadeiramente integrado.

A importância desta atualização reside no facto de ser a base técnica que torna viável a automação avançada e o fluxo contínuo de dados em tempo real. Uma fábrica inteligente exige, por exemplo, cobertura de rede sem fios robusta em todo o chão de fábrica, dispositivos programáveis compatíveis com protocolos universais (como OPC UA ou MQTT) e capacidade de processamento local através de soluções de *edge computing*. Sem estas condições, a melhor estratégia de integração digital não se materializa devido a constrangimentos técnicos. A literatura tem demonstrado que empresas que modernizam sua infraestrutura digital conseguem reduzir os tempos de paragem e acelerar os *setups*, graças à comunicação direta e automática entre máquinas. Casos documentados mostram reduções significativas de downtime quando sensores e redes IIoT permitem automatizar trocas de ferramentas ou reajustes de linhas, algo impraticável em ambientes fragmentados.

O impacto esperado desta modernização é profundo. A interoperabilidade real e as comunicações M2M tornam possível a automação de ponta a ponta, a redução drástica de tempos mortos e uma maior flexibilidade produtiva (Enrique et al., 2023). A fábrica passa a estar preparada para integrar tecnologias de última geração, como veículos autónomos, robôs colaborativos ou sistemas de monitorização contínua de condição, que dependem de redes seguras e de máquinas interligadas. Além disso, ao adotar protocolos abertos e infraestrutura escalável, as PME garantem que poderão integrar futuros equipamentos e soluções sem ter de reconstruir todo o ecossistema fabril. Em termos competitivos, esta atualização confere agilidade e capacidade de resposta, permitindo atender encomendas personalizadas ou flutuações de procura com maior rapidez e eficiência (Bouchard et al., 2023; Tzimas et al., 2024). Em síntese, investir em infraestrutura para suportar M2M e interoperabilidade não é apenas uma atualização tecnológica, é o passo que liberta todo o potencial da fábrica inteligente, proporcionando ganhos de eficiência, qualidade e resiliência que sustentam a competitividade das PME no longo prazo.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade **“Atualizar a infraestrutura para M2M”**, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Atualizar a infraestrutura para M2M	Necessária	A interoperabilidade amplia a automação, reduz custos e aumenta a flexibilidade produtiva.	Facilita a integração e a escalabilidade.

Digital twin em toda a fábrica

Uma das aplicações mais avançadas da Indústria 4.0 é o conceito de *digital twin* do chão de fábrica, uma réplica digital de equipamentos, linhas ou até de toda a unidade fabril, capaz de simular e monitorizar o sistema físico em tempo real. Apesar de algumas empresas já terem explorado pilotos ou

projetos pontuais, o relatório do Shift2Future mostra que a recolha automática de dados continua longe de ser generalizada: apenas 67,2% das empresas captam informação em algumas máquinas, enquanto 23,4% dependem ainda de registos manuais. Esta limitação compromete a construção de gémeos digitais completos e fiáveis, já que a sua eficácia depende de dados contínuos, de qualidade e com rastreabilidade plena. Assim, a necessidade crítica consiste em alargar a cobertura da recolha automática e garantir que a modelação digital abrange todo o parque fabril, assegurando uma correspondência robusta entre o modelo virtual e a realidade física.

A relevância do *digital twin* reside na sua capacidade de transformar a forma como a produção é gerida e melhorada. Um gémeo digital permite testar virtualmente cenários de alteração sem interromper a produção real. Por exemplo, aumentar a velocidade de uma máquina, alterar a sequência de operações ou redistribuir cargas entre linhas (Bastos et al., 2024). Permite também identificar gargalos ocultos e simular otimizações de fluxo, reduzindo riscos e aumentando a eficiência. Para além disso, quando alimentado com dados em tempo real, torna-se uma ferramenta poderosa de manutenção preditiva. A comparação entre o comportamento atual do equipamento e o seu modelo digital ideal permite detetar variações subtis que sinalizam falhas iminentes. O *digital twin* tem ainda aplicações em formação e segurança, possibilitando que operadores treinem virtualmente em situações complexas ou de emergência, reduzindo riscos e acelerando tempos de resposta (Bastos et al., 2024).

O impacto esperado da integração dos gémeos digitais é transformador. As PME poderão monitorizar e gerir a produção em tempo real de forma proativa, antecipando problemas e simulando alterações antes de as implementar fisicamente. Isto traduz-se em reduções de tempo de inatividade, melhorias de qualidade, maior flexibilidade para adaptar a produção a encomendas personalizadas e até otimização energética, ao simular agendas de produção que minimizem picos de consumo (Mick et al., 2024). Em paralelo, o *digital twin* abre caminho para a integração futura de inteligência artificial, servindo como ambiente virtual para testar e treinar algoritmos de melhoria contínua (Dawid et al., 2023). Posto isto, escalar o *digital twin* do piloto à totalidade do “chão de fábrica” representa um passo decisivo para capacitar as PME de uma gestão avançada, inteligente e sustentável das suas operações, convertendo dados em conhecimento acionável e vantagem competitiva.

A seguir, apresenta-se a síntese estruturada da necessidade “**Digital twin ao nível de toda a fábrica**”, destacando a sua relevância, a justificação e o contributo esperado para o reforço da maturidade digital das PME.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	JUSTIFICAÇÃO	CONTRIBUTO
Digital twin em toda a fábrica	Necessária	Simulações em tempo real permitem prever falhas e otimizar processos fabris.	Otimiza produção e manutenção.

2.8 Síntese das necessidades da dimensão Inovação Digital

Tabela 4 - Síntese das necessidades da dimensão Inovação Digital

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Criar serviços baseados em dados integrados com clientes	Crítica	Diversifica o negócio, cria receitas recorrentes, aumenta a fidelização e reforça a relação com o cliente.
Aumentar o peso dos serviços data-driven no negócio	Necessária	Estabiliza os fluxos de receita, aumenta as margens, garante a sustentabilidade financeira e o reinvestimento em inovação.
Passar da recolha para a utilização/análise de dados	Necessária	Melhora a qualidade das decisões, antecipa problemas, encurta ciclos de melhoria e aumenta a resiliência operacional.
Incorporar funcionalidades TIC nos produtos	Necessária	Promove servitização, diferencia a oferta, enriquece a experiência do cliente e gera valor adicional.
Explorar dados produzidos pelos produtos	Necessária	Viabiliza a manutenção preditiva, alimenta a inovação contínua e suporta modelos de negócio baseados em resultados.
Partilhar informação com clientes/fornecedores	Necessária	Aumenta a agilidade, a previsibilidade e a transparência, fortalecendo a confiança e a sustentabilidade da cadeia de valor.
Adotar sistemas de informação integrados (ERP/MES/PPS) como base da digitalização	Necessária	Garante rastreabilidade ponta-a-ponta, automatiza fluxos, melhora qualidade da informação e suporta analítica avançada.

NECESSIDADE	RELEVÂNCIA	CONTRIBUTO
Atualizar a infraestrutura para M2M	Necessária	Viabiliza a automação avançada, assegura escalabilidade e facilita a integração de novos equipamentos digitais.
<i>Digital twin</i> em toda a fábrica	Necessária	Permite simulação em tempo real, manutenção preditiva e otimização global de processos fabris.

3 Pilares da transição digital incremental

A transição digital incremental caracteriza-se por mudanças faseadas, que permitem às empresas integrar tecnologias digitais sem ruptura abrupta dos seus modelos de negócio existentes. Essa abordagem é particularmente adequada às PME portuguesas, cuja maturidade digital permanece em níveis iniciais, mas que demonstram potencial de evolução gradual.

A análise das necessidades críticas identificadas revela quatro dimensões — Estratégia, Organização, Cultura e Inovação Digital — que constituem os pilares fundamentais para aumentar a maturidade digital.

3.1 Pilar Estratégia

Necessidade crítica 1: Formalizar a estratégia i4.0

A ausência de uma estratégia explícita limita a coerência das iniciativas digitais. Quando a estratégia é formalizada, a empresa consegue alinhar investimentos, priorizar projetos e mobilizar recursos de forma coordenada. A literatura mostra que a existência de um plano estratégico digital está positivamente correlacionada com o desempenho competitivo e a capacidade de adaptação a ambientes turbulentos (Hanelt et al., 2021; Verhoef et al., 2021; Matt et al., 2015).

A formalização de uma estratégia digital clarifica objetivos e prioridades, orienta o investimento em capacidades (agilidade digital, analítica de dados, integração em ecossistemas) e induz desenhos organizacionais mais maleáveis, preparados para reconfigurar processos e modelos de negócio. A existência de um plano estratégico explícito também introduz métricas digitais e de cliente que melhoram a gestão do portefólio e a aprendizagem contínua, reforçando o alinhamento estratégia–tecnologia e a ambidestria organizacional, isto é, a capacidade de aproveitar e otimizar o negócio atual enquanto experimenta e explora novas oportunidades de negócio.

Assim, ao satisfazer esta necessidade, a empresa não só clarifica o rumo da transformação como também aumenta a confiança de investidores, parceiros e colaboradores.

Necessidade crítica 2: Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia

Sem métricas claras, a evolução digital tende a ser difusa. A criação de indicadores de desempenho (KPIs) digitais permite monitorizar resultados, identificar desvios e ajustar rapidamente as ações, favorecendo um processo de aprendizagem contínua. Alguns estudos em maturidade digital confirmam que sistemas de medição estruturados aumentam a capacidade de realizar melhorias incrementais e sustentadas (Piccoli et al., 2024; Gong & Yang, 2024; Santos & Martinho, 2020).

Os sistemas de medição estruturados criam as condições para melhorar de forma contínua. Eles estabelecem a linha de base e o mapa de lacunas, definem a trajetória de evolução (estado-atual para estado-alvo) e permitem priorizar ações em vagas sucessivas. Ao associar métricas operacionais e de

cliente aos processos quase em tempo real, é possível encurtar o ciclo deteção-correção e sustentar práticas de melhoria contínua.

Em paralelo, estes sistemas facilitam *benchmarking* com pares e líderes, promovendo aprendizagem interorganizacional e foco nas iniciativas de maior impacto. A evidência aponta para melhores resultados financeiros e não financeiros bem como melhor experiência do cliente, quando a maturidade é acompanhada por medição consistente. Ao evitar projetos esporádicos e ao promover reavaliações periódicas de prioridades e investimentos, a organização acumula progressos, reforça responsabilização e transparência perante *stakeholders*. Desta forma a organização aumenta a sua resiliência para sustentar melhorias incrementais ao longo do tempo.

3.2 Pilar Organização

Necessidade crítica 1: Ligar máquinas e sistemas às TI

A integração entre sistemas produtivos e TI é uma base da Indústria 4.0. A ligação progressiva permite recolher dados em tempo real, reduzindo falhas e aumentando a eficiência operacional. Existem evidências empíricas que demonstram que empresas que alcançam esta integração registam ganhos de produtividade e flexibilidade (Khan et al., 2025). Integrar máquinas/sistemas de produção com as TI (integração vertical e horizontal) está associada a melhores resultados operacionais, traduzidos em mais produtividade e maior flexibilidade. Em termos práticos, a ligação em tempo real viabiliza monitorização contínua, manutenção preditiva e ajuste fino do planeamento, o que sustenta produtividade (menos paragens) e flexibilidade (reconfiguração rápida, mix de produto mais amplo).

Necessidade crítica 2: Alargar a recolha automática de dados

Quando a recolha de dados passa de parcial para abrangente, a empresa consegue eliminar zonas de sombra e basear decisões em informação completa. Isto traduz-se em maior previsibilidade e capacidade de resposta (Santos & Martinho, 2020). Quando a recolha automática passa a ser abrangente, a empresa reduz “zonas escuras” e obtém séries temporais completas sobre operação, qualidade, stock e procura. Isto melhora a previsibilidade porque aumenta a fiabilidade dos sinais (menos ruído, mais contexto) e permite detectar padrões e tendências com antecedência. O planeamento ganha estabilidade (menor variabilidade de prazos e de consumos), as previsões tornam-se mais robustas e os riscos operacionais são antecipados (falhas de equipamento, ruturas de stock, desvios de qualidade). Na prática, indicadores como a exatidão da previsão, a variabilidade do lead time e a disponibilidade dos equipamentos evoluem positivamente, suportando decisões mais seguras sobre capacidade, compras e prazos de entrega.

Em paralelo, a visibilidade em tempo (quase) real eleva a capacidade de resposta. Os alertas e a gestão por exceção reduzem o tempo entre deteção e correção, permitindo reprogramar ordens, ajustar parâmetros de processo, priorizar expedições críticas ou acionar manutenção antes da falha. Com dados completos, a empresa passa de ciclos reativos e espaçados para ciclos curtos e iterativos de decisão (detetar–decidir–agir). O resultado é uma operação mais ágil, capaz de reconfigurar

rapidamente planos de produção, níveis de stock e alocação de recursos à medida que a procura ou as condições de fornecimento mudam.

Necessidade crítica 3: Reforçar a gestão de TI e segurança nas interfaces externas

Com maior interligação digital, aumentam as vulnerabilidades. O reforço da segurança protege a confiança dos clientes e assegura continuidade operacional. A literatura sobre aceitação digital aponta que a perceção de segurança é um determinante central da adoção de soluções digitais, tanto por colaboradores como por clientes. Evidência recente confirma que a perceção de segurança (e a confiança daí decorrente) é um determinante robusto da adoção de soluções digitais: em e-commerce, uma meta-análise mostra que segurança percebida, risco percebido e confiança influenciam de forma significativa a decisão de compra (Handoyo, 2024); em fintech/banca digital, uma revisão sistemática concluiu que segurança e confiança figuram entre os preditores mais consistentes da intenção de uso (Jafri et al., 2024); e, de forma transversal a plataformas digitais, uma meta-análise recente evidencia que antecedentes de confiança, incluindo garantias estruturais de segurança, aumentam a intenção de usar (Oesterreich et al., 2024).

3.3 Pilar Cultura

Necessidade crítica: Fortalecer a cultura digital

A mudança cultural é frequentemente mais desafiante do que a tecnológica. Uma cultura digital robusta promove a aceitação das novas práticas e o envolvimento ativo dos colaboradores. Organizações com culturas orientadas para inovação digital demonstram maior resiliência e capacidade de ajustar modelos de negócio (Warner & Wäger, 2019). Satisfazer esta necessidade fortalece a mentalidade coletiva, reduz barreiras internas e acelera a absorção de tecnologias já disponíveis.

Fortalecer a mentalidade coletiva implica criar uma visão partilhada para a i4.0, com normas de experimentação, aprendizagem contínua e segurança psicológica, suportadas por rituais de partilha de resultados e quick wins. Esta cultura permite clarificar prioridades e estabelecer uma linguagem comum; uma cultura forte reduz barreiras internas (silos, resistência à mudança) através de equipas interfuncionais, formação e governança leve, e acelera a aceitação das tecnologias disponíveis. Em paralelo, alinhar cultura e estratégia i4.0 favorece desenhos organizacionais maleáveis, capazes de se reconfigurar continuamente, e reforça a resiliência via aprendizagem e inovação, mecanismos críticos para ajustar modelos de negócio em contexto turbulento (Hanelt et al., 2021; Awad et al., 2024).

3.4 Pilar Inovação Digital

Necessidade crítica: Criar serviços baseados em dados integrados com clientes

A oferta de serviços baseados em dados representa a evolução natural das empresas industriais para modelos híbridos produto-serviço. Ao integrar dados no relacionamento com clientes, criam-se novas

fontes de receita, aumenta-se a fidelização e melhora-se a experiência do utilizador. A literatura sobre servitização digital confirma que este movimento amplia a competitividade e permite capturar valor para além da venda de produtos.

Alguns estudos mostram que a criação de serviços digitais permite às empresas diferenciar as suas ofertas através de contratos flexíveis, com preços variáveis ou durações ajustáveis, que se adaptam melhor às necessidades dos clientes e reforçam a perceção de valor (Agarwal et al., 2022). Por outro lado, os serviços digitais possibilitam novas formas de captura de valor, monetizando não apenas a venda física, mas também o uso, a disponibilidade e o desempenho dos produtos ao longo do tempo, criando fluxos de receita recorrente e sustentáveis.

A combinação entre digitalização e criação de serviços digitais tem demonstrado efeitos sinérgicos no desempenho organizacional, sobretudo em setores intensivos em tecnologia e capital, onde se observa um impacto financeiro robusto mediado pela capacidade de inovação (Kohtamäki et al., 2020). De forma incremental, a criação de serviços digitais pode iniciar-se com serviços simples de monitorização e evoluir gradualmente para soluções mais sofisticadas, como manutenção preditiva, contratos de disponibilidade e personalização baseada em dados.

3.5 Reflexão Final

A satisfação destas necessidades críticas, organizadas nos quatro pilares da **Estratégia, Organização, Cultura e Inovação Digital**, constitui a base para que as PME portuguesas avancem de níveis iniciais para patamares mais maduros de digitalização. A transição digital incremental garante que a evolução se dá de forma sustentável, alinhada com a realidade de recursos limitados das empresas (Otuagoma Smith et al., 2025).

Ao responder progressivamente a estas necessidades, o tecido empresarial português beneficiará de maior produtividade, resiliência organizacional, inovação contínua e criação de novos modelos de negócio, reforçando a sua posição competitiva na economia europeia. Mais do que uma transformação tecnológica, trata-se de uma evolução sistémica que alia pessoas, processos e tecnologia para consolidar a maturidade digital e garantir crescimento sustentável.

Para complementar a análise detalhada apresentada nesta secção, a Tabela 5 agrega as necessidades críticas identificadas e os respetivos impactos esperados na maturidade digital. Esta tabela permite visualizar como cada necessidade, quando satisfeita de forma incremental, contribui para a evolução global da maturidade digital das empresas portuguesas.

Tabela 5 - Necessidades Críticas e Impactes na Maturidade Digital

Dimensão	Necessidade Crítica	Impacto Esperado na Maturidade Digital
Estratégia	Formalizar a estratégia i4.0	Alinha investimentos e prioridades; aumenta a coerência organizacional e a confiança de stakeholders.
	Criar sistema de indicadores para monitorizar a estratégia	Permite acompanhamento contínuo, ajusta desvios e reforça <i>accountability</i> e transparência.
Organização	Ligar máquinas e sistemas às TI	Aumenta a eficiência operacional e a integração de dados em tempo real.
	Alargar a recolha automática de dados	Melhora a fiabilidade da informação e apoia decisões baseadas em evidência.
	Reforçar a gestão de TI e segurança nas interfaces externas	Protege a continuidade do negócio e aumenta a confiança de clientes e parceiros.
Cultura	Fortalecer a cultura digital	Aumenta adesão dos colaboradores, reduz barreiras internas e acelera a absorção tecnológica.
Inovação Digital	Criar serviços baseados em dados integrados com clientes	Gera novos modelos de negócio, aumenta fidelização e cria valor acrescentado.

4 Definindo caminhos sustentáveis para a transição digital das PME

Como identificado no ponto anterior das necessidades críticas, a primeira necessidade da transição para o paradigma i4.0 reside na definição de uma estratégia que deve alinhar os objetivos da organização com as respostas esperadas pela adoção tecnológica. Neste sentido, espera-se que os objetivos macro das organizações contemplem os desafios de sustentabilidade, alinhando-se com critérios ESG (Environmental, Social and Governance) (Ndlovu et al., 2025). A dimensão sustentável nas organizações pode resultar em benefícios como a redução de responsabilidades ambientais, o reforço da reputação junto dos stakeholders e a maior atratividade junto de investidores e clientes. A literatura sustenta que as barreiras financeiras inerentes à digitalização podem ser superadas pelos benefícios enumerados (Ndlovu et al., 2025). Ao nível de indicadores, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável lançados pelas Nações Unidas, têm sido retratados como pilares para a análise do impacto da digitalização, havendo vários trabalhos cruzando o uso tecnológico com os objetivos cobertos pela tecnologia (Aravindaraj & Rajan Chinna, 2022; Bastos & Teixeira, 2024; Dionisio et al., 2022).

Ao nível organizacional, o principal caminho esperado pela adoção de tecnologia reside no aumento da eficiência operacional, resultando em redução de desperdícios. Tecnologias emergentes como digital twins, blockchain, IA e plataformas digitais contribuem para aumentar a rastreabilidade, prever desperdícios, otimizar processos produtivos e fomentar a inovação sustentável (Abdelwahed et al., 2025; Teixeira, 2025). Na esfera industrial, tecnologias como CPS e IIoT destacam-se pela capacidade de reduzir custos de fabrico e otimizar recursos (Mick et al., 2024). A maturidade digital surge como um fator determinante, ao permitir sistemas de gestão mais dinâmicos, automáticos e baseados em dados (Lunkes et al., 2025). Exemplos de vantagens de digitalização incluem a redução do uso de papel, sistemas modernos de climatização, monitorização de qualidade ambiental via IoT e inovações *low-carbon* (Alsanie, 2025; Hojnik et al., 2025; Mesjasz-Lech et al., 2025), a redução das emissões de carbono e o alinhamento com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável (Huang et al., 2024). A *Big Data Analytics* (BDA) também é referida na literatura como promissora na monitorização e previsão de impactes ambientais em tempo real, permitindo às PME tomar decisões mais informadas sobre a sua pegada de carbono, consumo energético e poluição (Gupta et al., 2018).

Ao nível dos colaboradores, a digitalização influencia positivamente o comportamento dos colaboradores, reforçando a autonomia e a responsabilidade (Lunkes et al., 2025). Contudo, esta transição necessita de colaboradores capacitados, requerendo programas especializados de formação. Este ponto é ainda um dos pilares de fomento do *engagement*, podendo dizer-se que a transição digital reforça o envolvimento ativo do colaborador, que é apontado como um dos fatores preponderantes na eficiência organizacional referida no ponto anterior (Bastos et al., 2022). A transição digital também é referida como promissora na melhoria das condições laborais dos colaboradores e como promissora no desenvolvimento de novas oportunidades de trabalho (Lunkes et al., 2025, Mick et al., 2024). Ainda no domínio social, a digitalização pode ser também uma alavanca para a inclusão e

a justiça social no trabalho. Plataformas digitais, inteligência artificial e ferramentas colaborativas oferecem oportunidades para promover igualdade de género, integrar comunidades vulneráveis, fomentar o *upskilling* via e-learning e garantir melhores condições de trabalho através de modelos mais flexíveis e inclusivos (Mhlanga, 2020).

Ao nível da inovação, uma das principais possibilidades abertas pelo universo 4.0 reside na otimização logística, fortalecendo a criação de modelos de economia circular (Teixeira, 2025). O desenvolvimento de novos produtos e de novos modelos de negócio também é uma das potencialidades do paradigma digital (Hojnik et al., 2025; Mihai et al., 2025).

Contudo, o equilíbrio entre transição digital e sustentabilidade continua a ser um desafio para muitas PME, que enfrentam restrições orçamentais, carência de competências e necessidade de preparação dos gestores de topo (Mick et al., 2024). Apesar de possuírem vantagens ao nível da transição digital, como a flexibilidade e a agilidade para se adaptarem a novas realidades, as PME são também mais vulneráveis em momentos de crise (Haq & Huo, 2023). Assim, dado que as PME são responsáveis por 90% dos negócios a nível global e 50% do emprego (Costa Melo et al., 2023), estas carecem de especial atenção no redesenho de frameworks para a transição digital (Bastos et al., 2025). O desenvolvimento da maturidade digital destas empresas tende a simplificar operações e aumentar a eficiência, fomentando a inovação e decisões baseadas em dados, ao mesmo tempo que pode minimizar impactes ambientais e sociais negativos. No entanto, sem orientação estratégica, estas iniciativas digitais podem agravar problemas como o consumo energético ou a produção de resíduos eletrónicos. A relação entre digitalização e sustentabilidade é, portanto, complexa e multifacetada, exigindo uma abordagem equilibrada que maximize benefícios e mitigue riscos.

A Tabela 6 estabelece a ligação entre os pilares da transição digital incremental – Estratégia, Organização, Cultura e Inovação Digital – as **necessidades críticas identificadas** em cada pilar e os respetivos **impactes na sustentabilidade**, tanto positivos como negativos.

Tabela 6 - Ligação entre Pilares, Necessidades Críticas e Impactes na Sustentabilidade

Pilar da Transição Digital	Necessidade Crítica	Impactes na Sustentabilidade
Estratégia	Formalizar a estratégia i4.0	Alinhamento estratégico com sustentabilidade (+): ao definir uma estratégia digital clara e alinhada com objetivos ESG, a empresa pode direcionar investimentos tecnológicos para reduzir desperdícios e emissões, reforçando a responsabilidade ambiental e social. Confiança e transparência (+): uma estratégia explícita aumenta a confiança de stakeholders e permite incorporar métricas de sustentabilidade (ex. indicadores de carbono ou Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) no acompanhamento do desempenho. Ausência de requisitos de sustentabilidade (-): se a estratégia digital não integrar critérios ambientais e sociais, os ganhos de eficiência podem vir à custa de maior consumo de recursos ou poluição adicional (p.ex., mais produção sem consideração ambiental pode elevar a pegada ecológica das PME). Investimento inicial (-): a formalização da estratégia exige tempo e recursos; As PME com recursos limitados podem enfrentar dificuldade em dedicar esforços à sustentabilidade no curto prazo, adiando benefícios.
	Criar um sistema de indicadores para monitorizar a estratégia	Melhoria contínua sustentável (+): indicadores bem definidos (incluindo indicadores ambientais e sociais) permitem monitorizar resultados e ajustar rapidamente desvios, fomentando a aprendizagem e as melhorias contínuas também no desempenho ambiental. Ao medir consumos de energia, emissões ou resíduos, a PME pode reduzir desperdícios de forma sistemática.

Levantamento de requisitos provenientes dos diagnósticos do SHIFT2FUTURE na dimensão Estratégia, Organização e Cultura

Pilar da Transição Digital	Necessidade Crítica	Impactes na Sustentabilidade
		Benchmarking e transparência (+): métricas comparáveis (ex.: intensidade de carbono, eficiência energética) facilitam a comparação com pares e a adoção de <i>best practices</i>, acelerando a transição para operações mais verdes. Cultura de métricas vs. Propósito (-): a excessiva focalização em indicadores quantitativos pode ignorar aspectos qualitativos da sustentabilidade (p.ex., bem-estar dos trabalhadores). Sobrecarga de dados (-): implementar sistemas de medição implica recolher e armazenar muitos dados. Se o processo não for otimizado, pode aumentar o consumo energético (data centers) e suscitar preocupações quanto à privacidade de dados.
Organização	Ligar máquinas e sistemas às TI	Eficiência energética e de recursos (+): a integração em tempo real de máquinas com sistemas de informação permite otimizar processos produtivos, reduzindo falhas, tempos de paragem e desperdícios. As tecnologias de Indústria 4.0 (IoT, manutenção preditiva, etc.) aumentam a eficiência operacional e reduzem o consumo desnecessário de energia e materiais. Transparência e economia circular (+): os dados em tempo real sobre produção e cadeia de abastecimento melhoram a rastreabilidade, facilitando práticas de economia circular (por ex., reutilização de materiais e reciclagem de resíduos). Consumo energético acrescido (-): a conectividade constante de máquinas, sensores e a infraestrutura digital exige energia adicional (servidores, redes), podendo aumentar a pegada de carbono da empresa.

Promovido por:

Cofinanciado por:

Pilar da Transição Digital	Necessidade Crítica	Impactes na Sustentabilidade
		Vulnerabilidades e segurança (-): a alta interligação digital expõe a empresa a riscos de cibersegurança; incidentes de segurança podem afetar a confiança de clientes e levar a custos adicionais (impacto socioeconómico negativo).
	Alargar a recolha automática de dados	Decisões baseadas em dados completos (+): ao obter dados abrangentes sobre operações (produção, qualidade, consumos), a PME elimina “pontos cegos” e consegue identificar ineficiências rapidamente, antecipando problemas (ex: manutenção antes de avarias). Isto traduz-se em menos desperdício de materiais e energia, pois ajusta-se a produção à procura real e evitam-se sobras e retrabalho. Agilidade e resposta a riscos (+): a visibilidade quase em tempo real permite reagir prontamente a desvios (ex.: picos de consumo ou emissões anómalas), reduzindo os impactes ambientais de incidentes e aumentando a resiliência face a interrupções. Dados vs. Energia (-): mais sensores e recolha contínua implicam mais dispositivos eletrónicos em operação, o que contribui para um maior consumo energético global e para a potencial geração de resíduos eletrónicos (sensores e equipamentos com vida útil limitada).
	Reforçar a gestão de TI e segurança nas interfaces externas	Continuidade do negócio e confiança (+): proteger sistemas digitais contra falhas e ataques garante operações estáveis, evitando paragens inesperadas que poderiam gerar desperdício de energia/materiais (ex. produtos perdidos por interrupção). Por outro lado, a confiança dos clientes aumenta quando os seus dados e transações estão seguras, favorecendo relações duradouras (valor social e económico). Custos e complexidade (-): melhorar a cibersegurança implica investimento contínuo em tecnologia e formação, o que pode ser desafiador para PME com recursos escassos. Se

Levantamento de requisitos provenientes dos diagnósticos do SHIFT2FUTURE na dimensão Estratégia, Organização e Cultura

Pilar da Transição Digital	Necessidade Crítica	Impactes na Sustentabilidade
		insuficiente, um incidente grave pode comprometer dados ambientais (p.ex., a perda de registos de emissões ou de consumos) e causar impactes sociais negativos (quebra de privacidade, perda de empregos se a empresa for afetada financeiramente).
Cultura	Fortalecer a cultura digital	Proatividade para a sustentabilidade (+): uma cultura organizacional que valoriza a inovação digital e partilha de conhecimento incentiva os colaboradores a adotar práticas sustentáveis e a colaborar em melhorias (ex.: sugerir ideias para reduzir consumos ou desperdícios). As organizações com cultura orientada à inovação digital mostram maior resiliência e capacidade de ajustar seus modelos de negócio diante de desafios, inclusive os ambientais. Redução de barreiras internas (+): ao promover uma mentalidade aberta à mudança, reduz-se o medo de partilhar dados e de usar novas tecnologias. Isto acelera a adoção de ferramentas já disponíveis, evitando o subaproveitamento de soluções que poderiam melhorar a sustentabilidade (por ex., sistemas de gestão ambiental baseados em IoT). Resistência à mudança (-): os colaboradores habituados a processos tradicionais podem resistir, o que resulta em fraca adesão às iniciativas digitais sustentáveis e até em sabotagem passiva (utilização mínima das ferramentas). Sobrecarga e stress tecnológico (-): se houver pressão para uma transformação digital rápida, sem apoio adequado, os colaboradores podem sentir ansiedade ou esgotamento (tecnostress). Este problema afeta o clima social da empresa e pode levar a quedas de produtividade ou saída de talentos, minando a sustentabilidade social da transformação digital.

Promovido por:

Cofinanciado por:

Levantamento de requisitos provenientes dos diagnósticos do SHIFT2FUTURE na dimensão Estratégia, Organização e Cultura

Pilar da Transição Digital	Necessidade Crítica	Impactes na Sustentabilidade
Inovação Digital	Criar serviços baseados em dados integrados com clientes	Novos modelos de negócio sustentáveis (+): ao desenvolver serviços digitais em torno dos produtos (ex.: monitorização remota, manutenção preditiva), as PME diversificam as receitas e podem prolongar o ciclo de vida dos produtos, evitando substituições prematuras e reduzindo resíduos. A servitização possibilitada pelos dados aumenta a fidelização dos clientes e permite modelos de negócio baseados em resultados (ex.: <i>produto como serviço</i>), promovendo uma utilização mais eficiente dos recursos. Inovação orientada aos ODS (+): os serviços digitais podem ser concebidos para abordar desafios de sustentabilidade (por ex., plataformas de partilha de bens, apps de eficiência energética), alinhando a transformação digital aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e gerando benefícios ambientais e sociais, ao mesmo tempo que criam valor económico. Paradoxo da eficiência tecnológica (-): novos serviços digitais podem exigir infraestrutura adicional (servidores cloud, centros de dados) e intensificar a utilização de recursos computacionais, o que leva a um maior consumo de energia. Se a procura pelo serviço crescer muito, pode ocorrer um efeito de retorno que anule parte dos ganhos ambientais.

Promovido por:

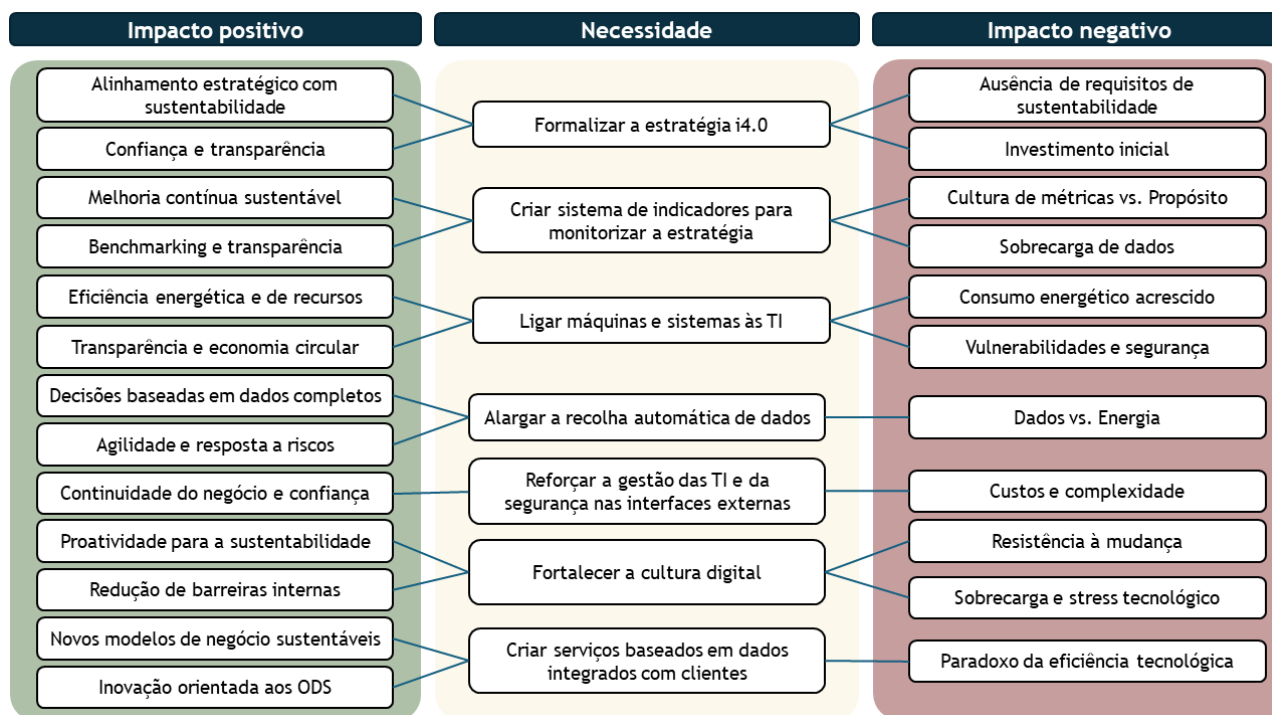


Cofinanciado por:



A figura 1 apresenta a esquematização dos impactos acima mencionados.

Figura 1- Framework dos impactos das necessidades



Com base nas ligações apresentadas na Tabela 6, apresentam-se agora recomendações práticas para alinhar as iniciativas de maturidade digital com objetivos de sustentabilidade, tendo em conta as necessidades reais das PME, o seu contexto operativo e limitações de recursos:

- Integrar sustentabilidade na estratégia digital:** Definir, desde o início, objetivos e métricas de sustentabilidade na estratégia de transformação digital da PME. Por exemplo, incluir metas de eficiência energética, de redução de emissões e indicadores ESG no plano digital, assegurando que cada projeto tecnológico contribua para resultados sustentáveis. Uma estratégia alinhada com os ODS e critérios ESG reforça reputação e atratividade junto de investidores e clientes, ajudando a superar possíveis barreiras financeiras.
- Priorizar tecnologias de alto impacto sustentável:** Dada a potencial limitação de recursos das PME, focar em iniciativas digitais com maior retorno sustentável. Por exemplo, adotar ferramentas de IoT e de análise de dados para monitorizar consumos em tempo real e otimizar o uso de energia e de matérias-primas, reduzindo desperdícios. Tecnologias como digital twins, manutenção preditiva e automatização inteligente podem reduzir falhas, melhorar a qualidade e minimizar resíduos, ao mesmo tempo em que aumentam a eficiência operacional.
- Gerir a pegada ambiental da transição digital:** Implementar práticas de descarbonização digital, ou seja, reduzir a pegada de carbono digital da empresa. Isto inclui infraestruturas eficientes (usar equipamentos e servidores de baixo consumo e migrar para cloud sustentáveis) e gestão inteligente de dados (rever periodicamente quais dados realmente necessitam de armazenamento ou processamento para evitar o excesso). Por exemplo, incentivar a

reutilização de conhecimento e dados, em vez de gerar duplicações desnecessárias, contribui para reduzir o consumo de energia nos centros de dados e para cumprir metas de carbono neutro.

- **Mitigar o e-waste e promover circularidade:** Planear o ciclo de vida dos equipamentos digitais. Estabelecer políticas de prolongamento da vida útil (manutenção, upgrades de software para evitar a substituição prematura), reutilização interna de dispositivos e reciclagem apropriada no fim da vida útil. Parcerias com fornecedores ou programas de recolha de eletrónicos podem assegurar que o lixo eletrónico gerado seja minimizado e corretamente tratado, fechando o loop da economia circular tecnológica.
- **Desenvolver competências e cultura participativa:** Investir na formação dos colaboradores para que compreendam e utilizem as novas tecnologias de forma eficaz e segura. Programas de capacitação em competências digitais e de sustentabilidade devem andar de mãos dadas. Isto aumenta o envolvimento proativo dos trabalhadores e diminui o medo da automação, convertendo-os em parceiros da transformação sustentável, em vez de vítimas da mudança. Adicionalmente, promover uma cultura de inovação aberta e de melhoria contínua, em que se reconhecem e recompensam as ideias dos colaboradores para otimizar processos e reduzir impactes, alimenta um círculo virtuoso de inovação sustentável na PME.
- **Adotar uma abordagem holística e incremental:** Ao traçar o *roadmap* de maturidade digital, avançar por etapas realistas que considerem as dimensões tecnológicas, organizacionais e culturais em conjunto. Por exemplo, antes de implementar uma tecnologia avançada, é necessário garantir a liderança empenhada, uma cultura pronta para a mudança e políticas de governação adequadas. Uma governação robusta deve enquadrar as iniciativas digitais com diretrizes claras (incluindo ética e privacidade) e o acompanhamento do desempenho sustentável. Alguns estudos destacam a importância de frameworks integrativos que combinem tecnologia, pessoas e políticas para alinhar a Indústria 4.0 com sustentabilidade organizacional. Em termos práticos, isto significa que a gestão de topo deve patrocinar a transição digital sustentável, definindo responsabilidades, comunicando a visão e monitorizando os progressos em todas as frentes (ambientais, sociais e económicas).
- **Medir e comunicar os benefícios:** Implementar sistemas para monitorizar continuamente os impactes das iniciativas digitais, tanto no desempenho do negócio quanto na sustentabilidade. Indicadores-chave podem incluir redução do consumo energético (kWh), redução de desperdícios e reciclagem, emissões evitadas, bem como métricas de desempenho financeiro e de satisfação dos clientes. Comunicar regularmente esses resultados aos stakeholders (colaboradores, clientes, investidores) consolida a transição digital sustentável, gerando apoio e orgulho organizacional. Conforme indicado na literatura, as empresas com maturidade digital elevada tendem a apresentar melhores resultados ambientais e sociais, ao mesmo tempo que mantêm competitividade. A transparência nesses ganhos reforça a confiança e legitima novas fases do projeto digital.

- **Fomentar parcerias e inovação aberta:** As PME não precisam percorrer este caminho sozinhas. É recomendável colaborar com centros de conhecimento, associações e outras empresas para partilhar boas práticas e, eventualmente, desenvolver soluções conjuntas. Participar em projetos colaborativos ou *clusters* de Indústria 4.0 sustentáveis pode dar acesso a recursos partilhados (por ex., plataformas tecnológicas comuns) e reduzir custos individuais. Além disso, políticas públicas e apoios governamentais (fundos para transição digital verde) devem ser aproveitados, ajudando a mitigar o peso inicial dos investimentos em tecnologia sustentável.

Em conclusão, alinhar a maturidade digital com a sustentabilidade não só maximiza os benefícios da transição (eficiências, novos negócios, maior competitividade), como também minimiza impactes negativos ambientais e sociais ao antecipar desafios (energia, lixo digital, desigualdades) e planeá-los desde cedo. Esta abordagem integrada permite que as PME avancem no seu percurso digital de forma responsável e resiliente, colhendo ganhos de curto prazo (produtividade, redução de custos) sem comprometer os objetivos de longo prazo de crescimento sustentável e valor para a sociedade. Cada pilar considerado neste relatório - estratégia, organização, cultura e inovação – desempenha um papel complementar nesse esforço, servindo de apoio à formulação de estratégias adaptadas à realidade de cada PME. Seguindo estas orientações e evidências, as organizações poderão maximizar os benefícios da transição digital ao mesmo tempo que promovem a sustentabilidade, fortalecendo assim a sua competitividade e contribuição positiva num mercado cada vez mais digital e exigente em critérios ESG.

5 Conclusões

Face às exigências dos mercados, a transição digital mostra-se essencial para a competitividade das organizações, sobretudo no caso das PME. Contudo, e apesar da importância desta transição, este grupo de empresas ainda apresenta baixos índices de maturidade digital. Neste cenário, o presente relatório apresentou um conjunto de 25 necessidades agrupadas por quatro pilares, estratégia, organização, cultura e inovação. Para a identificação da necessidade, o presente relatório classificou cada necessidade de acordo com sua criticidade, identificando 7 necessidades críticas e 18 necessidades. No pilar da estratégia, destaca-se a importância de uma estratégia de transição digital bem definida, a fim de priorizar necessidades e garantir a confiança dos stakeholders. Além disso, neste pilar, revela-se importante definir como será feita a monitorização do processo de transição digital, abrindo possibilidade de redesenhos do mesmo, de acordo com eventuais necessidades. Ao nível organizacional, três necessidades aparecem como críticas. A primeira prende-se à ligação dos sistemas e máquinas às TI, a fim de garantir a integração de dados e do conhecimento dos processos em tempo real. A segunda necessidade reflete a importância de alargar as recolhas automáticas de dados para apoiar as decisões com base em evidências. E por fim, a gestão das TI e da segurança nas interfaces externas, reforça a continuidade e prosperação do negócio, assente na confiança por parte de clientes e parceiros. Ao nível dos pilares da cultura e da inovação, destacam-se a importância de criar uma cultura digital para aumentar o comprometimento dos colaboradores com a adesão tecnológica e a de criar serviços baseados em dados, melhorando o valor acrescentado para o cliente e aumentando a fidelização do cliente.

A transição digital das PME deve ser pensada de forma sustentável desde o início, integrando objetivos claros, como a eficiência energética, a redução de emissões e os critérios ESG. Para maximizar o impacto, é essencial priorizar tecnologias com retorno ambiental elevado, como IoT, digital twins e/ou manutenção preditiva. A gestão da pegada digital deve ser acompanhada de práticas de economia circular, como o prolongamento da vida útil dos equipamentos e/ou a reciclagem. A capacitação dos colaboradores em competências digitais e sustentáveis é fundamental para criar uma cultura participativa e inovadora. Esta transformação deve ser conduzida por uma abordagem holística, com liderança empenhada, governação robusta e monitorização contínua dos benefícios, comunicando resultados aos stakeholders. Parcerias estratégicas e o aproveitamento de apoios públicos podem acelerar este caminho, tornando a digitalização não só uma alavanca de competitividade, mas também um compromisso com o futuro sustentável.

Em suma, a transição digital não aparece como um fator de fácil adoção e que requer algum cuidado para se evitar um aglomerado tecnológico sem valor acrescentado. Assim, as necessidades críticas das PME portuguesas no contexto da transição digital, propostas neste trabalho constituem uma contribuição forte e essencial para facilitar e fomentar a transição digital nas empresas. Além disso, a digitalização, quando orientada por objetivos ambientais, sociais e económicos, torna-se um motor de competitividade e resiliência para o tecido empresarial nacional.

6 Referências bibliográficas

1. Abdelwahed, N. A. A., Soomro, F. A., Bano, S., Aldoghan, M. A., Elrayah, M., & Soomro, B. A. (2025). Enabling sustainable futures: examining organizational dynamics and technology platforms in digital transformation to achieve firm sustainability. *International Journal of Innovation Science*, 17(4), 1023–1049. <https://doi.org/10.1108/IJIS-05-2024-0117>
2. Agarwal, G. K., Simonsson, J., Magnusson, M., Hald, K. S., & Johanson, A. (2022). Value-capture in digital servitization. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 33(5), 986–1004. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2021-0168>
3. Alsanie, G. (2025). Investigating the Impact of Digitalization on Resource Use, Energy Use, and Waste Reduction Towards Sustainability: Considering Environmental Awareness as a Moderator. *Sustainability*, 17(9), 4073. <https://doi.org/10.3390/su17094073>
4. Ansari, F., Kohl, L., Giner, J., & Meier, H. (2021). Text mining for AI enhanced failure detection and availability optimization in production systems. *CIRP Annals*, 70(1), 373–376. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.04.045>
5. Aravindaraj, K., & Rajan Chinna, P. (2022). A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 5, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100072>
6. Awad, J. A. R., & Martín-Rojas, R. (2024). Digital transformation influence on organisational resilience through organisational learning and innovation. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13731-024-00405-4>
7. Anwar, M. A., Zong, Z., Mendiratta, A., & Yaqub, M. Z. (2024). Antecedents of Big Data Analytics Adoption and its Impact on Decision Quality and Environmental Performance of SMEs in Recycling Sector. *Technological Forecasting & Social Change*, 205, Article 123468. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123468>
8. Bastos, T., Guimarães, C., & Teixeira, L. (2025). Framework of Best Practices to Drive the Digital Transition: Towards a 4.0 Paradigm Based on Evidence from Case Studies. *Future Internet*, 17(2), 82. <https://doi.org/10.3390/fi17020082>
9. Bastos, T., Salvadorinho, J., & Teixeira, L. (2022). UpSkill@Mgmt 4.0 - A digital tool for competence management: Conceptual model and a prototype. *International Journal of Industrial Engineering and Management*. <https://doi.org/http://doi.org/10.24867/IJIEEM-2022-4-315>
10. Bastos, T., & Teixeira, L. (2024). Digital Transition and Sustainable Development Goals: A Theoretical Reflection on the Impact of I4.0 Technologies. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, 713–720. https://doi.org/10.1007/978-3-031-38165-2_83
11. Bastos, T., Teixeira, L. C., & Nunes, L. J. R. (2024). Forest 4.0: Technologies and digitalization to create the residual biomass supply chain of the future. *Journal of Cleaner Production*, 467. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143041>
12. Belmouadden, M., Dadouchi, C., & Pellerin, R. (2025). Real-Time Decision Support System for Dynamic Optimization in Multi-Product Process Manufacturing. *IEEE Access*, 13, 53895–53908. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3553034>
13. Bergeret, F., Pagano, D., & Smith, W. (2023). Identification of Predictive Anomalous Signals in the Noise of Epitaxy Process Control: Topics: APC, DM, EO, NS/NC. 2023 34th Annual SEMI Advanced

Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC), 1–9.
<https://doi.org/10.1109/ASMC57536.2023.10121121>

14. Bouchard, S., Gamache, S., & Abdulnour, G. (2023). Operationalizing Mass Customization in Manufacturing SMEs—A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(4), 3028.
<https://doi.org/10.3390/su15043028>
15. Braun, G., Rikala, P., Järvinen, M., Hämäläinen, R., & Stahre, J. (2024). Bridging Skill Gaps – A Systematic Literature Review of Strategies for Industry. <https://doi.org/10.3233/ATDE240209>
16. Budur, T. (2025). Importance of Employee Training and Job Satisfaction on Individual and Organizational Level Innovativeness. *Journal of the Knowledge Economy*.
<https://doi.org/10.1007/s13132-025-02781-y>
17. Butt, J. (2020). A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. *Designs*, 4(2), 11. <https://doi.org/10.3390/designs4020011>
18. Campagna, J. M., & Bhada, S. V. (2024). Strategic Adoption of Digital Innovations Leading to Digital Transformation: A Literature Review and Discussion. *Systems*, 12(4), 118.
<https://doi.org/10.3390/systems12040118>
19. Cartwright, A., & Cartwright, E. (2023). The Economics of Ransomware Attacks on Integrated Supply Chain Networks. *Digital Threats: Research and Practice*, 4(4), 1–14. <https://doi.org/10.1145/3579647>
20. Chiscop, F., Vlase, A. I., Cazacu, C.-C., Popa, C. L., & Cotet, C. E. (2025). Manufacturing Productivity Improvement by Integrating Digital Tools Illustrated in the Optimization of a Hub Assembly Line. *Machines*, 13(9), 849. <https://doi.org/10.3390/machines13090849>
21. Costa Melo, Dr. I., Queiroz, G. A., Alves Junior, P. N., Sousa, T. B. de, Yushimito, W. F., & Pereira, J. (2023). Sustainable digital transformation in small and medium enterprises (SMEs): A review on performance. *Heliyon*, 9(3), e13908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13908>
22. Dawid, A., Buchwald, P., & Pawlak, B. (2023). The Digital Twin to Train a Neural Network Detecting Headlamps Failure of Motor Vehicles (pp. 29–38). https://doi.org/10.1007/978-3-031-37720-4_3
23. Dionisio, M., de Souza Junior, S. J., Paula, F., & Pellanda, P. C. (2022). The role of digital social innovations to address SDGs: A systematic review. XLVI Encontro Da ANPAD - EnANPAD 2022. <http://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/aac933717a429f57c6ca58f32975c597.pdf>
24. Durão, N., Pereira, C. S., Lobo, C., & Moreira, F. (2024). Digitalization, Sustainability, and Internationalization Nexus: Insights from Portuguese Entrepreneurs. *Sustainability*, 16(11), 4786. <https://doi.org/10.3390/su16114786>
25. El Belghiti, A., Sbai, H., & Asri, H. (2025). AI Systems Quality: A Data-Centric Perspective (pp. 73–83). https://doi.org/10.1007/978-3-031-95326-2_8
26. Enrique, D. V., Marodin, G. A., Santos, F. B. C., & Frank, A. G. (2023). Implementing industry 4.0 for flexibility, quality, and productivity improvement: technology arrangements for different purposes. *International Journal of Production Research*, 61(20), 7001–7026. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2142689>
27. Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

28. Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Grybauskas, A., & Vilkas, M. (2022). Industry 4.0, digital transformation, and sustainable operations: A review and research agenda. *Technological Forecasting & Social Change*, 176, 121445. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121445>
29. Gong, Y., & Yang, X. (2024). Understanding strategies for digital government transformation: A strategic action fields perspective. *International Journal of Information Management*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102766>
30. Gouveia, S., de la Iglesia, D. H., Abrantes, J. L., & López Rivero, A. J. (2024). Transforming Strategy and Value Creation Through Digitalization? *Administrative Sciences*, 14(11), 307. <https://doi.org/10.3390/admsci14110307>
31. Gupta, S., Kar, A. K., Baabdullah, A., & Al-Khowaiter, W. A. A. (2018). Big data with cognitive computing: A review for the future. *International Journal of Information Management*, 42, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.06.005>
32. Handoyo, S. (2024). Purchasing in the digital age: A meta-analytical perspective on trust, risk, security, and e-WOM in e-commerce. *Heliyon*, 10(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29714>
33. Hanelt, A., Bohnsack, R., Marz, D., & Antunes Marante, C. (2021). A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change. *Journal of Management Studies*, 58(5), 1159–1197. <https://doi.org/10.1111/joms.12639>
34. Haq, I. U., & Huo, C. (2023). Digital strategy and environmental performance: the mediating role of digitalization in SMEs. *Digital Economy and Sustainable Development*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s44265-023-00010-5>
35. Häring, K., Pimentel, C., & Teixeira, L. (2023). Industry 4.0 Implementation in Small- and Medium-Sized Enterprises: Recommendations Extracted from a Systematic Literature Review with a Focus on Maturity Models. *Logistics*, 7(4), 99. <https://doi.org/10.3390/logistics7040099>
36. Hasan, E. F., Alzuod, M. A., Al Jasimee, K. H., Alshdaifat, S. M., Hijazin, A. F., & Khrais, L. T. (2025). The Role of Organizational Culture in Digital Transformation and Modern Accounting Practices Among Jordanian SMEs. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(3), 147. <https://doi.org/10.3390/jrfm18030147>
37. Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios: A literature review. *Working Paper No. 01/2016, Technische Universität Dortmund*.
38. Hojnik, J., Kustec, S., Zalokar, A., & Ruzzier, M. (2025). The Intersection of Digitalization, Innovation, and Information Technology: A New Era of Sustainable Development in EU. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.3496>
39. Huang, C., Wang, C., Rani, T., & Rehman, S. A. U. (2024). Digitalization's role in shaping climate change, renewable energy, and technological innovation for achieving sustainable development in top Asian countries. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305X241258799>
40. Jafri, J. A., Mohd Amin, S. I., Abdul Rahman, A., & Mohd Nor, S. (2024). A systematic literature review of the role of trust and security on Fintech adoption in banking. In *Heliyon* (Vol. 10, Issue 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22980>
41. Jackson, T. W., & Hodgkinson, I. R. (2023). Keeping a lower profile: how firms can reduce their digital carbon footprints. *Journal of Business Strategy*, 44(6), 363–370.

42. Khan, M. I., Yasmeen, T., Khan, M., Hadi, N. U., Asif, M., Farooq, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2025). Integrating industry 4.0 for enhanced sustainability: Pathways and prospects. In *Sustainable Production and Consumption* (Vol. 54, pp. 149–189). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.12.012>
43. Kohtamäki, M., Parida, V., Patel, P. C., & Gebauer, H. (2020). The relationship between digitalization and servitization: The role of servitization in capturing the financial potential of digitalization. *Technological Forecasting and Social Change*, 151. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119804>
44. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
45. Linde, L., Frishammar, J., & Parida, V. (2023). Revenue Models for Digital Servitization: A Value Capture Framework for Designing, Developing, and Scaling Digital Services. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 70(1), 82–97. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3053386>
46. Lunkes, R. J., Gomez-Ruiz, L., Sánchez-Expósito, M. J., & Rosa, F. S. (2025). The effect of specialized search on digital transformation maturity for improving sustainability: The impact of identity orientation and enabling controls. *International Journal of Hospitality Management*, 131, 104314. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2025.104314>
47. Matt, C., Hess, T., & Benlian, A. (2015). Digital transformation strategies. *Business & Information Systems Engineering*, 57(5), 339–343. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0401-5>
48. Mesjasz-Lech, A. (2025). Trends of Industrial Waste Generation in Manufacturing Enterprises in the Context of Waste Prevention—Shift-Share Analysis for European Union Countries. *Sustainability*, 17(1), 34. <https://doi.org/10.3390/su17010034>
49. Mesjasz-Lech, A., Horváth, Á. B., Michelberger, P., & Kemendi, A. (2025). Do Businesses Protect the Environment Through Appropriate Decisions in the Context of Choosing Information and Communication Technologies? *Sustainability*, 17(10), 4305. <https://doi.org/10.3390/su17104305>
50. Mhlanga, D. (2020). Industry 4.0 in Finance: The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Digital Financial Inclusion. *International Journal of Financial Studies*, 8(3), 45. <https://doi.org/10.3390/ijfs8030045>
51. Mick, M. M. A. P., Kovalski, J. L., & Chiroli, D. M. de G. (2024). Sustainable Digital Transformation Roadmaps for SMEs: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 16(19), 8551. <https://doi.org/10.3390/su16198551>
52. Mihai, L.-S., Sitnikov, V. V., Sichigea, M., Vasilescu, L., Băndoi, A., Sitnikov, C., & Mănescu, L.-G. (2025). A Bibliometric Analysis of the Role of Digitalization in Achieving Sustainability-Oriented Innovation. *Sustainability*, 17(13), 5822. <https://doi.org/10.3390/su17135822>
53. Monte Pegado, A., Dionisio Rocha, A., & Barata, J. (2024). Enhancing Software Distribution and Collaboration in Manufacturing: Developing the IMOS Platform. *IEEE Access*, 13, 480–494. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3521867>
54. Ndlovu, M. N., Ndlovu, E. N., & Ebewo, P. E. (2025). The Intersection of Business Models and SME Performance: A Bibliometric Analysis of Research Trends. *Administrative Sciences*, 15(4), 143. <https://doi.org/10.3390/admsci15040143>
55. Oesterreich, T. D., Anton, E., Hettler, F. M., & Teuteberg, F. (2024). What drives individuals' trusting intention in digital platforms? An exploratory meta-analysis. *Management Review Quarterly*. <https://doi.org/10.1007/s11301-024-00477-2>

56. Omol, E., Mburu, L., & Abuonji, P. (2023). Digital Maturity Action Fields for SMES in Developing Economies. *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*, 12(3). <https://doi.org/10.24214/jecet.b.12.3.10114>
57. Otuagoma Smith, O., Obuseh Emmanue, E., Oyubu Akpovi, O., Antony, O., Jonathan, E. O., & Ronald, T. B. (2025). Assessment of Conveyor Telemetry System in a Manufacturing Firm: A Case Study of a Brewery in Eastern Nigeria. *NIPES Journal of Science and Technology Research*, 7(2), 44–58. <https://doi.org/10.37933/nipes/7.2.2025.3>
58. Paraschos, P. D., & Koulouriotis, D. E. (2024). Learning-based production, maintenance, and quality optimization in smart manufacturing systems: A literature review and trends. *Computers & Industrial Engineering*, 198, 110656. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110656>
59. Piccoli, G., Grover, V., & Rodriguez, J. (2024). Digital transformation requires digital resource primacy: Clarification and future research directions. *Journal of Strategic Information Systems*, 33(2). <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101835>
60. Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.
61. Radi, R. M., Aydin, R., & Khan, S. A. (2024). The Impact of Digitalization on the Sustainability of the Supply Chain. 2024 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD), 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICTMOD63116.2024.10878255>
62. Sagala, G. H., & Őri, D. (2024). Toward SMEs digital transformation success: a systematic literature review. *Information Systems and E-Business Management*, 22(4), 667–719. <https://doi.org/10.1007/s10257-024-00682-2>
63. Salvadorinho, J., Bastos, T., Cruto, P., & Teixeira, L. (2024a). A collaborative platform to support the creation of a Learning Organization in Industry 4.0: A co-created tool using three industrial contexts. *Procedia Computer Science*, 232, 1347–1356. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.133>
64. Salvadorinho, J., Bastos, T., & Teixeira, L. (2024b). A talent management platform for HR 4.0 challenges: usability evaluation based on testing and the TAM scale. *Procedia Computer Science*, 239, 1328–1335. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.303>
65. Santos, R. C., & Martinho, J. L. (2020). An Industry 4.0 maturity model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 1023–1043. <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2018-0284>
66. Stadlmann, C., Kwiatek, P., Szántó, Z., & Kannampuzha, M. J. (2023). Transitioning to Digital Services: Assessing the Impact of Digital Service Efforts on Performance Outcomes and the Moderating Effect of Service Promotion (pp. 409–421). https://doi.org/10.1007/978-3-031-33258-6_38
67. Sukma, N., & Yamnill, S. (2025). Unlocking the Future of Insurance: The Power of Open Data, Digital Transformation, and Human Talent. *Human Resource Development Quarterly*. <https://doi.org/10.1002/hrdq.70002>
68. Teixeira, N. (2025). Circular economy perspectives: challenges, innovations, and sustainable futures. *Discover Sustainability*, 6(1), 738. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01606-x>
69. Thurnheer, J., Fiedler, J., Plümke, L., & Netland, T. (2024). Manual Data Collection in Assembly Lines: A Case Study on the Human Factor in Data Accuracy. *IFAC-PapersOnLine*, 58(19), 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.09.098>

70. Tzimas, E., Papazetis, G., Benardos, P., & Vosniakos, G.-C. (2024). Design and Development of a Flexible Manufacturing Cell Controller Using an Open-Source Communication Protocol for Interoperability. *Machines*, 12(8), 519. <https://doi.org/10.3390/machines12080519>
71. Van Veldhoven, Z., & Vanthienen, J. (2023). Best practices for digital transformation based on a systematic literature review. *Digital Transformation and Society*, 2(2), 104–128. <https://doi.org/10.1108/DTS-11-2022-0057>
 Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118–144. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003>
72. Verhoef, P. C., Broekhuizen, T., Bart, Y., Bhattacharya, A., Qi Dong, J., Fabian, N., & Haenlein, M. (2021). Digital transformation: A multidisciplinary reflection and research agenda. *Journal of Business Research*, 122, 889–901. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.09.022>
73. Yilmaz, M. K., Aksoy, M., Tatoglu, E., & Bayraktar, E. (2025). Digital maturity and corporate sustainability: Evaluating efficiency dynamics in an emerging market context. *Sustainable Futures*, 10, 100843. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100843>