



MINISTÉRIO DA ECONOMIA 

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

Soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para micro, pequenas e médias empresas do setor de transformação industrial



Desenvolvimento:



ABRIL DE 2022

**Núcleo de Engenharia Organizacional - Universidade Federal
do Rio Grande do Sul
Ministério da Economia - Governo Federal do Brasil
(Organizadores)**

Soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para micro, pequenas e médias empresas do setor de transformação industrial

Porto Alegre
UFRGS
2022

S691 Soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para micro, pequenas e médias empresas do setor de transformação industrial [recurso eletrônico] / Núcleo de Engenharia Organizacional ; Ministério da Economia, organizadores. – Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Otimização de Produtos e Processos, 2022. 65 p. : il. color. ; pdf.

ISBN 978-65-5973-124-4

1. Desenvolvimento tecnológico. 2. Indústria 4.0. I. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Núcleo de Engenharia Organizacional. II. Brasil. Ministério da Economia.

CDU: 65.011.55

Sumário

1. Introdução	5
2. Desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs	7
3. Soluções Tecnológicas da Indústria 4.0 para os desafios de produtividade das MPMEs	10
3.1 Análise de esforço e impacto das soluções tecnológicas para as MPMEs	16
3.2 Tecnologias de base	18
3.3 Cibersegurança	20
3.4 Manufatura aditiva	21
3.5 Tecnologias de integração vertical	23
3.6 Tecnologias específicas	26
3.7 Tecnologias de virtualização	28
3.8 Tecnologias de automação avançada	31
4. Casos de uso de soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para MPMEs	33
4.1 Tecnologia de base para gestão da produção e da qualidade	37
4.2 Tecnologia de base para gestão da manutenção	39
4.3 Tecnologias de base para gestão energética	41
4.4 Cibersegurança	43
4.5 Integração vertical	45
4.6 Manufatura aditiva terceirizada	47
4.7 Manufatura aditiva	49
4.8 Computação visual	51
4.9 WMS - Sistema de gerenciamento de armazém	53
5. Conclusões	56
6. Equipe de projeto	61
7. Referências	62

Sumário

Executivo

Este relatório apresenta os resultados do projeto “Soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para micro, pequenas e médias empresas do setor de transformação industrial”, desenvolvido pelo Núcleo de Engenharia Organizacional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para o Ministério da Economia e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento.

O objetivo do projeto é o desenvolvimento de um estudo detalhado de soluções tecnológicas da Indústria 4.0 aplicáveis a micro, pequenas e médias empresas (MPMEs) do setor de industrial, facilitando a compreensão para auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento de transformação digital das MPMEs.

Após uma introdução ao tema, o capítulo 2 analisa o contexto das MPMEs e os desafios de produtividade que enfrentam e que podem se tornar tanto barreiras quanto oportunidades para a adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Foram analisados sete desafios de produtividade: (i) Gestão do capital humano; (ii) Gestão e programação da produção; (iii) Gestão da qualidade; (iv) Gestão da manutenção; (v) Gestão de estoques e logística; (vi) Gestão energética; (vii) Gestão de produtos e projetos inovadores.

No capítulo 3 são apresentadas as soluções tecnológicas da Indústria 4.0 que possuem potencial para aplicação pelas MPMEs para a solução dos desafios de produtividade. O capítulo 4 apresenta as principais soluções tecnológicas da Indústria 4.0 identificadas a partir do cruzamento dos desafios e problemas de

produtividade com as tecnologias da Indústria 4.0 priorizadas considerando potencial de impacto e esforço necessário. São detalhadas nove principais soluções tecnológicas: (i) Tecnologias de base para gestão e programação da produção e gestão da qualidade; (ii) Tecnologias de base para gestão da manutenção; (iii) Tecnologias de base para gestão energética; (iv) Cibersegurança; (v) Integração vertical; (vi) Manufatura aditiva terceirizada; (vii) Manufatura aditiva; (viii) Computação visual; e (ix) Sistema de gerenciamento de armazém (WMS).

As soluções tecnológicas da Indústria 4.0 propostas se caracterizam por serem “soluções de ponta a ponta”. Isso significa que as MPMEs não precisam ter especialistas em tecnologias da Indústria 4.0 em seu quadro de colaboradores para implementar as soluções exploradas. Considerando as limitações das MPMEs, estas soluções demandam a aquisição de equipamentos relativamente econômicos, que podem ser implementados de forma gradual, sendo que os dados e análises avançadas são oferecidos pelos próprios fornecedores no formato de assinaturas acessíveis. Além disso, a análise dos resultados obtidos permite observar algumas características conclusivas do projeto que trazem importantes reflexões para a transformação digital dentro das MPMEs.

Em suma, este estudo demonstra que é factível aplicar a Indústria 4.0 às MPMEs do setor de transformação industrial, podendo trazer grandes benefícios para sua produtividade.

1 Introdução

Diversos estudos (WEF 2019¹, WEF 2020a², OCDE 2020³) destacam as potencialidades da 4ª Revolução Industrial (Indústria 4.0) e da crescente disseminação de tecnologias avançadas para um maior desenvolvimento e eficiência do setor produtivo, estímulo à inovação e aos novos negócios, aumento da produtividade de empresas e criação de empregos mais qualificados para a sociedade.

As micro, pequenas e médias empresas (MPMEs), por sua vez, segundo observado pela OCDE (2018⁴; 2019⁵), possuem um relevante papel tanto em termos de geração de empregos quanto na produção de riquezas. Em que pese tal relevância, o WEF (2020b)⁶ observa que, para que as MPMEs possam alcançar os benefícios pretendidos pela Indústria 4.0, estas terão de superar desafios específicos, tais como:

I falta de expertise na identificação das soluções adequadas para o problema observado na atividade específica desenvolvida pela empresa, bem como na definição da solução digital a ser adotada;

II escassez de fontes de informações independentes acerca da adoção das soluções tecnológicas pretendidas, ou restrições à experimentação prévia e/ou ao acompanhamento do funcionamento dessas soluções já implantadas em outros projetos industriais pertinentes;

III desconhecimento sobre o retorno sobre o investimento realizado nos projetos de transformação digital, o que resulta em restrições para maior incorporação da digitalização das operações à estratégia de negócios da empresa; e

IV dificuldades para implantação da infraestrutura e adequação dos processos requeridos no âmbito da transformação digital do processo produtivo da empresa.

No caso do Brasil, conforme destacado pela OCDE (2020)³, dada a relevância econômica das MPMEs e sua capilaridade nos diferentes setores da atividade econômica, o processo de desenvolvimento e adoção de tecnologias emergentes pode representar uma alternativa para o incremento da produtividade da indústria nacional, cuja estagnação em décadas recentes representa um grande obstáculo à

competitividade do País no cenário econômico mundial.

Ciente das limitações e oportunidades do cenário ora apresentado, o Governo Federal lançou, em 2020, o programa Brasil Mais⁷, que constitui uma iniciativa para aumentar a produtividade e a competitividade do setor produtivo brasileiro por meio da adoção de metodologias e tecnologias que promovam a

melhoria das práticas gerenciais e produtivas e a transformação digital das empresas, chegando até as tecnologias da Indústria 4.0. Para as fases de adoção de tecnologias da Indústria 4.0 do Programa Brasil Mais, firmou-se parceria com o Fórum Econômico Mundial para desenvolvimento de metodologia de adoção tecnológica em MPMEs, no âmbito da qual foi realizado um projeto piloto com 50 empresas. Foi constatado o desconhecimento das MPMEs acerca das soluções de transformação digital oriundas da Indústria 4.0 e de sua aplicação aos desafios vivenciados em seu dia a dia. Assim, avaliou-se como pertinente a elaboração de uma análise acerca do desenvolvimento e adoção das soluções da Indústria 4.0 por MPMEs brasileiras do setor de transformação industrial.

Por meio desse estudo, realizou-se um diagnóstico das dificuldades vivenciadas pelas MPMEs brasileiras do setor de transformação industrial para adoção de soluções de transformação digital da Indústria 4.0. Ademais, foram identificadas as tecnologias da Indústria 4.0 que podem auxiliar na solução dos desafios e problemas de produtividade identificados, e são apresentados casos de uso dessas tecnologias. Além da conscientização de empresários, as informações deste relatório poderão subsidiar uma melhor atuação governamental no apoio às referidas MPMEs diante de tais desafios.

A metodologia para o desenvolvimento do estudo utilizou uma abordagem mista que combina análise de banco de dados, de literatura acadêmica e empre-

serial com a opinião de líderes de MPMEs brasileiras, fornecedores de tecnologias e representantes de entidades envolvidas no desenvolvimento econômico e no aumento da produtividade da indústria. Assim, além de uma análise de estudos anteriores sobre o tema, realizaram-se entrevistas com diversos atores e analisaram-se fontes de dados secundários para entender a realidade das MPMEs brasileiras e seus desafios de produtividade. No total, foram analisados 114 artigos e relatórios e entrevistados 31 especialistas e empresários.

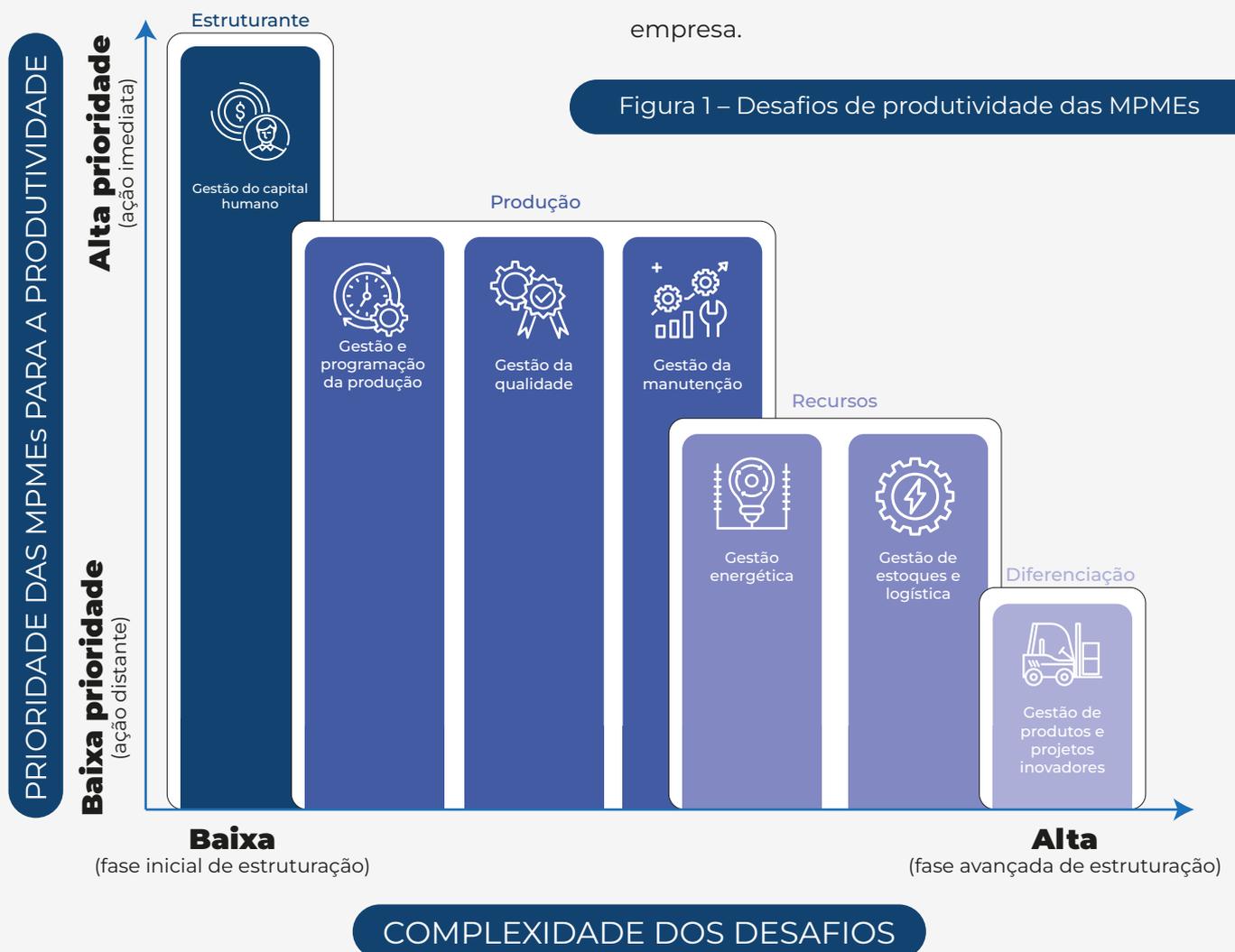
Este documento está estruturado em 5 capítulos. A seguir, no capítulo 2, são apresentados os desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs. No Capítulo 3 são apresentadas as tecnologias da Indústria 4.0 com potencial para solucionar os desafios identificados. O Capítulo 4 apresenta os casos de uso das soluções tecnológicas. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas conclusões e reflexões acerca da transformação digital nas micro, pequenas e médias empresas.



Desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs

Para a identificação dos principais desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs brasileiras, primeiramente, foi realizada uma análise da literatura existente e, posteriormente, os resultados foram confrontados e complementados com entrevistas a MPMEs e representantes de associações dos diferentes setores industriais. Esta análise permitiu identificar sete principais desafios enfrentados pelas MPMEs da indústria de transformação, sendo

estes: (i) Gestão do capital humano, (ii) Gestão e programação da produção, (iii) Gestão da qualidade, (iv) Gestão da manutenção e confiabilidade, (v) Gestão energética, (vi) Gestão de estoques e logística e (vii) Gestão de produtos e projetos. A Figura 1 apresenta os desafios considerando sua complexidade (eixo X) e sua prioridade de resolução (eixo Y). Ainda, cabe destacar que por mais que este seja o padrão comumente observado nas MPMEs, a prioridade apresentada pode variar de acordo com o segmento e tipo de produto fabricado pela empresa.



Como observado na Figura 1, os desafios foram agrupados em estruturantes, produção, recursos e diferenciação, de acordo com a sua correlação. A gestão do capital humano é definida como um desafio estruturante por possibilitar (ou não) a adoção de quaisquer conceitos de gestão ou tecnologias. O desenvolvimento das competências e habilidades dos colaboradores, assim como sua abertura à adoção de novas práticas e tecnologias, é indispensável para o avanço de projetos de melhoria de produtividade nas MPMEs. O segundo tipo de desafios está relacionado com os aspectos da produção e está baseado em três principais pilares: gestão e programação da produção, gestão da qualidade e gestão da manutenção. As MPMEs caracterizam-se, na sua maioria, pela falta de organização e planejamento interno, geral-

mente devido ao desconhecimento do uso de técnicas estruturadas de organização da produção e à dificuldade de acesso à informação rápida e de qualidade⁹. Logo, após melhoria dos aspectos relacionados com a produção, um novo tipo de desafio se torna mais relevante para as MPMEs: os aspectos relacionados ao consumo de recursos. Dentre esse tipo de desafios, destacam-se a gestão de estoques e logística e a gestão energética. Por fim, o estágio mais elevado de maturidade da Figura 1 e, portanto, frequentemente o mais distante no horizonte de prioridades das MPMEs, são aqueles relacionados à gestão de produtos e projetos inovadores, que representam um desafio para a diferenciação das empresas. No Infográfico 1, detalham-se cada um dos desafios.

Infográfico 1 – Detalhamento dos desafios de produtividade das MPMEs



As MPMEs normalmente possuem recursos humanos limitados, os quais estão focados nas atividades do dia a dia, com baixa possibilidade de desenvolverem a curiosidade ou conhecimentos relacionados à aplicação de tecnologias da Indústria 4.0. Na maioria dessas empresas, o dono abre seu próprio negócio como resultado de sua experiência em determinado setor. Por isso, as MPMEs possuem amplos conhecimentos dos aspectos técnicos do negócio. Porém, observa-se uma carência de habilidades e conhecimentos gerenciais e estratégicos, que são tipicamente necessários para que a MPME possa se abrir à possibilidade de investimento em tecnologias digitais para a abordagem de seus desafios de produtividade.

As MPMEs normalmente possuem baixa visibilidade de sua real capacidade e da eficiência de uso dos recursos disponíveis. O uso de indicadores de eficiência (ex. OEE¹) é frequentemente desconhecido por essas empresas, tanto pela falta de formação metodológica quanto pelo fato de não terem dados confiáveis para a constituição dos indicadores¹. Esta falta de visibilidade afeta a tomada de decisões nos níveis operacional e estratégico, causando a subutilização de recursos e excesso de estoque, entre outras consequências. Além disso, este cenário provoca uma maior dependência dos recursos humanos, que costumam estar pouco preparados para lidar com a complexidade e turbulência das demandas produtivas.





Gestão de qualidade

Nas MPMEs as atividades são normalmente realizadas a partir da experiência dos funcionários e dos proprietários, não havendo padrões e processos mapeados, o que acarreta dificuldades no controle dos processos. A atividade de qualidade é predominantemente uma função de inspeção final para garantir que a entrega seja adequada, e não um processo de controle intermediário, o que acaba acarretando maiores desperdícios e custos internos. Assim, este desafio de produtividade envolve a necessidade de identificação dos problemas de qualidade no momento e na etapa do processo em que acontecem, de forma a permitir a investigação e ação sobre suas causas raiz.

As MPMEs normalmente possuem um parque fabril com equipamentos antigos e equipe técnica limitada, executando apenas manutenção corretiva em resposta à ocorrência de avarias. Com isso, enfrentam altas perdas de produtividade e de performance por excessivas e demoradas pausas para manutenção. Para que consigam extrair o máximo de sua capacidade produtiva e diminuir os índices de retrabalho, as MPMEs precisam avançar na gestão de manutenções preventivas e preditivas, o que permitiria otimizar o trabalho da quantidade limitada da equipe técnica.



Gestão da manutenção



Gestão de estoques e logística

As MPMEs normalmente precisam controlar e dimensionar melhor seu estoque e desenvolver ações que tornem sua gestão logística mais eficiente. Muitas MPMEs vivenciam perdas de estoque por desorganização do almoxarifado e sofrem com paradas não programadas na produção por falta de matéria-prima. As perdas também decorrem da estratégia de manter altos volumes de estoque de produtos intermediários ou acabados, da falta de confiabilidade dos processos produtivos e de estimativas imprecisas de consumo e abastecimento.

As MPMEs normalmente sofrem com baixa eficiência energética em suas linhas de produção. Isto pode ser resultado da falta de manutenção dos equipamentos, equipamentos antigos, falta de correção do fator de potência, ou incorreto dimensionamento da rede elétrica. Ademais, a persistência da baixa eficiência energética nas MPMEs pode estar relacionada à falta de visibilidade do real consumo energético, o que leva ao baixo investimento de tempo e recursos financeiros em práticas de sustentabilidade e eficiência energética, dada a falta de compreensão do real valor do investimento e o desconhecido de como começar os esforços para melhorar este aspecto.



Gestão energética



Gestão de produtos e projetos inovadores

Em comparação com as empresas de grande porte, o processo de inovação nas MPMEs geralmente é informal e menos estruturado, sendo que a base de competências de inovação é restrita, a disponibilidade de recursos financeiros é menor, a atração de mão de obra qualificada é mais baixa e a propensão para interação com outras empresas é limitada. Com isso, as MPMEs sofrem com a baixa competitividade no mercado pela falta de desenvolvimento de novos produtos e inovação com foco no cliente. Essas empresas têm dificuldades relacionadas ao alto tempo de desenvolvimento de um novo produto e ao tempo de entrada no mercado (*time to market*) do produto que poderia gerar uma maior receita.

Soluções Tecnológicas da Indústria 4.0 para os desafios de produtividade das MPMEs

A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 representam um meio para as MPMEs alcançarem melhores resultados de produtividade. Assim, neste capítulo são analisadas as tecnologias da Indústria 4.0 que possuem relação com os desafios e problemas de produtividade observados nas MPMEs. Com base na literatura científica sobre o assunto, entrevistas, análise de relatórios governamentais, de consultorias e de fornecedores de

tecnologias, foram destacadas 18 soluções tecnológicas relacionadas à Indústria 4.0 (ver Infográfico 2). A Figura 2 apresenta a relação destas tecnologias com cada um dos desafios de produtividade das MPMEs. Cabe destacar que o desafio de gestão do capital humano não foi considerado, pois este não é um desafio a ser abordado com tecnologias, mas sim com informação e educação.



Sensoriamento
(sensores, atuadores, RFID)

Tecnologias embutidas em equipamentos, máquinas e sistemas para monitoramento e controle das informações por meio da coleta de dados.¹⁰

Tecnologia que realiza a conexão de dispositivos com a internet, sendo capaz de transmitir dados, possibilitando a digitalização e posterior gestão da informação.¹¹

Internet das Coisas
(IoT)



Computação na nuvem
(Cloud)

Tecnologia que armazena dados e permite acessibilidade a ferramentas, funcionalidades e informações para seus usuários de forma remota.¹²

Soluções de análise de quantidades massivas de dados que oferece como resultado painéis de análises descritivas (*dashboards*) para compreensão de indicadores (KPIs) de processos.¹³

Big Data e Analytics
(BDA)

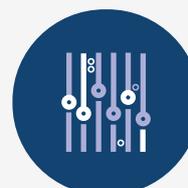


Inteligência Artificial
(IA)

Sistema de algoritmos matemáticos e estatísticos que permitem analisar dados complexos, tornando as máquinas e computadores inteligentes, sendo capazes de aprender padrões a partir da inserção de dados fornecendo uma capacidade preditiva.¹⁴

Aparelho eletrônico digital que usa uma memória programável para o armazenamento interno de instruções, implementando funções específicas, como lógica, sequenciamento, temporização, contagem com foco na automação industrial.¹⁵

Controlador Lógico Programável
(CLP)





Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA)

Sistema capaz de monitorar operações de chão de fábrica por meio de coleta de dados em tempo real.¹⁶

Sistema que permite o controle e gestão de múltiplos elementos do processo produtivo através da integração de informações de chão de fábrica.¹⁶

Sistema de execução da manufatura | Manufacturing Executing Systems (MES)



Sistema Integrado de Gestão Empresarial | Enterprise Resource Planning (ERP)

Sistema que integra os dados de processos corporativos para gerenciar os recursos empresariais.¹³

Realidade aumentada é a tecnologia que permite inserir elementos virtuais do ambiente real. Já a realidade virtual permite a imersão do usuário no mundo completamente digital.¹⁷

Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV)



Simulação e Modelagem

Tecnologia que constrói cenários e seus elementos, processos e fatores de influência para realizar análises de melhoria de performance e previsão.¹⁸

Refere-se a uma representação digital de um objeto real (ex. produto ou linha de produtos físicos a partir da sua impressão 3D em materiais poliméricos ou metálicos).¹⁹

Gêmeos Digitais





Manufatura Aditiva (MA)

Máquinas de manufatura versáteis que permitem transformar modelos digitais em produtos físicos a partir da sua impressão 3D em materiais poliméricos ou metálicos.²⁰

Dispositivos eletromecânicos que podem realizar trabalhos de maneira autônoma e programada. O conjunto considera tanto aqueles não sensíveis e incapazes de detectar a presença humano como os sensíveis, capazes de interagir no mesmo ambiente com seres humanos (robôs colaborativos). No caso de movimentação, podem ser dirigidos de forma guiada (AGVs) ou podem se mobilizar de forma autônoma (robôs autônomos).¹³

Robótica Avançada Robôs Colaborativos (Cobots), Robôs Autônomos Móvel, Veículos guiados automaticamente | Automated Guided Vehicles (AGV)



Sistema PLM (Product Lifecycle Management)

Sistema capaz de gerenciar todo o ciclo de vida dos produtos de uma empresa.²¹

Identificação e análise de objetos por sistemas de processamento de imagem.²³

Computação Visual (Machine Vision)



Sistema de gerenciamento de Armazém | Warehouse Management Systems (WMS)

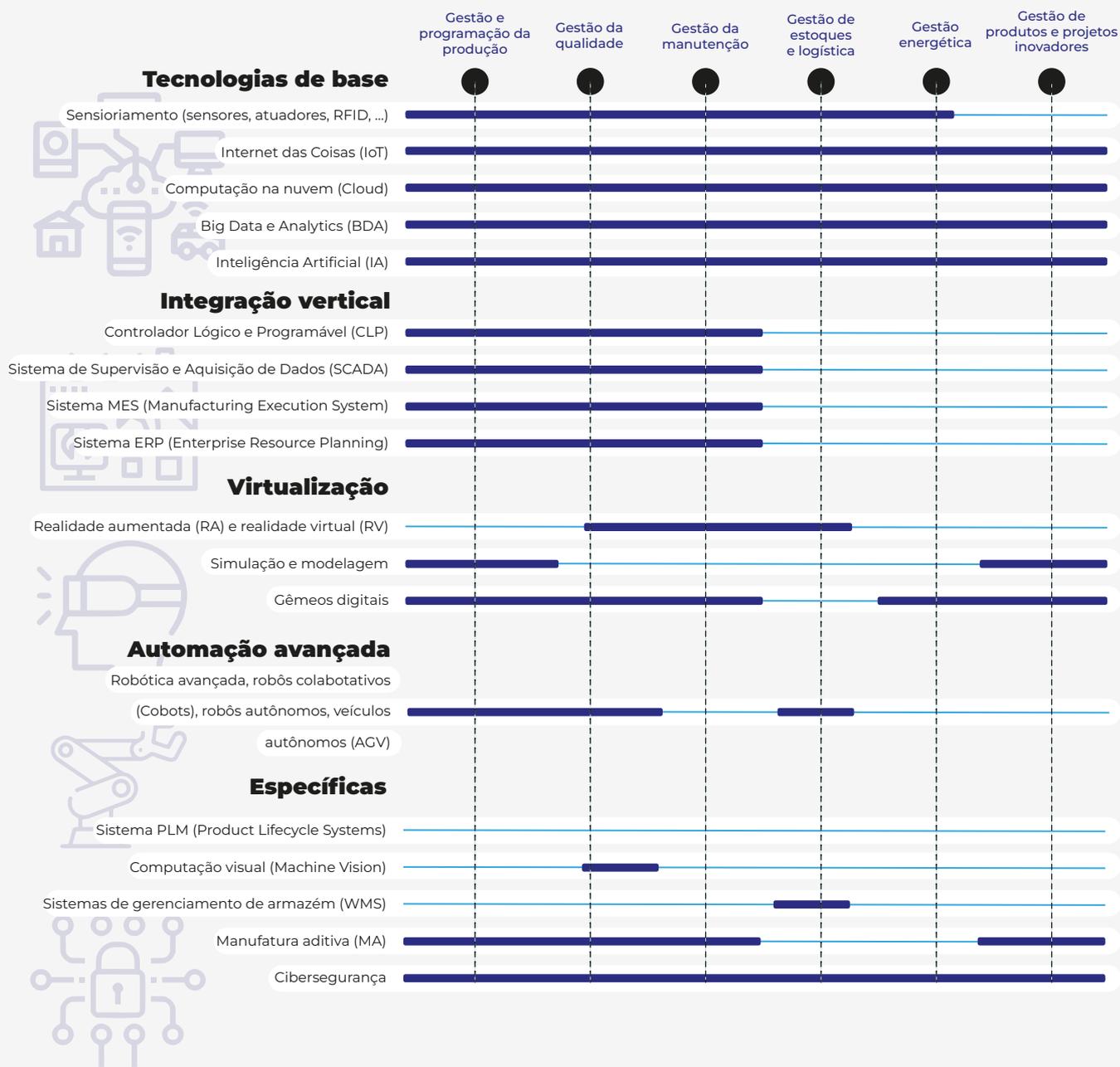
Sistema que visa o gerenciamento e a automatização de todos os processos logísticos que ocorrem em um armazém ou centro de distribuição.²²

Conjunto de soluções de sistema com foco em proteger redes, dispositivos e dados contra o acesso não autorizado ou uso criminoso, garantindo assim a confidencialidade, integridade e disponibilidade de informações.²⁴

Cibersegurança



Figura 2 – Desafios de Produtividade das MPMEs



Ainda, analisando a Figura 2 é possível identificar diferentes agrupamentos de tecnologias que geralmente atuam em conjunto para alcançar objetivos de produtividade. A seguir esses agrupamentos são descritos.

I

As **tecnologias de base** compreendem sensoriamento, internet das coisas (IoT), computação na nuvem (*Cloud*), Big data e analytics e inteligência artificial. Essas tecnologias constroem a base e o diferencial da Indústria 4.0. Os sensores e IoT permitem digitalizar sinais analógicos, estes dados são armazenados na nuvem (*Cloud*), o que possibilita o armazenamento de um grande volume de dados (*Big data*) que pode ser analisado com técnicas analíticas avançadas e inteligência artificial⁸. Conforme observado na Figura 2, essas tecnologias de base podem contribuir para todos os desafios enfrentados pelas MPMEs.

II

A **integração vertical** compreende as tecnologias de controlador lógico programável (CLP), sistema de supervisão e aquisição de dados (SCADA), sistema de execução de manufatura (MES) e sistema integrado de gestão empresarial (ERP). Os CLPs congregam as informações de funcionamento da máquina, estes dados são apresentados no sistema SCADA de forma local, podendo ser enviados ao ERP e ao MES. O MES consolida indicadores de toda a fábrica, cruzando-os com os dados do ERP. Conforme observado na Figura 2, essas tecnologias têm o potencial de impactar principalmente nos desafios enfrentados pelas MPMEs para uma correta gestão da fábrica.

III

A **virtualização** compreende as tecnologias que permitem simular o mundo real no mundo virtual ou vice-versa. Tecnologias de simulação e modelagem podem ser aplicadas para antecipar e/ou analisar problemas relacionados à gestão da produção, da qualidade, da energia, assim como na gestão de produtos. Por outro lado, as tecnologias de realidade aumentada e virtual permitem 'democratizar o conhecimento' apresentando o mesmo de uma forma amigável e interativa aos técnicos e operadores das MPMEs, por exemplo. Além disso, os gêmeos digitais são apresentados na literatura como uma das tecnologias mais avançadas da Indústria 4.0 que advêm da agregação de diferentes tecnologias para a integração e interação dos mundos real e virtual. A virtualização tem o potencial de auxiliar nos seis desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs.

IV

A **automação avançada** compreende tecnologias avançadas para a automatização de processos produtivos ou de logística interna. A robótica avançada permite alcançar o estágio mais avançado da maturidade da indústria 4.0⁹ com a produção de produtos de forma completamente autônoma, o que também significaria um aumento da qualidade do produto final. Os robôs colaborativos permitem o desenvolvimento de atividades colaborativas com humanos de forma segura. Já os AGVs viabilizam a movimentação autônoma de produtos e insumos na fábrica.

V

A **manufatura aditiva** é vista como uma tecnologia com o potencial de mudar, no futuro, a forma de produção de produtos, mas atualmente já pode ser utilizada pelas MPMEs para a manufatura de peças de reposição para manutenção, para o desenvolvimento de protótipos que auxiliam no processo de desenvolvimento de produtos ou, inclusive na produção de pequenos lotes de produtos.

VI

As **tecnologias específicas** são focadas na resolução de desafios de produtividade específicos. O sistema PLM foca no desafio de gestão de produtos e projetos inovadores; a computação visual na gestão da qualidade; e o sistema WMS⁹ na gestão de estoques e logística

VII

A **cibersegurança** compreende ferramentas para garantir a segurança dos dados provenientes da digitalização dos processos.

Análise de esforço e impacto das soluções tecnológicas para as MPMEs

A partir do mapeamento das soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para os desafios e problemas de produtividade das MPMEs, foi construída uma matriz de esforço e impacto para classificar a implementação das tecnologias pelas MPMEs. O esforço foi calculado considerando 3 fatores: custo da tecnologia, complexidade de implementação e velocidade para se implementar (escala inversa). O impacto foi definido por meio dos ganhos e importância da implementação da tecnologia para superar os desafios de produtividade. Os dois indicadores (esforço e impacto) foram categorizados em três níveis: baixo,

médio e alto. É importante destacar que a análise de esforço e impacto foi baseada no perfil geral dessas empresas no Brasil.

Naturalmente, pode haver demandas específicas de empresas que apresentem um comportamento diferente dessas tecnologias, sendo sempre necessária uma análise cuidadosa de cada empresa em particular. A Figura 3 apresenta as tecnologias na matriz esforço-impacto. A seguir, as tecnologias são analisadas à luz desta matriz e no contexto das MPMEs.

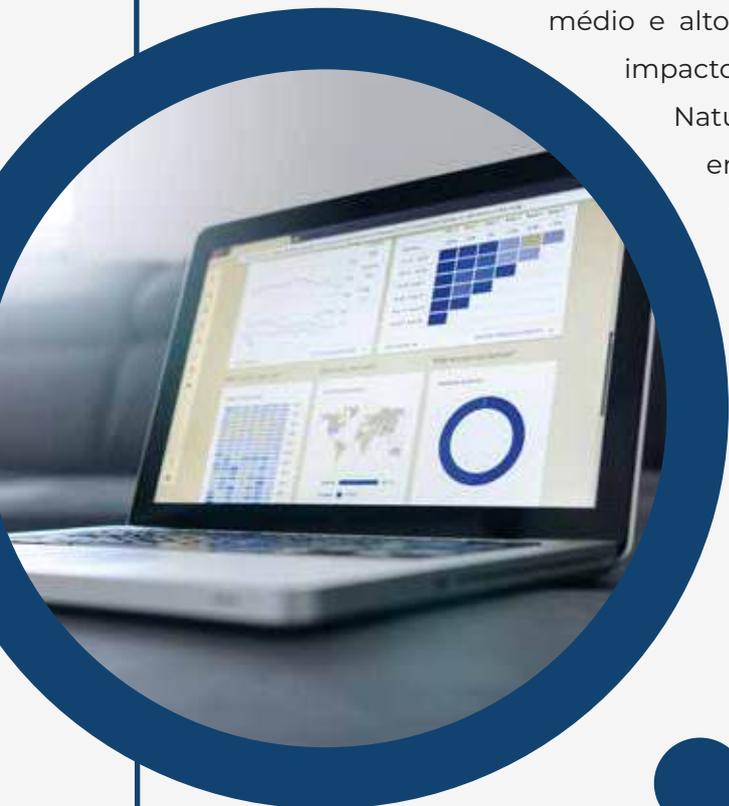
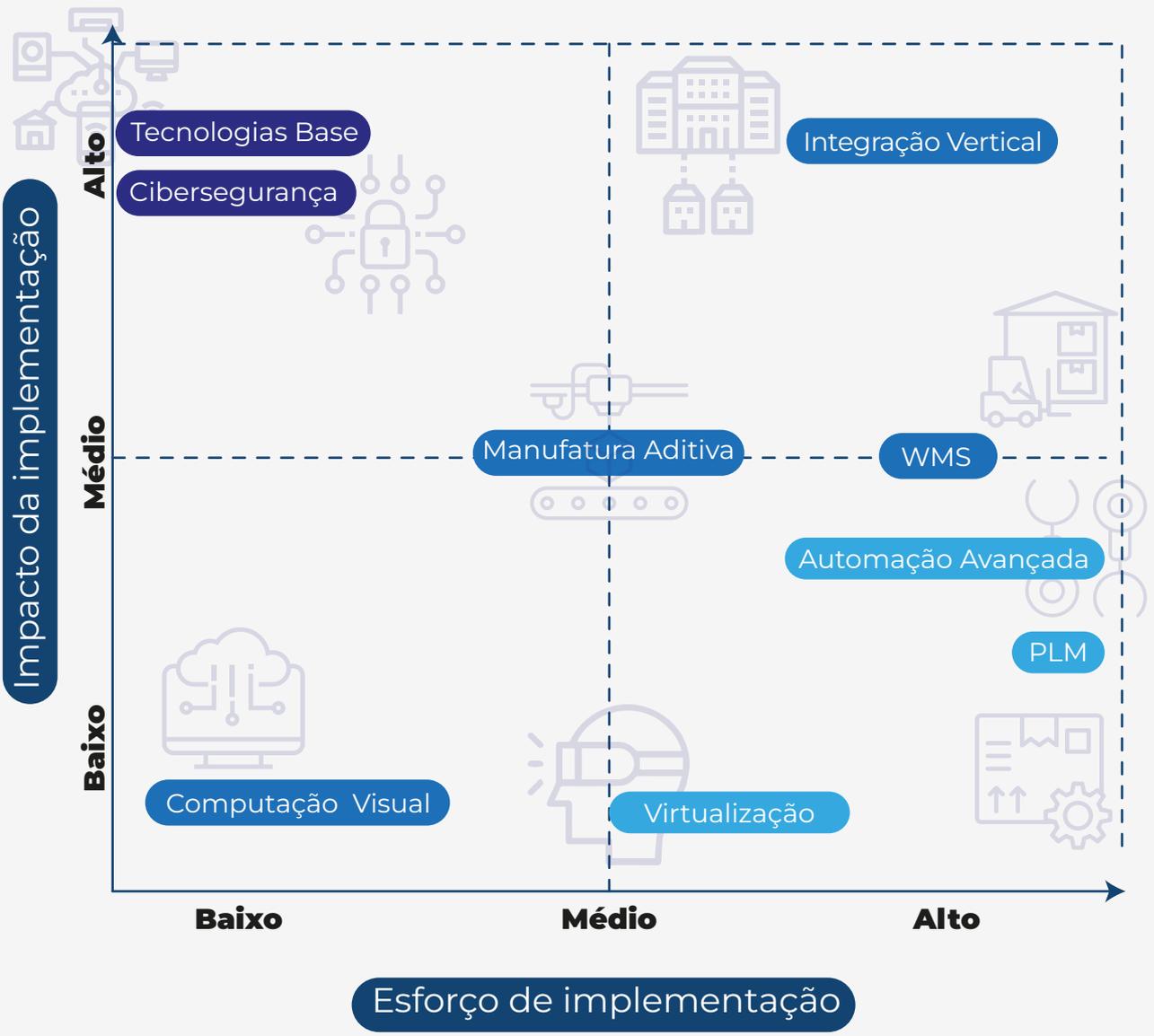


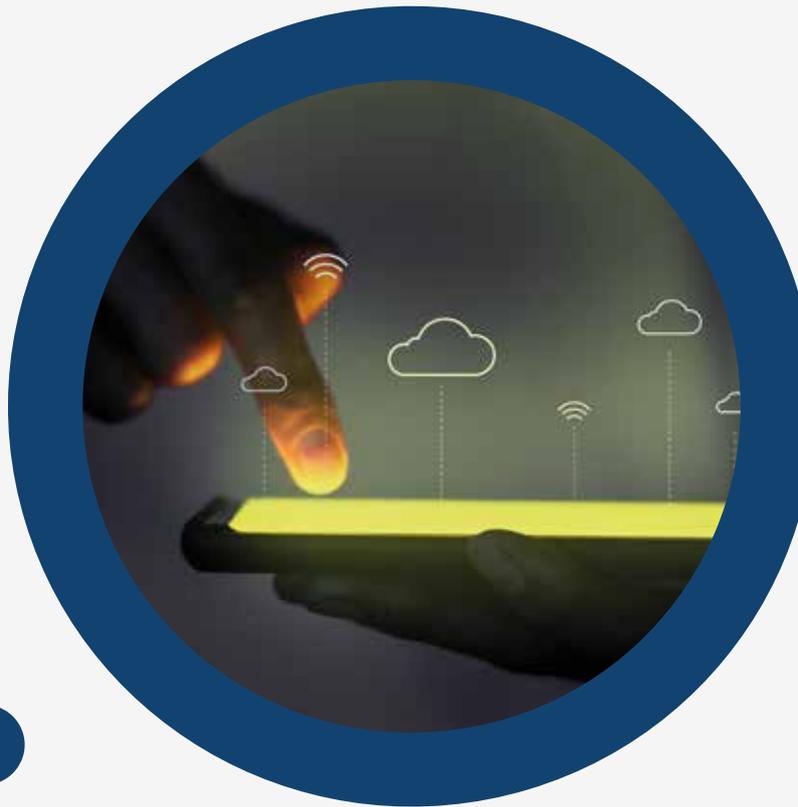
Figura 3 - Matriz esforço e impacto das soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para as MPME



Tecnologias de base

No quadrante com baixo esforço de implementação e alto impacto nos desafios de produtividade das MPMEs encontram-se as tecnologias de base. As tecnologias de base foram classificadas como **baixo esforço** por sua facilidade de implementação. As empresas fornecedoras de tecnologias costumam oferecer para as MPMEs pacotes fechados com solução de ponta a ponta, kits incluindo IoT, Cloud, Big Data Analytics e IA, ou seja, desde o hardware até o software, e painéis de visualização dos indicadores on-line.

O tempo e custo de implementação dessas tecnologias também são baixos. O **alto impacto** se deve à influência na superação dos desafios de produtividade, pois utilizando essas tecnologias é possível obter ganhos em coleta e análise de informações de máquinas, equipamentos e consumo de energia, melhorando assim a visibilidade dos indicadores e sua posterior gestão. Desse modo, as tecnologias de base permitem a análise de dados necessária para compreender e atacar as causas raiz dos problemas de produtividade das MPMEs.



Tecnologias de base

Dentre suas aplicações, no contexto das MPMEs, destaca-se a utilização das tecnologias de base para gestão da produção e da qualidade, gestão da manutenção e gestão energética. Primeiramente, servem como suporte para que máquinas e sistemas da produção possuam conectividade, e uma capacidade preditiva para a tomada de decisão como suporte à gestão e programação da produção. As tecnologias de base permitem o monitoramento e controle da produção, assim como dos parâmetros que influenciam na qualidade dos produtos. Dispositivos IoT podem identificar paradas dos equipamentos e os operadores, por sua vez, podem apontar os motivos, como, por exemplo, falta de matéria-prima, produto fora dos padrões ou problemas com o equipamento. Desse modo, conferem visibilidade e embasamento de dados para a busca das causas raiz.

De forma similar, as tecnologias de base cumprem um papel fundamental na gestão da manutenção. Hoje a maioria das MPMEs trabalha apenas com manutenção corretiva, o que tem forte impacto em seus níveis de produtividade. Sensores e dispositivos IoT podem ser instalados nos equipamentos destas MPMEs para identificar vibrações, desgastes ou outros parâmetros. Uma vez identificadas por algoritmos de IA, tais ocorrências alertam, então, para a necessidade de manutenção, de forma preditiva. A identificação antecipada de desvios

permite que as equipes de manutenção programem paradas fora do horário de produção ou alinhem o melhor momento com o gestor da produção²⁵. Além disso, muitas MPMEs terceirizam as atividades de manutenção, que podem ser antecipadas para evitar quebras de máquinas. Isto é importante para as MPMEs, uma vez que essas empresas não costumam possuir equipamentos sobressalentes para que se efetuem manutenções sem interrupções da produção.

As soluções de tecnologias de base para a gestão energética têm como objetivo a gestão do consumo e a eficiência energética. Juntamente com um software de eficiência energética, dispositivos IoT e sensores são utilizados para monitorar fontes de energia, uso de energia elétrica e custo de energia. A computação em nuvem é fundamental para esse desafio, uma vez que, a partir dessa tecnologia, é possível compartilhar e gerenciar dados de máquinas de todos os setores da empresa e, mais importante, compartilhar essas informações com parceiros externos à organização que poderão fornecer serviços para auxiliar a MPME no desenvolvimento de ações para uma melhor gestão energética. Além disso, com base no uso de BDA e IA, as empresas conseguem realizar previsões de consumo de energia e custos, otimizar o consumo e propor soluções de eficiência energética e gerar relatórios que incluam custos de energia e índices de sustentabilidade.

Cibersegurança

Também no quadrante com **baixo esforço** de implementação e **alto impacto** nos desafios de produtividade das MPMEs encontram-se as tecnologias de cibersegurança. A cibersegurança é considerada de alto impacto, pois a confiabilidade da segurança dos dados dos clientes e da produção é essencial no contexto da digitalização. Por outro lado, o esforço de implementação é baixo, pois esta é realizada por empresa terceirizada ou pelo fornecedor da tecnologia, a um custo baixo, dadas as necessidades básicas das MPMEs. Sendo indispensável quando a empresa busca sincronizar informações com fontes externas ou disponibilizá-las de forma remota, a cibersegurança se apresenta como uma tecnologia transversal a todos os desafios de produtividade enfrentados pelas MPMEs. Isso ocorre porque a maioria das tecnologias acessíveis a MPMEs são apresentadas na forma de software *as a service* e/ou armazenam dados na nuvem, dado o elevado custo de servidores privados.

Geralmente, o entendimento das MPMEs sobre a segurança cibernética é limitado, porém, diferentemente das grandes empresas, as MPMEs têm menos ativos, o que facilitaria a segurança e a manutenção dos sistemas. Soluções de cibersegurança para MPMEs costumam demandar simplesmente a implementação de firewalls e anti-vírus para a proteção dos dados. Contudo, soluções relacionadas à cibersegurança costumam ser difíceis de compreender no mercado, e as MPMEs muitas vezes não têm clareza sobre como adquirir soluções desse tipo. Na prática, as MPMEs costumam agir de forma reativa e buscar soluções de proteção de dados apenas quando sofrem algum ataque ou ameaça que comprometa o sigilo da organização.



Manufatura aditiva

A implementação da solução de manufatura aditiva para MPMEs tem impacto e esforço médios. O **impacto médio** deve-se ao fato de que a empresa pode aprimorar seus processos com o uso da manufatura aditiva, diminuindo o tempo de fabricação, otimizando o uso de recursos e diminuindo o tamanho do lote de produção. O **esforço médio** está relacionado, principalmente, à necessidade de compra de uma impressora 3D para manufatura aditiva e de readaptação do design dos produtos para esse fim.

A manufatura aditiva ou impressão 3D é uma tecnologia que tem se mostrado viável para as MPMEs em alguns desafios de produtividade, uma vez que demanda um esforço médio de implementação e oferece grande versatilidade nos tipos de componentes que podem ser produzidos, com maior customização e menor escala de produção, atendendo à necessidade costumeira das MPMEs. O uso dessa tecnologia por MPMEs não necessariamente exige a aquisição de uma impressora 3D; elas podem enviar o projeto digital para produção em empresas terceirizadas especializadas neste ramo, que são cada vez mais comuns no mercado brasileiro. As empresas terceirizadas auxiliam no entendimento das especificações da peça, na adaptação do projeto para manufatura aditiva e, por fim, fornecem a peça impressa. É importante salientar que, quando a peça não foi desenvolvida para impressão 3D, os fornecedores precisam fazer as adaptações necessárias conforme o tipo de material e as forças resultantes, por exemplo.



Manufatura aditiva

Considerando os aspectos de gestão e planejamento da produção, uma das vantagens da adoção da manufatura aditiva, é que possibilita às MPMEs prescindir de moldes e realizar produção modular no chão de fábrica. As soluções de manufatura aditiva servem para uma produção pequena de produtos com alta flexibilidade. Dessa forma, a manufatura aditiva apresenta-se como solução vantajosa, pois, como a MPME consegue imprimir uma peça por vez, o cálculo do valor agregado do produto fica facilitado. Dependendo do tipo de produto e do material utilizado, a MPME consegue produzir com maior qualidade e em menor tempo, satisfazendo, assim, a necessidade do cliente.

Complementarmente, na gestão da manutenção, a manufatura aditiva apresenta um dos maiores potenciais, principalmente para MPMEs do setor de ferramentaria conseguirem uma considerável redução de custos, uma vez que peças que poderiam levar semanas para serem repostas pelos fornecedores podem ser manufaturadas imediatamente “*in-house*” pelas MPMEs ou por meio de fornecedores de impressão 3D. Dessa forma, a MPME pode reduzir o tempo das máquinas paradas e o custo do frete, que, quando as máquinas são importadas, torna-se relevante

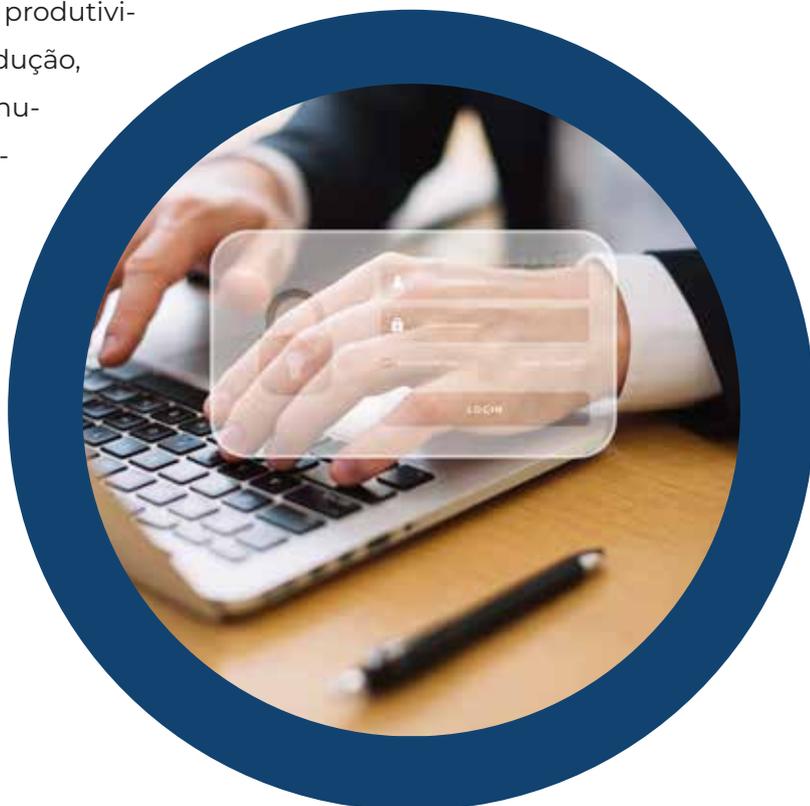
pela necessidade de importação. Na gestão de produtos e projetos inovadores, a manufatura aditiva vem sendo apontada como uma tecnologia considerada o futuro da P&D²⁶. Surge como uma solução rápida e prática para prototipagem nas MPMEs, reduzindo o tempo de desenvolvimento de produto e o *time to market* e auxiliando também na melhoria da manufaturabilidade e definição do produto ao longo de seu ciclo vida.

Por fim, em relação à gestão da qualidade, os parâmetros de qualidade podem ser ajustados na própria impressora 3D a fim de que os produtos sejam realizados conforme os requisitos necessários, visto que um dos pontos fortes da impressão 3D é a precisão. Além disso, as próprias impressoras 3D podem construir dispositivos à prova de erros (*poka-yokes*) para serem utilizados em outras máquinas a fim de garantir a qualidade do produto. A IA também pode ser uma aliada da impressão 3D na gestão da qualidade, uma vez que, enquanto a impressora 3D vai construindo o objeto, a IA analisa cada camada do objeto com intuito de corrigir pequenos erros em tempo real. Portanto, o uso das tecnologias de manufatura aditiva e IA proporciona uma importante contribuição para a qualidade, permitindo a produção de produtos com maior precisão.

Tecnologias de integração vertical

No quadrante com alto impacto e alto esforço de implementação estão as tecnologias de integração vertical. O **alto impacto** se deve ao fato de que esta solução tecnológica pode aprimorar a gestão de dados, integrando completamente as informações das áreas de produção e gestão, propiciando uma melhor tomada de decisão, orientada pelos objetivos estratégicos da empresa. O **alto esforço** se deve, principalmente, à complexidade da implementação e da integração entre os diversos sistemas, o que demanda um amplo conhecimento dos sistemas, de suas necessidades e da integração entre eles. Além disso, a velocidade de implementação pode ser lenta, uma vez que exige integração entre departamentos e demanda um tempo considerável para alinhamento estratégico entre os setores da empresa.

As tecnologias de integração vertical podem auxiliar principalmente em três desafios de produtividade: gestão e programação da produção, gestão da qualidade e gestão da manutenção. Essas tecnologias são consideradas a porta de entrada ao conceito da Indústria 4.0²⁷, permitindo integrar a pirâmide de automação (sensores, CLPs, SCADA, MES e ERP), os dados e os departamentos da empresa, alcançando a visibilidade de seus diferentes indicadores de performance. Considerando que, conforme apontado



Tecnologias de integração vertical

neste estudo, um dos principais problemas das MPMEs nos aspectos relacionados ao chão de fábrica está vinculado à falta de organização dos processos e de conhecimento dos indicadores das operações produtivas, a integração vertical se apresenta como uma das principais ferramentas para as MPMEs.

Primeiramente, para que haja uma eficiente gestão e programação da produção, há necessidade de capturar dados para gerar informações que servirão de subsídio para apoiar a tomada de decisões. Nesse sentido, o sensoramento é uma solução tecnológica básica necessária para enfrentar estes desafios de produtividade. Nos equipamentos do chão de fábrica, os sensores (de pressão, temperatura, estado, etc.) enviam os dados coletados ao computador que controla o equipamento (CLP). Os CLPs podem então ser conectados a um sistema local (SCADA) que concentre os dados de diferentes equipamentos para melhor visualização e controle. Em casos específicos em que o equipamento não possui os sensores necessários, a empresa pode optar pela captura de sinais através de dispositivos IoT. Esses sensores são conectados à internet, normalmente, através de sinal wireless. Assim, utilizando essas tecnologias, as MPMEs podem digitalizar e extrair dados de suas linhas de produção.

Porém, os dados apenas poderão trazer retorno às MPMEs se forem utilizados para a gestão. Assim, sistemas MES e ERP se apresentam como consolidadores dos diferentes dados

coletados em toda a fábrica. Muitas vezes esses sistemas apresentam sobreposições em suas funções, porém, tradicionalmente, o MES é utilizado para gestão e programação da produção, enquanto ERP é utilizado para gestão de processos administrativos. Basicamente, o MES é caracterizado por apresentar *dashboards* dos principais indicadores da fábrica, como, por exemplo, volume de produção, programação da produção, consumo de tempo e recursos para a produção, tempos de máquina parada, motivos das paradas, entre outros indicadores que permitem ao gestor da MPME tomar decisões mais acuradas para a gestão da produção. Por exemplo, o gestor pode observar que horas extras estão sendo demandadas porque a linha de produção ficou parada a maior parte do dia por causa de problemas de manutenção. Ou pode observar que seus custos estão elevados por causa de retrabalhos. Desta forma, a causa raiz pode ser buscada para eliminar os problemas que diminuem a produtividade da empresa. Os dados podem ainda ser cruzados com informações advindas do ERP, como, por exemplo, um volume de pedidos que foi colocado em produção antes do planejado e atrasou as entregas planejadas ou uma equipe de vendas que comercializa mais do que a fábrica consegue produzir de forma eficiente. Esse cruzamento de informações entre os sistemas é o que se denomina integração vertical.

De forma similar, a integração vertical permite a gestão da qualidade. Muitas MPMEs hoje trabalham com indicadores de qualidade,

Tecnologias de integração vertical

como defeitos e retrabalhos, apenas apontados no papel ou analisados de forma assíncrona ao seu acontecimento. Em conjunto com o sensoriamento, CLPs podem permitir a essas MPMEs o monitoramento e comando de máquinas, possibilitando a interrupção de um processo ou geração de alertas sobre o mau funcionamento de algum processo ou desvio de algum parâmetro de execução. Ao mesmo tempo, os indicadores de qualidade podem ser visualizados no MES e informados ao ERP. Desta forma, o gestor da MPME pode visualizar claramente indicadores de qualidade como retrabalhos, produtos ou matéria-prima não conforme, etapas do processo com maiores problemas de qualidade, entre outros. Assim, essa visibilidade permitirá conduzir ações para reduzir os desperdícios de recur-

-sos. Ademais, em sinergia com as tecnologias de base descritas acima, dados de sensores e dispositivos IoT podem ser analisados por BDA ou IA e, quando detectados comportamentos fora dos padrões, decisões podem ser pré-programadas para que CLPs tenham autonomia para garantir a conformidade e qualidade dos sistemas da empresa.

Por fim, em gestão da manutenção as MPMEs normalmente têm dificuldades para realizar a gestão de seus equipamentos, recorrendo frequentemente à manutenção corretiva. Neste contexto, os sistemas MES e ERP aparecem como aliados. Tradicionalmente, esses sistemas possuem um módulo para apoiar a gestão da manutenção, permitindo registrar, para cada equipamento, a data, o tipo de manutenção realizada, o tempo que a máquina ficou parada para manutenção, havendo inclusive possibilidade de incluir fotos ou maiores instruções para orientar futuras manutenções ou análises. Esse módulo permite ainda gerenciar a agenda de manutenções preventivas, constituindo-se, portanto, em uma ferramenta muito útil para as equipes de manutenção das MPMEs. Ao mesmo tempo, o planejamento de manutenções preventivas e o histórico de tempos médios permitem ao gestor da MPME planejar de forma mais precisa a produção e, quando levados ao ERP, integrar as ações de manutenção com as atividades de todos os departamentos da empresa.



Tecnologias Específicas

Dentre as tecnologias específicas, o sistema de gerenciamento de armazém (WMS) possui médio impacto e alto esforço de implementação, sendo utilizado especificamente para a gestão de estoques e logística. O **impacto médio** se deve ao fato de que esta tecnologia pode melhorar amplamente a eficiência das atividades de estoque e logística, mas apenas se restringindo a este desafio. O **alto esforço** se deve, principalmente, à complexidade de implementação, que demanda um *setup* inicial de identificação e inventário de estoque, treinamento específico e elevada disciplina operacional dos colaboradores.

O WMS consiste em um sistema automático de análise, planejamento e controle de estoque que busca otimizar toda a operação logística de uma empresa. Existem soluções de WMS para MPMEs que podem ser acessadas pelo pagamento de mensalidades e cujos dispositivos de leitura podem ser substituídos por smartphones. O WMS pode ser integrado com o ERP com o intuito de facilitar o fluxo de informações, possibilitando, assim, uma gestão integrada da empresa e a obtenção de vantagens competitivas a partir da redução de custos e otimização de processos logísticos internos. O sistema ajuda na organização do estoque, tendo como principais resultados agilizar os processos e



Tecnologias Específicas

reduzir possíveis erros, uma vez que o sistema controla diversos processos importantes (armazenamento, separação dos materiais, embalagem). A utilização desta solução tecnológica requer treinamento e qualificação dos profissionais para que sigam com disciplina o apontamento e controle de peças, componentes, produtos e matérias-primas armazenados e movimentados dentro da empresa.

Também entre as tecnologias específicas, a computação visual se caracteriza por demandar baixo esforço, porém gerando apenas baixo impacto, pois a sua contribuição é voltada para necessidades muito específicas de gestão da qualidade nas MPMEs. O esforço é considerado baixo porque este tipo de tecnologia é facilmente implementado por empresas ou *startups* especializadas a um valor acessível. Uma vez instaladas as câmeras, o fornecedor treina o algoritmo de *machine learning* pela inclusão de fotos de tipos de falhas. Com isto, em pouco tempo o algoritmo já é capaz de identificar as falhas e alertar o operador. O impacto também é considerado baixo para a MPME, pois, na maioria dos casos, a tecnologia apenas automatiza atividades que uma pessoa bem treinada poderia realizar. Na prática, MPMEs podem adotar procedimentos menos onerosos como inspeção visual ou sensoriamento tradicional com emissão de sinais de alerta (*andons*) e *poka yokes* em vez de adotar tecnologias de computação visual que requerem uma maior integração de sistemas. Porém, em casos específicos, essas soluções mais tradicionais podem levar a um nível de produtividade limitado, especialmente quando é necessária a inspeção rápida de grandes volumes.

Por fim, o sistema PLM aparece como uma importante tecnologia para empresas em que a gestão de produtos e projetos inovadores é um grande diferencial de mercado. Esta tecnologia foi classificada como de baixo impacto para as MPMEs porque, dada a complexidade normalmente baixa dos processos de desenvolvimento de produtos observados nessas empresas, um PLM não se faz necessário. Em outras palavras, as MPMEs conseguem alcançar resultados satisfatórios com sua forma tradicional de gestão. Por outro lado, a implementação de um PLM demanda um alto esforço, refletido em um alto custo de sistemas fornecidos apenas por algumas grandes marcas no mercado, com alta complexidade para migração de dados e utilização completa do sistema. Por este motivo, a utilização de PLM acontece em apenas algumas grandes empresas.

O PLM utiliza ferramentas e cria um banco de dados colaborativo que permite gerenciar todo o processo do ciclo de vida de qualquer produto. A tecnologia pode auxiliar tanto em níveis mais específicos, como conectividade e armazenamento de dados, quanto em seu nível mais avançado, funcionando como uma plataforma digital que conecta usuários em diferentes fases dos projetos da empresa. Assim, as empresas podem se beneficiar principalmente de um sistema PLM que forneça integração entre os participantes de cada projeto tanto no nível interno (empresa) quanto no nível externo (parceiros com habilidades e competências específicas).

Tecnologias de virtualização

As tecnologias de virtualização permitem simular o mundo real no mundo virtual ou vice-versa e compreendem realidade virtual, realidade aumentada, simulação e modelagem e gêmeos digitais. No contexto das MPMEs, estas tecnologias se encontram no quadrante de **alto esforço** e **baixo impacto**. Neste grupo, particularmente, as tecnologias de RA e RV têm complexidade baixa, pois neste caso as empresas adquirem uma tecnologia que já tem a realidade virtual integrada (por exemplo, *smart glasses*) ou um aplicativo/sistema com realidade aumentada (por exemplo, tablet ou smartphone), e as soluções são desenvolvidas integralmente pelos fornecedores das tecnologias. Já no caso da simulação, além dos elevados custos de aquisição de um software de modelagem e simulação, as

tecnologias demandam custos relacionados a treinamentos dos colaboradores para sua correta utilização. Dada a necessidade de treinamento, a velocidade de implementação também é moderada, pois existe uma curva de aprendizagem da utilização dessas tecnologias dentro da empresa. No caso dos gêmeos digitais, a tecnologia ainda está distante da maioria das MPMEs, e inclusive de muitas grandes empresas. O alto esforço se deve também ao elevado custo da tecnologia, que é ofertada por poucas empresas no mercado e está associada a uma alta complexidade, pois requer a integração de tecnologias de base da Indústria 4.0, virtualização e manufatura avançada. Por outro lado, a virtualização tem **baixo impacto**, pois estas normalmente são tecnologias complementares e de suporte para as MPMEs.

No que diz respeito aos desafios de gestão da qualidade e de manutenção, **as realidades aumentada e virtual** podem ajudar operadores e técnicos a exercer suas funções com maior celeridade e de forma mais precisa. Por meio de *smart glasses*, a realidade aumentada pode



Tecnologias de virtualização

ajudar funcionários na inspeção visual da qualidade de peças e componentes complexos para encontrar não-conformidades, bem como na identificação de produtos não-conformes. De forma similar, a realidade aumentada possibilitaria também aos funcionários identificar locais críticos nas máquinas para diagnóstico de falhas e manutenção. Neste sentido, a realidade aumentada representa uma importante ferramenta para empresas que enfrentam problemas com falta de recursos humanos qualificados ou alto *turnover*, pois a ferramenta pode apoiar a gama de atividades que os operadores devem executar, mantendo *checklists*, indicando posições e movimentações, ou com outras atividades para orientar os trabalhadores que ainda não têm suficiente experiência. Na gestão do estoque, a tecnologia de realidade aumentada pode ser utilizada por colaboradores inexperientes como forma de identificação de peças, componentes e produtos dentro da empresa para maior rapidez e precisão em suas atividades diárias no almoxarifado. A realidade virtual pode ser utilizada para acelerar o treinamento de funcionários, transformando longas especificações técnicas em vídeos interativos em 3D que proporcionem uma experiência imersiva e muito

mais próxima do que os funcionários encontrarão no dia a dia.

Por sua vez, a **simulação** é uma ferramenta de grande utilidade para a gestão e programação da produção, pois os dados de produção, coletados por meio de tecnologias de base, são enviados a um software que reproduz de forma confiável o comportamento das linhas de produção. Assim, é possível analisar diferentes cenários que poderiam incrementar a produtividade das empresas, como, por exemplo, diferentes configurações de layout, ou verificar os reais ganhos de produção antes de decidir sobre a compra de um novo equipamento. A modelagem dos recursos em relação a funcionários, máquinas e sistemas de informação é importante para apoiar o processo de tomada de decisão nas empresas. Em setores específicos, como metalomecânico e de máquinas e equipamentos, a simulação e a modelagem aparecem como tecnologias de grande importância para o desenvolvimento de produtos, principalmente pela necessidade de simulação de elementos finitos, peças, componentes e variantes de produtos durante o processo de criação. Assim, essas tecnologias permitem acelerar o processo de desenvolvimento de novos produtos e aumentar a competitividade das empresas, ajudando-as a gastarem menos recursos e esforços em tentativa e erro.

Tecnologias de virtualização

Finalmente, a tecnologia de **gêmeos digitais**, uma das mais avançadas sob o conceito de Indústria 4.0 e complementar ao conceito de simulação de processos, permite que o comportamento de toda a linha de produção, inclusive de máquinas e equipamentos, possa ser reproduzido de forma fidedigna no mundo virtual e retroalimentado a partir do mundo físico. Desta forma, se apresenta como uma tecnologia transversal a quase todos os desafios de produtividade, exceto apenas por gestão de estoques e logística. Os gêmeos digitais podem ajudar as empresas a obter uma melhor compreensão do status de suas máquinas e equipamentos em tempo real, simular a manufaturabilidade de um produto antes de colocá-lo em produção, favorecendo assim uma **gestão da produção e do desenvolvimento de produto**, além de fornecer ferramentas analíticas para uma eficiente gestão da qualidade. Para a gestão energética, as empresas podem criar uma versão digital de algum objeto físico e de um processo produtivo, tendo como objetivo a gestão do

consumo de energia. Na **gestão da manutenção**, é possível

melhorar a inspeção das máquinas ao visualizar quais

equipamentos não estão funcionando ade-

quadamente em comparação com o ambien-

te virtual. Finalmente, com gêmeos digitais

é possível otimizar a **gestão do produto**

ao longo do seu ciclo de vida no projeto

a partir da simulação dos protótipos

gerados. Além disso, essas tecnolo-

gias tornam as máquinas mais adap-

táveis aos requisitos de cada produto

desenvolvido.



Tecnologias de automação avançada

A automação avançada, composta por robôs autônomos e colaborativos, somente faz sentido em casos muito específicos de MPMEs. Por isso, neste contexto, estas tecnologias foram localizadas no quadrante de **alto esforço** e **baixo impacto**. Em relação à complexidade, ela foi considerada moderada-alta, uma vez que robôs industriais podem ser tecnologias relativamente simples de inserir na manufatura, porém, quando programados para se adaptarem aos sistemas para permitir modularização, flexibilidade ou automação, já implicam maior complexidade. No que diz respeito à velocidade, esta é considerada moderada, pois requerer um alinhamento entre processos produtivos e layout. O impacto foi considerado baixo porque as MPMEs não necessariamente precisam de tecnologias de automação avançada para aumentar sua produtividade, uma vez que podem optar por processos mais manuais de manufatura somados a máquinas mais tradicionais, como normalmente ocorre na prática de manufatura no Brasil.

Assim, por mais que possa resultar em um aumento no volume de produção, o emprego de automação avançada pode enrijecer os processos produtivos de MPMEs, as quais se caracterizam, normalmente, por um elevado mix de produtos. Para manter essa flexibilidade, as MPMEs apoiam-se principalmente em processos manuais com baixa automação.



Tecnologias de automação avançada

Do mesmo modo, AGVs (*Automated Guided Vehicles*) poderiam ser utilizados por MPMEs na gestão de estoques e logística para o transporte interno de materiais, mas os baixos volumes e o ainda relativamente baixo custo de mão de obra no Brasil normalmente não viabilizam sua utilização.

Conforme discutido, as três últimas tecnologias apresentadas – automação avançada, virtualização e sistemas PLM – se encontram no quadrante de alto esforço e baixo impacto para o contexto da maioria das MPMEs brasileiras do setor de transformação. Estas não se

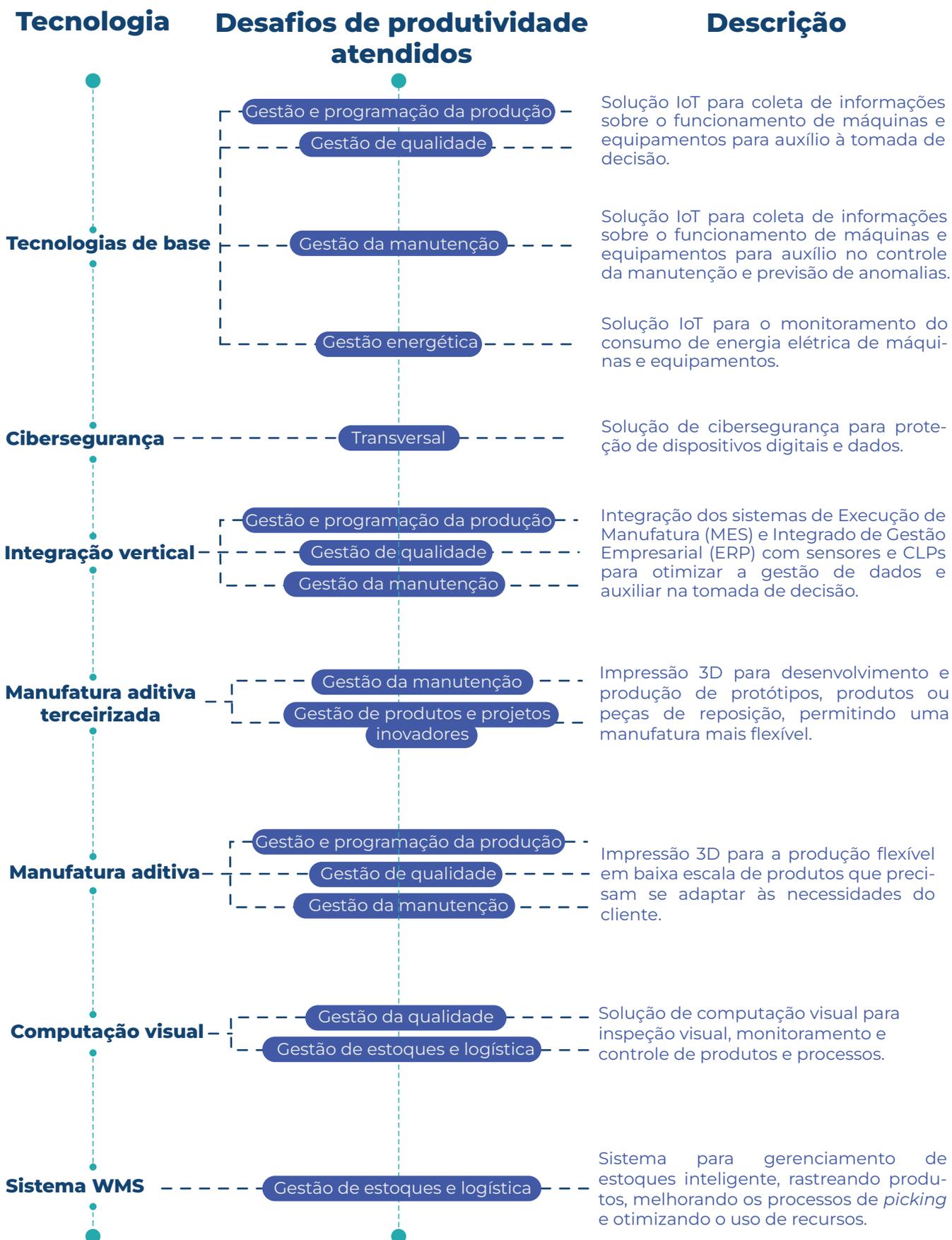
mostram apropriadas para o contexto das MPMEs devido aos elevados custos associados à adoção, bem como à complexidade e ao tempo necessário para a implementação. Consequentemente, as MPMEs tendem a desenvolver soluções alternativas ou pontuais na manufatura quando enfrentam algum dos desafios de produtividade que essas tecnologias mais complexas abrangem. Por isso, estas tecnologias não serão exploradas no próximo capítulo deste estudo, no qual busca-se apresentar casos práticos de utilização de tecnologias da Indústria 4.0 por MPMEs.

Casos de uso de soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para MPMEs

A seleção de soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para MPMEs foi realizada a partir do cruzamento dos desafios de produtividade com o esforço e impacto necessários para sua implementação. As tecnologias de automação avançada, virtualização e sistemas PLM foram desconsideradas por se encontrarem no quadrante de alto esforço e baixo impacto. A Figura 4 apresenta as nove soluções 4.0 selecionadas, majoritariamente caracterizadas por serem terceirizadas ou oferecidas como um “pacote fechado” de baixa complexidade de implementação, e por demandarem um baixo conhecimento técnico das empresas tanto para implementação quanto para sua posterior utilização. Cabe destacar que todas as soluções são baseadas em produtos ou serviços já disponíveis no mercado e implementados em MPMEs brasileiras.

As soluções selecionadas levam em consideração a realidade tecnológica das MPMEs, que normalmente não possuem sensores instalados ou dados disponíveis, possibilitando a coleta e a análise de dados e *dashboards* dentro do mesmo pacote. Essas soluções demandam a aquisição de equipamentos relativamente baratos, que podem ser implementados de forma gradual, máquina a máquina, sendo que os dados e análises avançadas são oferecidos pelos fornecedores no formato de assinaturas acessíveis. Isso permite às MPMEs diluir custos ao longo do tempo e ter sempre às disposição atualizações e suporte dos fornecedores para o aprimoramento do uso da solução. Assim, a implementação das soluções 4.0 se apresenta como factíveis para as MPMEs, com baixo ou médio custo de implementação, baixa complexidade e grande potencial de impacto positivo sobre os problemas e desafios de produtividade enfrentados em seu dia a dia.

Figura 4 – Casos de uso de soluções tecnológicas da Indústria 4.0



Vale destacar que apesar de nenhuma solução tecnológica discutida estar relacionada diretamente com o desafio de Gestão do Capital Humano, uma vez que se refere à educação e à informação dos profissionais envolvidos, este é abordado de forma indireta em cada uma das soluções tecnológicas. As competências necessárias das MPMEs e os treinamentos de que estas necessitam para seu desenvolvimento serão apresentados em cada solução. Foram considerados no processo de implementação das soluções o gestor e funcionários da MPME e um consultor externo. O consultor externo é considerado um profissional experiente com formação na área de engenharia que tem como principal atribuição acompanhar a MPME ao longo do processo de transformação digital.

A seguir, são detalhadas as soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para enfrentar os desafios de produtividade das MPME. As informações foram obtidas a partir das entrevistas com representantes de empresas fornecedoras das soluções. Esses representantes possuíam o conhecimento técnico necessário, pois participaram ativamente de implementações em clientes MPMEs. A figura 5 apresenta como os casos das soluções tecnológicas serão detalhadas.





Esquema Tecnológico:
Apresenta as tecnologias envolvidas na solução e como elas interagem.



Impacto e esforço:
Apresenta o nível de impacto e esforço esperado da implementação das tecnologias, conforme a análise na seção 3.



Investimento e Tempo de Retorno:
Apresenta a ordem de grandeza do investimento em relação ao faturamento máximo de uma empresa de pequeno porte, ou seja, R\$4,8 milhões, e o tempo de retorno com base nas melhorias de produtividade esperadas. Os valores de investimento apresentados são aproximados e foram identificados em casos reais das empresas fornecedoras e tecnologias entrevistadas.



Objetivo

Descreve quando a utilização da solução se mostra adequada.

Escopo

Descreve o objetivo da solução tecnológica.

Forma de aquisição

Descreve como a solução pode ser adquirida no mercado pelas MPMEs.

Requisitos

Apresenta os requisitos tecnológicos e humanos necessários para a correta implementação e para o funcionamento da solução tecnológica.

Stakeholders

Apresenta os setores internos da MPME e os atores externos que estarão envolvidos na implementação e no funcionamento da solução tecnológica.

Riscos

Apresenta os pontos-chave com os quais deve-se ter cuidado para evitar impactos negativos sobre a implementação e o funcionamento da solução tecnológica.

Desafio



Apresenta o principal desafio de produtividade que esta solução tecnológica aborda.

Setores com maior potencial de aplicação

Apresenta os setores industriais nos quais a solução tecnológica poderia trazer maiores vantagens, porém, isto não exclui a utilização por outros setores.

Análise de viabilidade do investimento

Descreve a forma de cálculo dos ganhos e custos da implementação da solução tecnológica, apresentando também a técnica de cálculo a ser utilizada.

Etapas de implementação

Apresenta as etapas sugeridas para implementação da solução tecnológica pelas MPMEs.

Conhecimentos necessários

Descreve os conhecimentos que devem ser possuídos ou desenvolvidos pelas pessoas que estarão envolvidas no projeto (consultor, gestor e funcionário) para extrair o máximo proveito da solução tecnológica.

Tecnologias de base para gestão da produção e da qualidade

Esquema tecnológico



Objetivo

Aumentar a visibilidade e confiabilidade dos indicadores de produção e qualidade.

Escopo

Implantar dispositivos com tecnologias IoT (Internet das Coisas), possibilitando a coleta de informações sobre o funcionamento das máquinas e equipamentos com intuito de auxiliar a tomada de decisão.

Forma de aquisição

Aquisição de kit IoT (hardware) e posterior contratação de integradora e assinatura de software para visualização dos indicadores de performance.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Requisitos

Tecnológicos

Máquina;
Rede.

Humanos

Conhecimento técnico dos parâmetros e indicadores do processo.

Stakeholders

Internos

TI (Tecnologia da Informação);
Produção;
Manutenção;
Qualidade;
Alta direção.

Externos

Fornecedor de tecnologias;
Fornecedor de máquinas;
Empresa Integradora.

Riscos

Dificuldade de integração de máquinas;
Problemas de interoperabilidade;
Resistência dos colaboradores para a utilização da tecnologia.

Setores com maior potencial de aplicação

Setores com maior necessidade de monitoramento de parâmetros de processos, tanto processos contínuos quanto discretos.

Desafio



Gestão da produção
Gestão da qualidade

*O investimento em um kit de monitoramento IoT é de \approx R\$3.000,00 (três mil reais) por equipamento a ser monitorado. A assinatura mensal de software para visualização é de \approx R\$150,00 (cento e cinquenta reais).

Tecnologias de base para gestão da produção e da qualidade

Etapas de implementação

1 **Diagnóstico do processo**

1 **Diagnóstico do processo**

A MPME deve analisar seu parque fabril para definir quais os equipamentos críticos que deveriam ser monitorados e quais os indicadores, para início do projeto piloto.

2 *Instalação dos dispositivos IoT*
Para os equipamentos selecionados para o projeto piloto, a fornecedora deve instalar os kits IoT.



3 **Integração do software de apresentação de dados**

A fornecedora deve integrar os dados coletados pelo kit IoT ao software já utilizado pela MPME para visualização dos indicadores ou a MPME pode contratar o serviço de assinatura de software de visualização da fornecedora.

4 *Coleta de dados*
Os dispositivos IoT enviam os dados ao software, junto com as informações de produção e qualidade apontadas pelos operadores, e a MPME analisa os indicadores para ações de melhoria de processo.



5 **Ampliação do uso da tecnologia**

Uma vez testado e aprovado nos equipamentos do projeto piloto, a MPME pode aumentar, gradualmente, o número de equipamentos monitorados.



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos de tecnologias IoT para monitoramento de indicadores;
- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).

Funcionário da MPME

- Utilização da interface homem-máquina do equipamento IoT para apontamento de informações de produção e qualidade.



Análise de viabilidade do investimento

Ganhos

- Aumento de OEE pelas ações derivadas do monitoramento confiável do indicador.
- Ganhos = (Nº de produtos produzidos no novo OEE - Nº de produtos produzidos no OEE antigo) x % Margem de lucro x Valor de venda do produto.

Custos

- Investimento inicial com kit IoT por equipamento;
- Custo de assinatura ou compra do software de visualização de indicadores.

Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

Nota:

1. Kit IoT: Integra sensor IoT, dispositivo de visualização e se conecta à rede de internet ou intranet.
2. O aumento do OEE é considerado na máquina ou equipamento gargalo da linha de produção.

Tecnologias de base para gestão da manutenção

Esquema tecnológico



Objetivo

Aumentar a visibilidade e confiabilidade dos seus indicadores de gestão da manutenção.

Escopo

Implantar dispositivos com tecnologias IoT e IA (Inteligência Artificial) para a coleta e análise de informações sobre o funcionamento das máquinas e equipamentos com o intuito de auxiliar no controle da manutenção e predição de anomalias.

Forma de aquisição

Aquisição de dispositivo (hardware) para armazenamento e visualização de dados e serviço de assinatura de software para análise de dados e predição de anomalias.

Requisitos

Tecnológicos

Nuvem ou servidor para armazenar dados;
Sensor;
Rede;
CLP.

Humanos

Conhecimento de automação industrial (programação de CLP);
Conhecimento básico de TI;
Conhecimento técnico dos parâmetros e indicadores do processo de manutenção.

Riscos

Não definir corretamente as anomalias de funcionamento das máquinas e equipamentos;
Máquinas e equipamentos que não possuem protocolo de comunicação aberto;
Não fazer manutenção dos sensores e obter informações erradas.

Setores com maior potencial de aplicação

Setores onde a parada de máquinas tem alto impacto na produtividade, como indústrias de processos contínuos.

Priorização de setores:

1. Químicos
2. Alimentos e bebidas;
3. Farmacoquímicos e farmacêuticos;
4. HPPC;
5. Produtos de material plástico;
6. Produtos de borracha;

Stakeholders

Internos

Manutenção.

Externos

Empresa Integradora;
Fornecedor de tecnologias.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Desafio



Gestão da manutenção

*O investimento em um kit de manutenção IoT é de \approx R\$6.000,00 (seis mil reais) por equipamento a ser monitorado. A assinatura mensal de software para visualização e análise preditiva pode variar de R\$675,00 (seiscentos e setenta e cinco reais) a R\$1.200,00 (um mil e duzentos reais), aproximadamente.

Tecnologias de base para gestão da manutenção

Etapas de implementação

1 Instalação dos dispositivos IoT e conexão com CLP e/ou sensores

Para os equipamentos selecionados para o projeto piloto, a fornecedora deve instalar/configurar sensores e CLP para a coleta de dados e integrar com kit IoT.



2 Coleta e análise de dados com IA

Os dispositivos IoT enviam os dados ao software, junto com as informações de manutenções apontadas pelos operadores, o qual analisa os dados com base em algoritmos de IA para recomendar ações de manutenção preditiva.



Diagnóstico do processo

A MPME deve analisar seu parque fabril para definir quais os equipamentos críticos que deveriam ser monitorados e quais os indicadores, para início do projeto piloto.

Integração do software de apresentação de dados

A fornecedora deve integrar os dados coletados pelo kit IoT ao software já utilizado pela mpme para visualização dos indicadores ou a MPME pode contratar o serviço de assinatura de software de visualização da fornecedora.

Ampliação do uso da tecnologia

Uma vez testado e aprovado nos equipamentos do projeto piloto, a mpme pode aumentar, gradualmente, o número de equipamentos monitorados.

Conhecimentos necessários



Consultor

- Conhecimentos básicos de tecnologias IoT para monitoramento de indicadores;
- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Ferramentas de gestão de manutenção;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Ferramentas de gestão de manutenção;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).

Funcionário da MPME

- Ferramentas de gestão de manutenção;
- Utilização da interface homem-máquina do equipamento IoT para apontamento de informações de manutenção.

Nota:

Kit IoT: Integra sensor IoT, dispositivo de visualização e se conecta à rede de internet ou intranet.

Análise de viabilidade do investimento



Ganhos

- Aumento de OEE pelas ações derivadas do monitoramento confiável do indicador e manutenção preditiva.
- $Ganhos = (N^{\circ} \text{ de produtos produzidos no novo OEE} - N^{\circ} \text{ de produtos produzidos no OEE antigo}) \times \% \text{ Margem de lucro} \times \text{Valor de venda do produto.}$

Custos

- Investimento inicial com kit IoT por equipamento;
- Custo de assinatura ou compra do software de visualização de indicadores.

Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

Tecnologias de base para gestão energética

Esquema tecnológico



Objetivo

Aumentar a visibilidade e confiabilidade dos seus indicadores de eficiência e perda energética.

Escopo

Implantar dispositivos com tecnologias IoT para monitorar o consumo de energia elétrica das máquinas e equipamentos.

Forma de aquisição

Aquisição de kit IoT e contratação de assinatura de software para visualização dos dados.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Requisitos

Tecnológicos

Máquina;
Rede.

Humanos

Conhecimento de instalação elétrica básico/médio;
Análise de dados de consumo de energia elétrica.

Stakeholders

Internos

TI (Tecnologia da Informação);
Produção.

Externos

Fornecedor de tecnologias.

Riscos

Instalação elétrica na fábrica de baixo padrão de qualidade.

Desafio



Gestão energética

Setores com maior potencial de aplicação

Setores com alta demanda energética.

Priorização de setores:

1. Metalúrgico;
2. Químicos;
3. Alimentos e bebidas;
4. Produtos de material plástico;
5. Produtos de borracha;

*O investimento em um kit IoT é de ≈ R\$ 1.500,00 (um mil e quinhentos reais) por equipamento a ser monitorado. A assinatura mensal de software para visualização das informações e os dados coletados é de ≈ R\$50,00 (cinquenta reais) por máquina.

Tecnologias de base para gestão energética

Etapas de implementação



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos de tecnologias IoT para monitoramento de indicadores;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs) e eficiência energética;
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs) e eficiência energética.



Análise de viabilidade do investimento

Ganhos

- Diminuição dos gastos de energia pelas ações derivadas do monitoramento confiável do consumo
- Ganhos = consumo energia antes - consumo energia depois.

Custos

- Investimento inicial com kit IoT por equipamento;
- Custo de assinatura ou compra do software de visualização de indicadores.

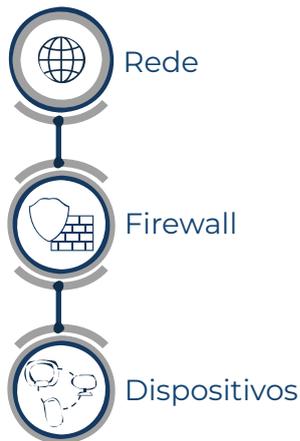
Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

Nota:

Kit IoT: Integra sensor IoT, dispositivo de visualização e se conecta à rede de internet ou intranet.

Esquema tecnológico

**Objetivo**

Proteger seus dados e rede industrial.

Escopo

Implantar de uma solução de cibersegurança para proteção dos dispositivos e dados da rede da MPMEs.

Forma de aquisição

Aquisição de kit IoT e contratação de assinatura de software para visualização dos dados.

Impacto**Esforço****Tempo de retorno****Investimento*****Requisitos**Tecnológicos

Servidor interno.

Humanos

Conhecimento da estrutura organizacional (responsabilidades, permissão de acesso).

StakeholdersInternos

TI (Tecnologia da Informação);
Alta direção.

Externos

Integradora;
Prestadora de serviço especializada em cibersegurança.

Riscos

Descumprimento das regras da política de cibersegurança;
Dificuldade de garantir o gerenciamento de acesso;
Política de cibersegurança se tornar obsoleta.

Setores com maior potencial de aplicação

Tecnologia transversal a todos os setores.

Desafio

Transversal a todos os desafios

*A solução de ciber segurança oferecida em pacotes mensais que variam de R\$700,00 (setecentos reais) a R\$1.500,00 (um mil e quinhentos reais), aproximadamente,

Nota:

VPN a sigla de Virtual Private Network, traduzindo como Rede Privada Virtual.

Cibersegurança

Etapas de implementação



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos de cibersegurança;
- Indicadores de performance de cibersegurança;
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Conhecimentos básicos de cibersegurança.

Funcionário da MPME

- Conhecimentos básicos de cibersegurança.

Nota:

Kit IoT: Integra sensor IoT, dispositivo de visualização e se conecta à rede de internet ou intranet.



Análise de viabilidade do investimento

Ganhos

- Ganhos intangíveis da diminuição do risco de ataques hackers e vazamento de dados de clientes (ex. prevenção de multa por IgpD, imagem da empresa, etc.).

Custos

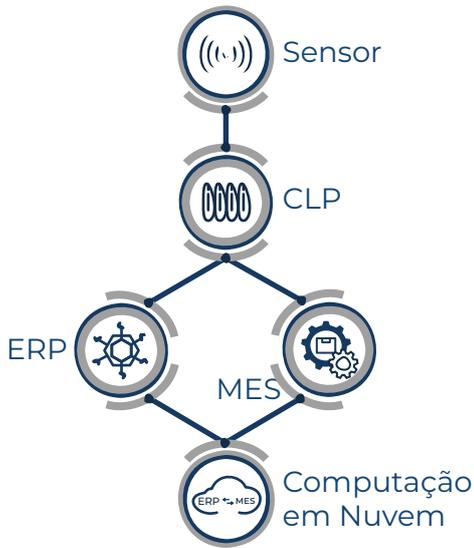
- Custo da solução de cibersegurança;
- Custo de assinatura dos softwares de cibersegurança.

Técnicas de cálculo

- A implementação desta solução tecnológica não pode ser avaliada diretamente de forma quantitativa, ela deve ser analisada como um requisito essencial para a digitalização da MPME.

Integração vertical

Esquema tecnológico



Objetivo

Integrar os dados de produção e gestão para aprimorar a sua tomada de decisão.

Escopo

Integrar os sistemas de Execução de Manufatura (MES) e Integrado de Gestão Empresarial (ERP) com sensores e CLPs para otimizar a gestão de dados e auxiliar na tomada de decisão.

Forma de aquisição

Aquisição de software ou serviço de assinatura MES e Serviço de Integração.

Requisitos

Tecnológicos

Sensores instalados;
Smartphone ou dispositivo móvel para coleta de dados nas máquinas;
Rede de internet | Intranet;
Software ERP instalado;
Servidor próprio ou nuvem.

Humanos

Conhecimento dos roteiros de produção.

Riscos

Dificuldade de integração de sistemas;
Problemas de interoperabilidade;
Resistência dos colaboradores para a utilização da tecnologia.

Setores com maior potencial de aplicação

Setores com maior necessidade de monitoramento de parâmetros de processos, tanto processos contínuos quanto discretos.

Stakeholders

Internos

Produção;
Planejamento e controle da produção (PCP);
T.I.

Externos

Fornecedor de software ERP;
Fornecedor do software MES;
Empresa integradora.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Desafio



Gestão da produção
Gestão da manutenção
Gestão da qualidade

*O investimento para a implementação da integração vertical é de ≈ R\$ 60.700,00 (sessenta mil e setecentos reais), com um valor médio mensal de manutenção de ≈ R\$ 950,00 (novecentos e cinquenta reais) para 20 máquinas.

Integração vertical

Etapas de implementação



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos das funcionalidades dos softwares erp e mes;
- Técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs) e gestão;
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Conhecimentos básicos das funcionalidades dos softwares erp e mes;
- Técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs) e gestão.



Análise de viabilidade do investimento

Ganhos

- Aumento de OEE pelas ações derivadas do monitoramento confiável dos indicadores;
- Ganhos de eficiência geral nas linhas de produção, na manutenção e nos indicadores de qualidade pelas ações derivadas da visibilidade global dos indicadores da fábrica.
- Ganhos = (N° de produtos produzidos no novo cenário - N° de produtos produzidos no cenário antigo) x % Margem de lucro x Valor de venda do produto.

Custos

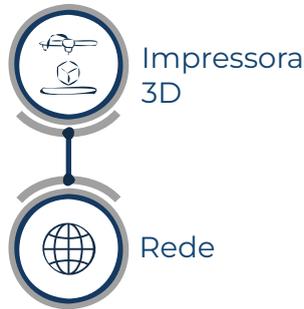
- Custo inicial do serviço de integração de sistemas;
- Custo de assinatura ou compra dos softwares de gestão.

Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

Manufatura aditiva terceirizada

Esquema tecnológico



Objetivo

No caso de desenvolvimento de um novo produto, a MPME pode contratar o serviço de impressão de seus protótipos utilizando a Manufatura Aditiva (MA).

No caso de gestão da manutenção, a MPME pode contratar a impressão 3D das peças de reposição necessárias.

Escopo

Adotar impressão 3D para desenvolvimento e produção de protótipos, produtos ou peças de reposição, permitindo uma manufatura mais flexível.

Forma de aquisição

Contratação de serviço de consultoria e impressão 3D.

Requisitos

Tecnológicos

Software CAD

Humanos

Conhecimento técnico das especificações da peça.

Stakeholders

Internos

Engenharia;
Desenvolvimento de produto;
Alta direção.

Externos

Prestador de serviços de impressão 3D;
Fornecedor de software CAD.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Riscos

Dificuldade de escolha do tipo de material de impressão que atenda as especificações do processo (temperatura, resistência);

Dificuldade de alinhar o projeto de engenharia com os requisitos da impressão 3D.

Desafio



Gestão de produto
Gestão da manutenção

Setores com maior potencial de aplicação

Setores com processos discretos com baixo volume de produção e alta flexibilidade.

Priorização de setores:

Para PDP:

1. Máquinas e equipamentos;
2. Produtos de material plástico;
3. Calçados e suas partes.

Para manutenção:

1. Metalurgia e produtos de metal;
2. Alimentos e bebidas;
3. Móveis.

*Em uma aplicação de MA analisada no estudo, o investimento para impressão de uma peça de substituição foi de ~ R\$450,00 (quatrocentos e cinquenta reais), enquanto o valor de mercado da mesma peça é de ~ R\$700,00 (setecentos reais).

Manufatura aditiva terceirizada

Etapas de implementação

1 Adaptação do projeto para impressão 3D

No caso de desenvolvimento de produto, a mpme deve desenvolver o projeto em CAD3D. No caso de manutenção, a mpme pode desenvolver o projeto em CAD3D ou terceirizar seu desenvolvimento.

Com o CAD3D em mãos, a fornecedora de MA irá adaptar o projeto para o processo de manufatura aditiva.

2 Aprimoramento do projeto (caso necessário)

No caso do produto ou peça não se adequar aos requisitos de uso, o projeto pode ser aprimorado pela fornecedora de MA.

3 Diagnóstico do processo

A MPME deve informar à fornecedora de MA as condições sob as quais será utilizada a peça ou produto (temperatura de uso, esforços, tipo de material, etc.). Com base nestas informações, a fornecedora de MA irá definir a viabilidade técnica e econômica da utilização desta solução tecnológica.

4 Impressão teste do produto

O produto ou peça é impresso pela fornecedora de MA e é testado no seu contexto real.



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos do estado da arte na aplicação de manufatura aditiva:
 - Aplicações comuns de MA;
 - Design para manufatura aditiva (Design for Additive Manufacturing - DFMA);
 - Tipos de materiais para ma disponíveis no mercado;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Conhecimentos básicos do estado da arte na aplicação de manufatura aditiva.
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).



Análise de viabilidade do investimento

Desenvolvimento de novos produtos:

- $\text{Ganhos} = N^{\circ} \text{ produtos em vendas antecipadas}^1 \times \% \text{ margem de lucro} \times \text{valor de venda do produto.}$
- $\text{Custos} = \text{Valor unitário do produto impresso em 3D}^2 - \text{valor unitário do produto fabricado por método tradicional}^3$

Manutenção

- $\text{Ganhos} = N^{\circ} \text{ produtos produzidos no tempo extra}^4 \times \% \text{ margem de lucro.}$
- $\text{Custos} = \text{Valor unitário da peça impressa em 3D}^2 - \text{valor unitário da peça no mercado}^*$

Viabilidade do investimento

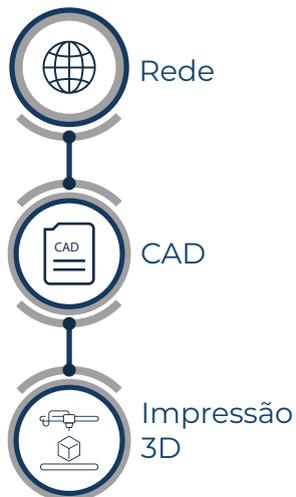
- $\text{Ganhos} - \text{custos} = \text{positivo.}$

Nota:

1. *Vendas antecipadas = vendas no prazo reduzido pela diminuição do time to market.*
2. *Valor unitário de produto ou peça impressa em 3D deve considerar o rateio do custo inicial da consultoria da fornecedora de MA e das horas-homem da equipe de desenvolvimento de produto.*
3. *Valor unitário do produto fabricado por método tradicional deve considerar o rateio do custo inicial de ferramental e das horas-homem da equipe de desenvolvimento de produto.*
4. *Tempo extra = tempo de entrega da peça no mercado - tempo de impressão da peça de reposição.*

Manufatura aditiva

Esquema tecnológico



Objetivo

Produzir em baixo volume e de forma flexível para se adaptar às demandas específicas de clientes.

Escopo

Utilizar a manufatura aditiva para produção flexível em baixa escala de produtos que precisam se adaptar às necessidades do cliente.

Forma de aquisição

Aquisição de impressora (hardware) e de software, prestação de serviço (treinamento, consultoria) para adaptação dos projetos e processos.

Requisitos

Tecnológicos

Software CAD;
Rede industrial;
Impressora 3D;
Operacional;
Conhecimento da matéria prima.

Humanos

Compreensão do material;
Compreensão de projetos em 3D;
Compreensão do processo de produção.

Stakeholders

Internos

Engenharia;
Direção;
Equipe de Produção.

Externos

Fornecedor de tecnologia;
Fornecedor da matéria-prima.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Riscos

A equipe não ter o conhecimento para mudança;
Falta de contrato de manutenção com fornecedora de tecnologia.

Desafio



Gestão da produção

Setores com maior potencial de aplicação

Setores de processos discretos de baixo volume de produção e de alta flexibilidade.

Priorização de setores:

1. Produtos de metal plástico;
2. Produtos de metal;
3. Máquinas e equipamentos;
4. Máquinas, aparelhos e materiais elétricos;

*O investimento de implementação da MA é de \approx U\$S 15.000,00 (quinze mil dólares), sendo o valor em reais dependente da cotação do dólar de conversão do momento.

Manufatura aditiva

Etapas de implementação

Desenvolvimento do protótipo

Na fornecedora de impressora 3D, o protótipo do produto precisa ser desenvolvido, testado e aprimorado até alcançar os padrões necessários.

Adaptação do ambiente

O layout e processo produtivo devem ser adaptados para a inclusão da impressora 3D.

Diagnóstico do processo

A MPME, junto à fornecedora de impressora 3D, precisa analisar o seu processo para entender se as características do produto, assim como o volume de produção e a necessidade de flexibilidade da manufatura se adequam à MA.

Capacitação da equipe

A MPME deve ser treinada na utilização do hardware (impressora 3D) e no software (CAD3D), além de técnicas de design para ma (DFAM).

Produção

A MPME incorpora a impressão 3D ao seu processo produtivo.

Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos do estado da arte na aplicação de manufatura aditiva:
 - Aplicações comuns de ma;
 - Design para manufatura aditiva (Design for Additive Manufacturing - DFMA);
 - Tipos de materiais para ma disponíveis no mercado;
 - Temperatura de uso para cada tipo de material;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Conhecimentos básicos do estado da arte na aplicação de manufatura aditiva.
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).

Funcionário da MPME

- Conhecimentos de hardware e software (CAD3D) para impressão 3D;
- Técnicas de design para manufatura aditiva.

Nota:

¹ Vendas antecipadas = vendas no prazo reduzido pela diminuição do time to market.

² Vendas por produção flexível = aumento nas vendas atribuído à capacidade de produção flexível conseguida através da MA.

Observação: este cálculo considera o investimento em uma nova linha de produção, que poderia ser por Manufatura tradicional ou por MA.

Análise de viabilidade do investimento

Método tradicional:

Ganhos:

- N° produtos em vendas X % Margem de lucro x Valor de venda do produto.

Custos:

- Investimento inicial em linha de produção e ferramental pelo método tradicional;
- Custo unitário do produto fabricado pelo método tradicional.

Método MA:

Ganhos:

- (N° produtos em vendas antecipadas¹ + N° de produtos em vendas por produção flexível²) X % Margem de lucro x Valor de venda do produto.

Custos:

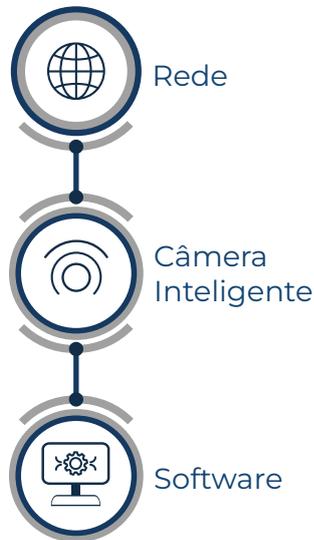
- Investimento inicial na compra da impressora 3d + consultoria da fornecedora de MA;
- Custo unitário do produto impresso em 3D.

Custos:

Comparação de VPL e Payback de cada processo produtivo.

Computação visual

Esquema tecnológico



Objetivo

Melhorar o controle de qualidade e de estoque dos seus produtos.

Escopo

Implantar solução de computação visual para inspeção visual, monitoramento e controle de produtos e processos.

Forma de aquisição

Aquisição de hardware e software de serviço de consultoria especializada.

Requisitos

Tecnológicos

Rede.

Humanos

Conhecimento técnico dos parâmetros e indicadores de qualidade

Stakeholders

Internos

Produção;
Qualidade;
Alta direção.

Externos

Fornecedor de tecnologia;
Empresa integradora de sistemas.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento*



Riscos

Problemas de interoperabilidade;
Dificuldade em manter os processo de inspeção em ordem.

Desafio



Gestão da qualidade
Gestão de estoque e logística

Setores com maior potencial de aplicação

Setor com alto volume de produção.

Priorização de setores:
1. Veículos automotores;
2. Farmacoquímicos e farmacêuticos;
3. Têxtil;
4. Papel;
5. Alimentos e bebidas.

*O investimento para implementação da computação visual é de R\$112.500,00 (cento e doze mil e quinhentos reais), sendo o software R\$81.400,00 (oitenta e um mil e quatrocentos reais) e o hardware R\$31.100,00 (trinta e um mil e cem reais). O valor médio mensal de manutenção de R\$4.000,00 (quatro mil reais), que inclui suporte e upgrade do sistema.

Computação visual

Etapas de implementação



Conhecimentos necessários

Consultor

- Conhecimentos básicos de computação visual;
- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Ferramentas da qualidade e técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).



Análise de viabilidade do investimento

Ganhos

- Na gestão da qualidade, aumento de OEE pelas ações derivadas do monitoramento confiável dos problemas de qualidade (ex. redução do número de produtos não conformes);
- Ganhos = $(N^{\circ} \text{ de produtos produzidos no novo OEE} - N^{\circ} \text{ de produtos produzidos no oee antigo}) \times \% \text{ Margem de lucro} \times \text{Valor de venda do produto}$.
- Na gestão de estoque, ganhos pelo aumento de eficiência e confiabilidade no processo de contagem (ex. redução no número de devoluções por erros de expedição).

Custos

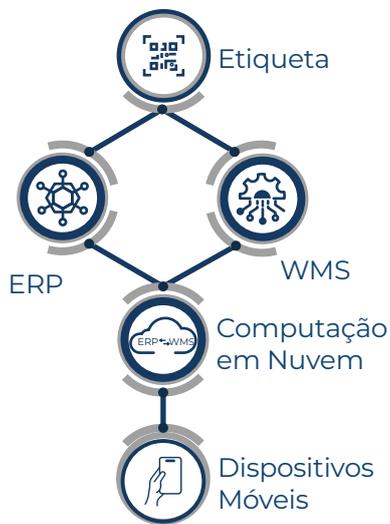
- Investimento inicial de aquisição e instalação de hardware de computação visual;
- Custo de assinatura ou compra do software de computação visual.

Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

WMS - Sistema de gerenciamento de armazém

Esquema tecnológico



Objetivo

Melhorar a gestão e controle do estoque.

Escopo

Implantar sistema WMS para gerenciamento do estoque de forma inteligente, rastreando os produtos, melhorando os processos de preparação e separação de matérias primas e produtos (picking) e otimizando o uso de recursos.

Forma de aquisição

Aquisição de software WMS e serviço de consultoria para adaptação do processo de gestão de estoque.

Impacto



Esforço



Tempo de retorno



Investimento



Requisitos

Tecnológicos

Nuvem ou servidor para armazenar o sistema;
Dispositivo móvel;
Software ERP.

Humanos

Conhecimento técnico dos processos de preparação e separação das matérias primas e produtos.

Stakeholders

Internos

Equipe de processo;
Equipe de estoque e logística.

Externos

Fornecedor de solução WMS;
Fornecedor de solução ERP.

Riscos

Resistência dos colaboradores para a utilização da tecnologia e adaptação do processo;
Desconhecimento dos colaboradores da utilização das etiquetas e endereçamento.

Desafio



Gestão de estoque

Setores com maior potencial de aplicação

Setores com alto volume e diversidade de itens de matéria prima ou produto.
Setores com perecibilidade e necessidade de rastreabilidade dos insumos e produtos.

Priorização de setores:
1. Farmacoquímicos e farmacêuticos;
2. Alimentos e bebidas;
3. Veículos automotores;
4. Vestuário.

Nota:

O investimento para a implementação do WMS é de ≈ R\$45.000,00 (quarenta e cinco mil reais), com um valor médio mensal de manutenção de ≈ R\$ 850,00 (oitocentos e cinquenta reais).

WMS - Sistema de gerenciamento de armazém

Etapas de implementação

Diagnóstico do processo

A MPME e fornecedora devem analisar a infraestrutura e forma de gerenciamento atual do estoque e logística para implementação do WMS.



Endereçamento das posições de estoque

A MPME deve endereçar todas as posições de estoque para configuração pela fornecedora no software WMS.



Instalação do software WMS e integração com ERP

A fornecedora deve instalar o software WMS, configurar os dispositivos coletores móveis e integrar com o ERP da MPME.



Coleta e Análise de dados

O software WMS consolida todas as informações do estoque e a MPME analisa os indicadores para ações de melhoria.



Definição dos requisitos e funcionalidades do sistema WMS

A MPME e fornecedora devem definir os requisitos para instalação e as funcionalidades do software WMS.

Identificação dos produtos

A MPME deve fazer a identificação (ex. etiqueta, código de barras, QR code, RFID) de todos os produtos em estoque.

Contagem e cadastramento do estoque

A MPME deve fazer o inventário do estoque e cadastrar todos os produtos no software WMS.

Conhecimentos necessários



Consultor

- Conhecimentos básicos das funcionalidades do software WMS;
- Conhecimentos de gestão de estoque e logística;
- Técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs);
- Indicadores para análise econômica e financeira de investimentos.

Gestor da MPME

- Conhecimentos básicos das funcionalidades do software WMS;
- Conhecimentos de gestão de estoque e logística;
- Técnicas de melhoria contínua;
- Indicadores de performance de processos produtivos (KPIs).

Funcionário da MPME

- Conhecimentos de gestão de estoque e logística;
- Utilização do dispositivo coletor móvel.

Análise de viabilidade do investimento



Ganhos

- Ganhos derivados de ações orientadas pelo uso do WMS, como:
 - Velocidade de armazenamento;
 - Performance do operador;
 - Redução de casos de ruptura de estoque;
 - Redução de perdas de estoque;
 - Redução de volume de estoque;
 - Confiabilidade do estoque.

Custos

- Custo de assinatura ou compra do software de WMS;
- Custo de aquisição dos equipamentos para inventário

Técnicas de cálculo

- VPL
- Payback

Uma preocupação apontada na literatura e reforçada pelos resultados deste estudo é que as soluções tecnológicas da Indústria 4.0 podem ser pouco efetivas nas MPMEs quando estas ainda não possuem procedimentos metodológicos para sua gestão da produção, como a implementação de métodos de produção enxuta (em inglês. *lean manufacturing*). Por outro lado, acredita-se que, ao seguir uma trajetória linear de implementação primeiramente de um programa de *Lean Manufacturing*, e depois de programas de I4.0, há um risco de que a experimentação tecnológica nas MPMEs e, consequentemente, a inovação tecnológica, fiquem distante no horizonte da realidade dessas empresas. Como alternativa, há oportunidade de combinar as estratégias de organização da produção e de implementação tecnológica para que o processo de inovação seja mais ágil. Assim, enquanto o *Lean Manufacturing* é geralmente referido como uma abordagem *low-tech*, centrada no treinamento método-lógico dos trabalhadores, a Indústria 4.0 apresenta uma proposta totalmente voltada à implementação tecnológica. Por esse motivo, a literatura mais recente sobre o tema tem buscado desenvolver uma visão conciliatória e integrada do que se tornou conhecido como *Digital Lean Manufacturing* (ou simplesmente *Digital Lean*). Basicamente, o *Digital Lean* busca aproveitar as soluções digitais da Indústria 4.0 para servir aos propósitos metodológicos do Lean na gestão da produção.

De forma geral, o *Digital Lean* é capaz de usar as soluções tecnológicas da Indústria 4.0 para detectar e eliminar proativamente possíveis desperdícios nos processos de produção, como espera, superprodução, defeitos e estoques. A visão do *Digital Lean*,

portanto, é conciliatória e permite considerar a Indústria 4.0 e o *Lean* como dois pontos de partida que as MPMEs podem adotar para o início da jornada, mas que precisam convergir: a Indústria 4.0 precisa de uma metodologia de produção, enquanto as metodologias de produção podem ser potencializadas por tecnologias digitais. O início pela transformação digital pode levar as MPMEs a repensar seus processos e enxergar mais claramente a necessidade de padronizar a manufatura, enquanto o início pelo Lean pode levar a uma necessidade de visualizar melhor as informações e os dados do fluxo de valor, abrindo oportunidades para a digitalização. Neste sentido, um estudo sobre empresas de médio porte no Brasil apontou que um critério balizador é que as implementações tecnológicas devem ser pensadas de modo a não enrijecerem sistemas, especialmente se o sistema não estiver suficientemente maduro. Assim, caso o sensoriamento, a verticalização das informações ou outra atividade relacionada com a transformação digital torne o processo impossível de aprimorar posteriormente, por meio das ferramentas de melhoria contínua do *Lean*, então a implementação tecnológica deverá se submeter à melhoria contínua dos processos e não o contrário. Desta forma, a decisão deveria ser do método de manufatura e não da tecnologia, embora isto não elimine a possibilidade de que a transformação tecnológica acarrete a melhoria do método de manufatura (*Lean*), ao contrário do que acontece mais usualmente.

Em conclusão, a transformação digital nas MPMEs pode ser um ponto de partida quando estas empresas ainda não possuem uma visão lean consolidada, mas esta não deve engessar o sistema de manufatura, porém desafiar a que este seja repensado e melhorado da perspectiva do *Lean*.

Conclusões

Este documento consolida uma série de etapas desenvolvidas que permitiram analisar o potencial de contribuição das tecnologias da Indústria 4.0 para as empresas de manufatura de micro, pequeno e médio porte (MPMEs). O estudo apresenta um caminho para a Indústria 4.0 para empresas de um porte em que ainda não é explorada, pois, até o momento, a Indústria 4.0 tem sido agenda prioritária apenas nas grandes empresas. Nesse sentido, os resultados apresentados demonstram a viabilidade de utilização de conceitos e tecnologias digitais, ao mesmo tempo em que pontuam as limitações das mesmas para um setor com particularidades e severas restrições orçamentárias. O projeto permitiu conduzir uma pesquisa com os atores representantes das MPMEs, sendo ouvidas as vozes de representantes setoriais, consultores experientes, e tecnólogos de protagonismo nacional. Assim sendo, este documento apresenta uma sistematização do estado da arte e das melhores práticas observadas tanto no Brasil quanto no âmbito internacional, sem perder o foco na realidade local dessas empresas.

Como principais resultados deste projeto, primeiramente foram definidos os desafios

de produtividade das MPMEs e as relações de prioridade e complexidade para sua abordagem. A partir desses desafios, foi realizada uma análise das principais tecnologias da Indústria 4.0 que apresentam potencial para contribuir com os desafios identificados para as MPMEs. Foram apresentadas nove soluções tecnológicas da Indústria 4.0, caracterizadas por serem “soluções de ponta a ponta”. Isto significa que as MPMEs não precisam ter especialistas em tecnologias da Indústria 4.0 em seu quadro de colaboradores para implementar as soluções exploradas. Considerando as limitações das MPMEs, estas soluções demandam a aquisição de equipamentos relativamente econômicos, que podem ser implementados de forma gradual, sendo que dados e análises avançadas são oferecidos pelos próprios fornecedores no formato de assinaturas acessíveis. Isso permite que as MPMEs diluam os custos ao longo do tempo e que possam sempre contar com atualizações e suporte dos fornecedores para o aprimoramento do uso da solução. Além disso, a análise dos resultados obtidos permite observar algumas características conclusivas do projeto que trazem importantes reflexões para a transformação digital nas MPMEs, que são destacadas a seguir.

Escalabilidade versus inovação nos programas de transformação digital para as MPMEs.

Durante o estudo, foi possível observar um importante dilema na promoção e implementação da transformação digital das MPMEs. Por um lado, o caminho mais sensato para a implementação de tecnologias digitais nestas empresas é através de um processo de maturidade gradual que se inicia com a organização produtiva, utilizando ferramentas da excelência operacional tais como o *Lean Manufacturing* (ver quadro 1 'Produção enxuta e a Indústria 4.0 nas MPMEs). Assim sendo, as empresas que poderiam implementar as tecnologias digitais aqui abordadas seriam aquelas que já possuem maturidade na gestão da manufatura, sendo

que a implementação de tecnologias digitais seria o passo posterior no avanço dessa maturidade, no qual as tecnologias digitais permitiram uma melhor exploração das práticas de gestão já definidas. Este é o caminho mais viável para o desenvolvimento de programas de desenvolvimento industrial, pois permite concentrar os limitados recursos disponíveis em setores e empresas mais maduros, que têm maior chance de sucesso na evolução para a transformação digital. Contudo, deve-se ter em consideração que este não é necessariamente o caminho ideal para toda MPMEs – trata-se de um caminho mais viável de implementação de larga escala, mas não necessariamente o melhor caminho para toda e qualquer empresa. Isto se deve ao fato de que a maior parte das MPMEs dificilmente pode alcançar em curto ou médio prazo maturidade suficiente nas práticas de gestão. Dessa forma, o contato com a inovação tecnológica torna-se distante e cria-se um círculo vicioso no qual a falta de contato com a inovação tecnológica torna as empresas mais defasadas e menos desafiadas a inovar e introduzir novos conceitos na manufatura. Este estudo evidencia que muitas tecnologias digitais são viáveis para as MPMEs, mesmo sem que estas estejam totalmente amadurecidas em todos os campos da gestão industrial e que, em muitos casos, a própria exploração e implementação dessas tecnologias possa conduzir a uma melhor sistematização dos processos industriais. Portanto, ao mesmo tempo que o estudo incentiva a promoção em escala de programas Lean e de Indústria 4.0, reconhece que há outra necessidade imediata para que as empresas tenham acesso a soluções inovadoras, como será pontuado no próximo tópico de reflexão desta conclusão.

Neste estudo, foi destacado o desafio orçamentário das MPMEs, que se torna uma das principais barreiras para a implementação da transformação digital em empresas desse porte. Uma alternativa é a exploração dos fornecedores de tecnologias para a Indústria 4.0. De forma geral, os estudos internacionais e nacionais concentram-se nas MPMEs como alvo dos investimentos para a promoção da transformação digital. Contudo, ao serem analisadas as tecnologias que essas empresas deverão implementar, observa-se não só uma limitação orçamentária, mas também a falta de alinhamento dessas soluções com o setor das MPMEs. Muitas tecnologias, como hoje concebidas, são amplas demais para satisfazer as necessidades pontuais das MPMEs. Por esse motivo, um caminho alternativo é que os próprios fornecedores de tecnologias sejam

alvo de desenvolvimento industrial para que tenham maior interesse pelo setor de MPMEs. Com essa abordagem, um grupo menor de empresas pode ser alvo de políticas de promoção para que estas ofereçam soluções factíveis e acessíveis para as MPMEs. Neste sentido, foi ressaltado no estudo o potencial das soluções tecnológicas servitizadas. Isto é, as MPMEs podem ter dificuldades para investir em tecnologias permanentes, mas poderiam ter acesso a elas em modalidades *pay-per-use* ou *pay-per-re-sults*, como já tem acontecido no fornecimento de muitos tipos de software, no formato software como serviço (SAAS – *software as a service*). Tais abordagens, já existentes no fornecimento da Indústria 4.0 de grande porte, poderiam ajudar as MPMEs a reduzir riscos tecnológicos e incentivá-las a buscar novas tecnologias para iniciar testes de inovação tecnológica nas atividades de manufatura. Além disso, esta seria uma forma de garantir o alinhamento das tecnologias desenvolvidas com as reais necessidades das MPMEs.

O papel das soluções servitizadas como modelo para o fornecimento de tecnologias para as MPMEs.

O papel dos consultores para implementar a jornada digital nas MPMEs.

MPMEs não possuem a cultura de trabalhar com consultorias, como as médias e grandes empresas. Isso torna as empresas muito mais fechadas e receosas em compartilhar informações com os consultores ou aceitar recomendações que podem implicar uma mudança de paradigma na empresa. Por isso, o perfil dos consultores exige, além de uma visão sistêmica, também habilidades comunicativas para saber conduzir este tipo de processo em empresas menos habituadas a processos formais de melhoria. Por este motivo, destaca-se a importância de desenvolver programas sistêmicos de formação que considerem todo o perfil das MPMEs e não só suas características técnicas.

O estudo apresenta o rol de consultores para facilitar a implementação de tecnologias e práticas da Indústria 4.0 nas MPMEs. Neste sentido, um grande desafio é que seja possível conciliar as principais necessidades das MPMEs com o perfil dos consultores disponíveis no mercado. Diferentemente das grandes empresas, as MPMEs costumam ter problemas muito mais sistêmicos e com causas raiz não tão evidentes. A falta de organização do sistema de produção pode gerar problemas em efeito cascata que exigem uma visão sistêmica por parte dos consultores. Ao mesmo tempo, as

Conforme explorado em detalhes no quadro 1 “A Produção Enxuta e a Indústria 4.0”, existe um debate recente sobre o qual destes dois conceitos devem vir primeiro nas empresas. Conforme apontado neste estudo, o ideal é, sem dúvidas, que as MPMEs implementem primeiramente conceitos da produção enxuta e depois as tecnologias. Porém, muitas das soluções tecnológicas apresentadas neste

estudo não necessariamente dependem de práticas enxutas, mas podem potencializar ou despertar o interesse das MPMEs em sua aplicação. Por si só, as tecnologias aqui apresentadas não resolvem os problemas das MPMEs, pois são as ferramentas de qualidade ou produção enxuta que realmente trarão os resultados. Por exemplo, foi relatado por uma MPME entrevistada que, antes da implementação do kit IoT para monitoramento da eficiência dos equipamentos, os gestores acreditavam que seu indicador de OEE fosse 80%, quando em verdade era 50%. Após a visibilidade trazida pelo dispositivo IoT, a empresa promoveu ações de melhoria que elevaram sua eficiência a um novo patamar, dessa vez medido com confiabilidade e aceito por todos na empresa.

O papel da Produção enxuta na Indústria 4.0.

Equipe de Projeto

NEO | UFRGS



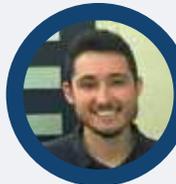
Prof. Dr. Alejandro G. Frank
Diretor geral



Prof. Dr. Néstor F. Ayala
Vice-diretor



Prof. Dr. Camila C. Dutra
Coordenadora institucional



Dr. Guilherme B. Benitez
Pesquisador



Laura V. Lerman
Pesquisadora

Ministério da Economia



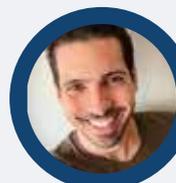
Jackline Conca
Subsecretária de Inovação de Transformação Digital



Felipe Augusto Machado
Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental
Coordenador-Geral de Economia 4.0 e Propriedade Intelectual



Marcos Vinícius de Souza
Analista de comércio exterior



Rafael Rosa Cedro
Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental



James Gorgen
Coordenador da Secretaria Especial de Produtividade e Competitividade (SEPEC)

Referências

1 - KLAUS SCHWAB. World Economic Forum. The Global Competitiveness Report: 2019. Geneva: The World Economic Forum, 2019. 666 p. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf.

2 - SCHWAB, Klaus et al. The Global Competitiveness Report: how countries are performing on the road to recovery. Geneva: The World Economic Forum, 2020. 95 p. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2020.pdf.

3 - OECD. OECD Digital Economy Outlook 2020. Paris: Oecd Publishing, 2020. 316 p. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/bb167041-en/index.html?itemId=/content/publication/bb167041-en>.

4 - OCED. Financing SMEs and Entrepreneurs 2019: An OECD Scoreboard. Paris: Oecd Publishing, 2019. 236 p. Disponível em: https://read.oecd-ilibrary.org/industry-and-services/financing-smes-and-entrepreneurs-2019_fin_sme_ent-2019-en#page4.

5 - OCED (França). Financing SMEs and Entrepreneurs: An OECD Scoreboard. Paris: Oecd Publishing, 2018. 240 p. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/sites/fin_sme_ent-2018-en/index.html?itemId=/content/publication/fin_sme_ent-2018-en.

6 - WILLIAM D. EGGERS. Global Technology Governance Report 2021: harnessing fourth industrial revolution technologies in a covid-19 world. Geneva: The World Economic Forum, 2020. 67 p. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Glo-

[bal_Technology_Governance_2020.pdf](#).

7 - PROGRAMA BRASIL MAIS. Disponível em: <https://brasilmais.economia.gov.br>.

8 - FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, v. 210, p. 15-26, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>

9 - SCHUH, G., ANDERL, R., DUMITRESCU, R., KRÜGER, A., & HOMPEL, M. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies*. Acatech study.

09 - WMS é a sigla para Warehouse Management System, traduzido como Sistema de Gerenciamento de Armazém.

10 - SALDIVAR, Alfredo Alan Flores, et al. Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective. In: 2015 21st international conference on automation and computing (ICAC). IEEE, 2015. p: 1-6.

11 - FAHMIDEDH, Mahdi; ZOWGHI, Didar. An exploration of IoT platform development. *Information Systems*, v. 87, p. 101409, 2020.

12 - PORTER, Michael E.; HEPPELMANN, James E. How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, v. 92, n. 11, p. 64-88. 2014

13 - GILCHRIST, Alasdair. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Apress, 2016.

14 - MCCARTHY, John. What is artificial intelligence?. 1998. GUNNING, David et al. XAI Explainable artificial intelligence. *Science Robotics*, v. 4, n. 37, 2019.

15 - NATIONAL ELECTRIC MANUFACTURES ASSOCIATION. Knowing the basics of PLCs. Disponível em: <https://www.ecmweb.com/content/article/20891093/knowning-the-basics-of-plcs>

16 - JESCHKE, Sabrina et al. Industrial internet of things and cyber manufacturing systems. In: Industrial internet of things. Springer, Cham, 2017. p. 3-19.

17 - RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

18 - BABICEANU, Radu F.; SEKER, Remzi. Big Data and Virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. Computers in industry, v. 81, p. 128-137, 2016.

19 - HAAG, Sebastian; ANDERL, Reiner. Digital twin-Proof of concept. Manufacturing Letters, v. 15, p. 64-66, 2018.

20 - GARRETT, Banning. 3D Printing: New economic paradigms and strategic shifts. Global Policy, v. 5, n. 1, p. 70-75, 2014.

21 - LI, Yumei; WAN, Li; XIONG, Tifan. Product data model for PLM system. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 55, n. 9-12, p. 1149-1158, 2011.

22 - TAO, Fei et al. Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, v. 48, p. 157-169, 2018.

23 - TEN HOMPEL, Michael; SCHMIDT, Thorsten. Warehouse management. Springer Berlin Heidelberg, 2008.

24 - CYBERSECURITY & INFRASTRUCTURE

SECURITY AGENCY. What is cybersecurity? 2019. Disponível em: <https://uscert.cisa.gov/n-cas;tips/st04-001>

25 - STUBBS, R. James et al. Evidence-Based Digital Tools for Weight Loss Maintenance: The NoHoW Project. Obesity Facts, p. 1-14, 2021.

26 - TAYNA, Thierry; STRIUKOVA, Ludmila; DARLINGTON, John. Co-creation and user innovation: The of online 3D printing platforms. Journal of Engineering and Technology Management, v. 37, p. 90-102, 2015.

27 - SCHUH, G., ANDERL, R., DUMITRESCU, R., KRÜGER, A. & HOMPEL, M. (2020). Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies. Acatech study.

Imagem de capa: Freepik.com, @macrovector

Projeto gráfico e diagramação: equipe de Design do NEO

Este documento foi produzido no âmbito do projeto de cooperação técnica entre o Ministério da Economia e o PNUD BRA/18/023 - Modernização da Economia e Promoção Qualificada do Comércio Exterior Brasileiro .

Os autores agradecem ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) [projeto BRA/18/023 – MDIC – SEPEC] pelo financiamento desta pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) [processo n. 422537/2021-7 e 315563/2020-6], à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) [processo n. 21/2551-0002161-6 e 21/2551-0000658-7] e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro recebido pelos pesquisadores.

Núcleo de Engenharia Organizacional
Departamento de Engenharia de Produção e Transportes
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 5º andar
90035-190 - Porto Alegre, RS - Brasil
Fone: +55 51 3308.3490
E-mail: neo@producao.ufrgs.br
www.ufrgs.br/neo

