

Análise das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 para potenciar a Economia Circular, a Descarbonização e a Transição Energética nas empresas

EcoEconomy 4.0

E-Book

Abril de 2021



Cofinanciado por:





Índice



#1 Introdução

- 1.1. Estrutura do documento
- 1.2. Projeto EcoEconomy 4.0
- 1.3. Objetivos e âmbito do EcoEconomy 4.0 para a Indústria 4.0 e o seu potencial aplicado à Economia Circular e à Descarbonização/Transição Energética



#2 Indústria 4.0 em perspetiva

- 2.1. Compreender o conceito
- 2.2. Tecnologias e princípios
- 2.3. Riscos e desafios
- 2.4. Iniciativas para a promoção da Indústria 4.0



#3 Indústria 4.0 e sustentabilidade

- 3.1. Indústria 4.0: um caminho para a sustentabilidade
- 3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular
- 3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização e a Transição Energética
- 3.4 Exemplos



#4 Conclusões

1. Introdução



1. Introdução

1.1. Estrutura do documento



#1



#1 Introdução

- 1.1. Estrutura do documento
- 1.2. Projeto EcoEconomy 4.0
- 1.3. Objetivos e âmbito do EcoEconomy 4.0 para a Indústria 4.0 e o seu potencial aplicado à Economia Circular e Descarbonização/Transição Energética



#2



#3



#4



#2 Indústria 4.0 em perspetiva

- 2.1. Compreender o conceito
- 2.2. Tecnologias e princípios
- 2.3. Riscos e desafios
- 2.4. Iniciativas para a promoção da Indústria 4.0



#3 Indústria 4.0 e sustentabilidade

- 3.1. Indústria 4.0: um caminho para a sustentabilidade
- 3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular
- 3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização e a Transição Energética
- 3.4 Exemplos



#4 Conclusões

O presente estudo tem por objetivo analisar quais as tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que podem potenciar a sustentabilidade, tanto através de intervenções em matéria de Economia Circular como em matéria de Descarbonização e Transição Energética. O estudo pretende também explorar como é que estas tecnologias são aplicadas no tecido empresarial e quais as suas contribuições para ambas as matérias já referidas.

O estudo insere-se no projeto EcoEconomy 4.0, dinamizado pela Associação Empresarial de Portugal (AEP), encontrando-se estruturado em **4 capítulos chave**.



#1 - Introdução - Neste capítulo são apresentados os objetivos e o âmbito do estudo, bem como o seu enquadramento no projeto EcoEconomy 4.0, que visa apoiar as PME em matéria de Economia Circular e de Descarbonização e Transição Energética, capacitando-as para promoverem o seu autodiagnóstico e desenvolverem os seus próprios roteiros de atuação.



#2 - Indústria 4.0 em perspetiva - Este capítulo tem como principal objetivo compreender o conceito da Indústria 4.0 e explorar como a mesma está a gerar uma revolução industrial diferente das anteriores. O capítulo dá a conhecer as diversas tecnologias que estão a emergir e a fazer esta 4ª revolução industrial e quais os riscos e os desafios desta nova era. A fim de perceber o papel da União Europeia para a promoção da digitalização são apresentadas iniciativas relevantes neste domínio.



#3 - Indústria 4.0 e sustentabilidade - Com o intuito de perceber como é que estas duas temáticas interagem, analisamos neste capítulo o papel das novas tecnologias disruptivas da I4.0 para a promoção da Economia Circular e da Descarbonização, através de exemplos, é possível observar como já várias empresas têm tirado partido destas tecnologias para reduzir o seu impacto ambiental.



#4 - Conclusões - Neste capítulo final pretende-se sistematizar as ideias de força do presente estudo e quais as tecnologias a ser aplicadas pelas empresas que têm um maior potencial na promoção da circularidade e da descarbonização.



1. Introdução

1.2. Projeto EcoEconomy 4.0

O projeto EcoEconomy 4.0 dinamizado pela AEP tem como objetivo a **promoção da adoção pelas PME de práticas inovadoras baseadas na sustentabilidade ambiental**, qualificando-as para um uso mais eficiente e eficaz dos recursos materiais e energéticos.

#1

#2

#3

#4

O EcoEconomy 4.0 engloba três domínios críticos na promoção da inovação e competitividade sustentável:



A qualificação, a inovação e a competitividade das PME dependem crescentemente da eficiência no uso de materiais e energia, onde os desafios da circularidade, da descarbonização e da transição energética são relativamente maiores, em virtude do maior peso relativo dos inputs na sua atividade.

As tecnologias da Indústria 4.0 permitem fomentar práticas mais sustentáveis e monitorizar de forma preventiva e corretiva aos perfis de consumo de materiais e energético das empresas.

As atividades nucleares do projeto são:

	Economia Circular	Transição Energética
Inteligência Estratégica		
Estudos de benchmarking internacional	✓	✓
Análise do gap nacional face a países de referência	✓	✓
Análise das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0	✓	✓
Desenvolvimento de ferramentas de suporte		
Estruturação de referenciais de avaliação	✓	✓
Desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico	✓	✓
Preparação de <i>toolkits</i> e guias de ação	✓	✓
Dinamização de ações de informação e ativação		
<i>Roadmap</i> de ações para a melhoria do desempenho	✓	✓
<i>Workshops</i> de ativação e dinamização junto das PME	✓	✓



1. Introdução

1.3. Objetivos e âmbito do EcoEconomy 4.0 para a Indústria 4.0 e o seu potencial aplicado à Economia Circular e Descarbonização/Transição Energética

#1

#2

#3

#4



Objetivos

- ▶ Diagnosticar a situação de partida das PME das regiões alvo (Norte, Centro e Alentejo) e as suas **necessidades mais prementes em matéria de sustentabilidade ambiental**, para definir as **áreas prioritárias de atuação** para as PME no âmbito da Economia Circular (EC), Descarbonização e Transição Energética (DTE) e colaborar num **roadmapping coletivo** nos domínios do projeto;
- ▶ Criar e disponibilizar **ferramentas de diagnóstico e autoavaliação** que permitam às PME fazer um **benchmarking setorial** e evidenciar as **áreas de intervenção com maior potencial** em termos económicos e ambientais (nesta linha, será produzida e disponibilizada informação de **benchmarking nacional e internacional** para inspirar soluções de EC e DTE inovadoras e aplicáveis a séries alargadas de empresas);
- ▶ **Divulgar** de uma maneira clara e estruturada os **conceitos subjacentes aos processos de EC e de DTE** e **desmistificar ideias erradas** que persistem nas mentes de empresários e gestores neste domínio para **aumentar a sua consciencialização**, procurando colocar os domínios de intervenção no centro da definição estratégica das PME em Portugal (à semelhança do que já acontece em termos de política pública);
- ▶ **Criar ferramentas (toolkits e guias de ação) que apoiem os gestores das PME** a traçarem os seus próprios roteiros individuais de **implementação de soluções para a EC e a DTE**, incluindo a correta avaliação e gestão de riscos na gestão de recursos, a identificação de processos críticos e a obtenção de financiamento, entre outros;
- ▶ Assegurar a **divulgação e disponibilização de toda a informação produzida**, seja por via de novos suportes a criar no âmbito do projeto, seja em repositórios de informação relevantes e já existentes (e.g. portal eco.nomia).



Âmbito

Em termos de âmbito e de focagem de atuação, o projeto EcoEconomy 4.0 inclui as seguintes atividades:

- ▶ **Inteligência estratégica** - Produção de conhecimento científico e tecnológico em torno dos domínios temáticos do projeto, bem como o levantamento e sistematização de casos de sucesso e boas práticas empresariais;
- ▶ **Desenvolvimento de ferramentas de suporte à EC e à DTE nas PME** - Criação de ferramenta de autodiagnóstico online que avalie a distância das PME a um objetivo de EC ou de descarbonização, incluindo a utilização de tecnologias digitais da indústria 4.0 estimuladoras dessa abordagem;
- ▶ **Dinamização de ações de ativação e informação da EC e da DTE nas PMEs** - Potenciar a utilização do conhecimento e ferramentas desenvolvidas através de um maior envolvimento das PME no processo, e promover as ações cooperativas nos domínios abordados pelo projeto;
- ▶ **Comunicação e disseminação de resultados do projeto** - Promoção do projeto junto do público-alvo (PME do Norte, Centro e Alentejo), desde a fase de planeamento ao encerramento do projeto e respetiva análise de impacto.

2. Indústria 4.0 em perspetiva





2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.1. Compreender o conceito

#1

#2

#3

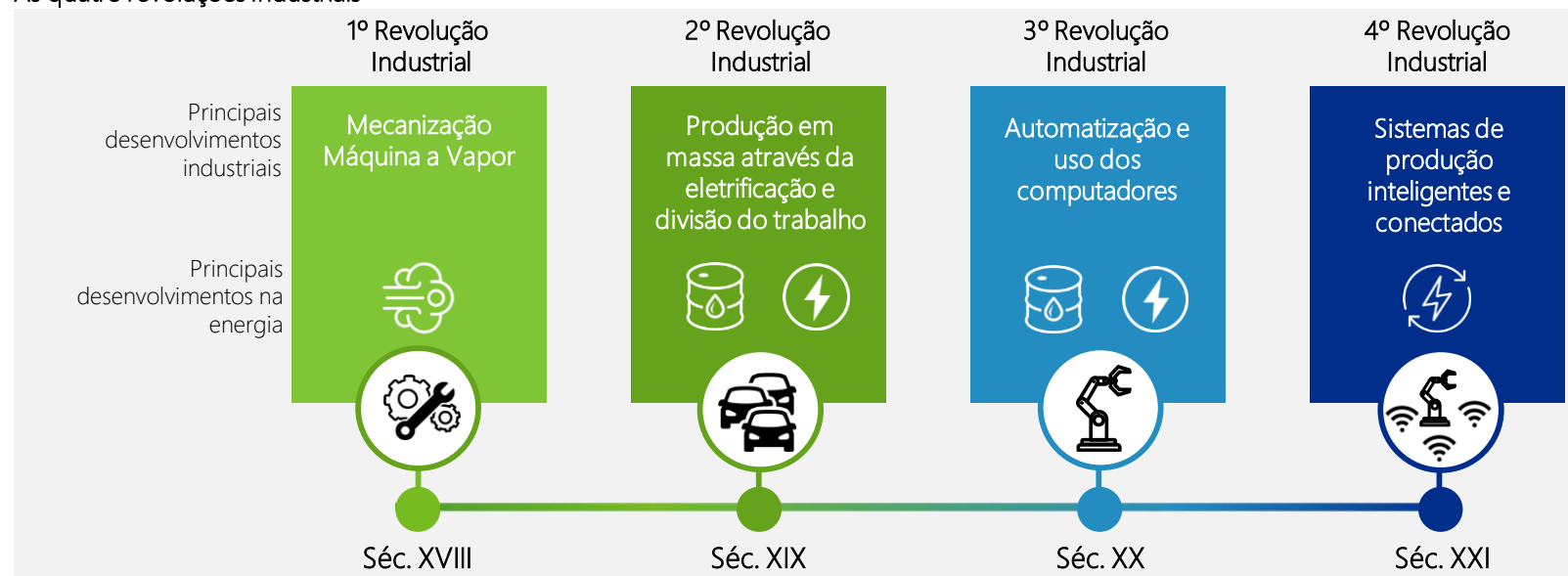
#4

A produção de produtos e bens sofreu 3 mudanças disruptivas no passado:

A **1ª revolução industrial** emergiu no final do século XVIII. Consistiu no avanço das máquinas a vapor e da mecanização de alguns processos e equipamentos. Quando os motores a vapor surgiram nas fábricas, estes permitiram a mecanização das tarefas com uma maior exigência física e, também, das tarefas que eram altamente repetitivas e rotineiras. Isto ajudou ao aumento da produtividade e à redução de custos de produção, o que permitiu também o aumento dos padrões de vida e o crescimento de cidades perto das fábricas. As máquinas a vapor também permitiram que a informação e as pessoas circulassem mais rapidamente, nomeadamente devido ao desenvolvimento da impressão e da ferrovia.

A **2ª revolução industrial** iniciou-se no final do século XIX com a introdução das linhas de montagem e do uso de eletricidade. As linhas de montagem passaram a ser alimentadas através de eletricidade gerada por fontes de energia como o petróleo e o gás. Este desenvolvimento permitiu grandes ganhos de eficiência, que se refletiram na produção de bens em massa.

As quatro revoluções Industriais



Fonte: EY-Parthenon, com base no United Nations Industrial Development Organization (2017), Accelerating clean energy through Industry 4.0 - Manufacturing the next revolution

A **3ª revolução industrial** surgiu após o fim da II Guerra Mundial, na década de 1970. Assentou no uso dos computadores e da automatização de processos, máquinas e serviços. Foi nesta revolução que foram introduzidas as aplicações eletrónicas e as tecnologias de informação na indústria, o que potenciou novas oportunidades para a automação e a engenharia, possibilitando novos avanços tecnológicos e o aumento da produtividade.

Por fim, na segunda década do século XXI surgiu um novo paradigma – o da Indústria 4.0 –, também conhecido por **4ª revolução industrial**. Foi introduzido em 2011, na Alemanha, e oficialmente declarado em 2013 como uma iniciativa alemã. Materializa-se na digitalização de diversos processos, produtos e serviços. Assenta na integração de diversas tecnologias inovadoras, transitando para sistemas industriais inteligentes, onde o mundo físico da indústria convencional é integrado com o mundo virtual da tecnologia digital e da internet. **As novas tecnologias emergentes são um dos elementos chave para a adoção e aceleração da transição para uma economia circular e descarbonizada.**



2. Indústria 4.0 em perspectiva

2.1. Compreender o conceito

#1

#2

#3

#4

Até hoje, em todas as revoluções industriais, foi possível aumentar a produtividade e eficiência, de forma a produzir mais com menos recursos. Em cada revolução industrial, a humanidade teve a oportunidade de reequilibrar a sua relação com a natureza e os ecossistemas, de forma a sustentar melhor a forma a vida no planeta e com um menor esforço devido aos ganhos de produtividade decorrentes das revoluções industriais. No entanto, as três primeiras revoluções industriais foram incentivadas por uma utilização massiva de recursos naturais.

Desde os anos 70 que a automação e a digitalização estabeleceram as bases para a 3ª Revolução Industrial. No entanto, a 4ª Revolução Industrial não corresponde a uma continuação linear da 3ª. A Indústria 4.0 (I4.0) está a derrubar as barreiras entre os domínios físicos, químicos e biológicos. **A escala e a volatilidade são superiores às revoluções industriais anteriores, levando por isso a inovações disruptivas.** A I4.0 vai provocar grandes mudanças políticas na gestão de resíduos, recursos, informação e criação de valor, influenciada por **3 importantes fatores: tempo, lugar e função.**

A presente revolução industrial não será como as anteriores. Caso a I4.0, a par do que aconteceu com as anteriores revoluções industriais, acelerasse o esgotamento de recursos e a poluição, as consequências seriam desastrosas. A I4.0 usa novas ferramentas, tecnologias e canais de comunicação, endereçando assim à sociedade um contributo para um **futuro mais justo e sustentável.**

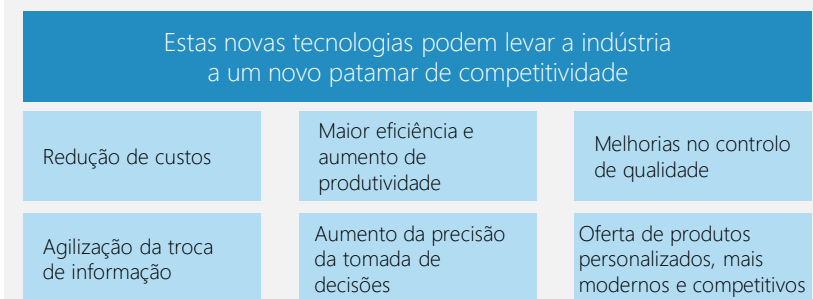
Esta nova revolução industrial traz oportunidades inimagináveis para a eficiência energética e dos recursos. **No contexto da competitividade empresarial, é essencial que haja uma preocupação com fatores ambientais e com o crescimento e adoção de novas tecnologias.** A 4ª revolução industrial permite um desenvolvimento tecnológico que conduz à prosperidade, à melhoria das condições de vida e a um mundo mais sustentável.

A I4.0, muitas vezes referida como “digitalização”, refere-se às novas tecnologias emergentes que levam a uma mudança de paradigma na produção industrial. Estas novas tecnologias são uma oportunidade de desenvolver modelos de negócio completamente novos, baseados na enorme quantidade de dados existentes gerados através de todo o ciclo de vida dos processos operacionais, desde a produção, fase de uso e até ao fim de vida do produto.

No futuro, as cadeias de abastecimento e os processos de produção industriais digitais vão conectar os trabalhadores, as máquinas e os seus componentes, os materiais, os objetos a serem fabricados e, até mesmo, a logística, tudo isto através da contínua troca de dados. As **máquinas e os objetos começam a ter cada vez mais uma identidade digital** e vão ter a habilidade de comunicar e informar “inteligência”. Desta forma, **as fábricas vão-se tornar auto-organizadas e dirigidas**, pelo que uma maior variedade de produtos pode ser adaptada aos desejos dos consumidores.

Vantagens da I4.0 para a indústria e para o setor empresarial

A I4.0 é fundamentada na combinação de diferentes tecnologias que **aumentam a produtividade industrial e possibilitam novos modelos de negócio disruptivos.**



A I4.0 proporciona um grande nível de flexibilidade. Isto significa que o custo de produzir um produto customizado não será significativamente mais alto que a produção em massa no cenário atual. As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) estão a transformar os sistemas produtivos e as empresas, através do uso acrescido de “softwares” para aumentar a produtividade, a flexibilidade produtiva e a diversidade de produtos, reduzindo os custos de produção.

A I4.0 pode mudar fundamentalmente a maneira como os bens são desenvolvidos, produzidos e consumidos e pode, também, influenciar o desenvolvimento de novos modelos de negócio, serviços e comportamentos.



2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.1. Compreender o conceito

#1

#2

#3

#4

A forma como vivemos, trabalhamos e interagimos uns com os outros tem vindo a mudar de forma paradigmática. A digitalização introduz todo um novo mundo de oportunidades para a transformação da sociedade, com avanços em campos como a Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT), os veículos autónomos, a robótica avançada, a impressão 3D e o *blockchain*, que está cada vez mais incorporado na nossa vida diária, melhorando a forma como funcionamos em sociedade. Quanto mais desdobramos a I4.0, mais esta recria os sistemas económicos e entrega novos modelos de negócio.

Nos últimos anos, as tecnologias digitais têm-se propagado cada vez mais nos processos de produção e fabricação. A I4.0 representa o paradigma da produção atual e combina as TIC com as tecnologias da manufatura digital. Idealiza uma visão onde o mundo físico da produção industrial se encontra com o mundo digital das tecnologias de informação, ou seja, a criação de uma produção industrial digitalizada e interconectada, também conhecida como Sistema Ciber-Físico (CPS). As cadeias de valor passam a estar altamente integradas e suportadas em novas realidades digitais muito diversas e cada vez mais utilizadas na indústria, como a IoT, a robótica, a Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence* – AI) e a *Big Data*.

Um segmento de atividade que tem vindo a registar significativas mudanças é o da logística, dado que um grande número de tendências digitais, como a *e-mobility*, a condução autónoma e os armazéns digitais convergem sob o termo comum da logística inteligente. As tecnologias digitais estão a mudar a forma como os fornecedores e clientes se relacionam ao longo das cadeias de valor, a reformatar a lógica de “poder” e “influência” das empresas nesse âmbito e mesmo a desafiar a delimitação das várias cadeias de valor.

A digitalização não está apenas a redefinir a forma de se fazer negócios dentro de cada indústria, mas também a expandir ou esbater os próprios limites das indústrias.

A digitalização dos negócios está a ser feita sobretudo nas empresas de maior dimensão, unidades fabris e em *startups*. No entanto, a massificação da adoção de tecnologias digitais nos processos de fabrico pode ser alcançada mesmo nas PME, graças a duas tendências: redução do custo de acesso a estas tecnologias e a combinação entre tecnologias digitais que permitem novas aplicações.

Isto deve-se à nova forma de distribuir os produtos e serviços digitais, passando de uma lógica de *product-centric* para uma lógica de solução integrada *customer-centric*, que envolve a criação de ecossistemas onde várias indústrias estão presentes.

A 4ª Revolução Industrial promete várias oportunidades para o desenvolvimento económico. No entanto, os impactos a longo-prazo são ainda incertos. O conceito de I4.0 implica a ativação de um conjunto alargado de novas tecnologias que, como já vimos, transformam modelos de negócio e respetivas componentes (e.g. produto, processos, canais).

Além de potenciar novos modelos de negócio e transformar os atuais, a I4.0 surge num cenário de desafios globais urgentes, onde pode ter um papel fundamental, nomeadamente nas alterações climáticas, na falta de acesso a energia limpa, na estagnação económica e na redução da divisão digital.

Estas novas tecnologias de ponta têm, por isso, um papel potencial forte na temática da sustentabilidade, designadamente em matéria de:

Aumento da utilização de energias renováveis na fabricação

Redução das emissões de GEE

Otimização do uso de energia



2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.2. Tecnologias e princípios

#1

#2

#3

#4

A I4.0 materializa-se na transformação digital dos processos industriais, onde dados heterogéneos são partilhados entre o ambiente físico e o ambiente real. O termo “digitalização” compreende um número variado de tecnologias disruptivas: IoT, *Big Data*, AI, *Cloud Computing*, Sistemas Ciber-Físicos, Blockchain, Fabricação Aditiva ou Impressão 3D, Realidade Aumentada e Robôs Autónomos.

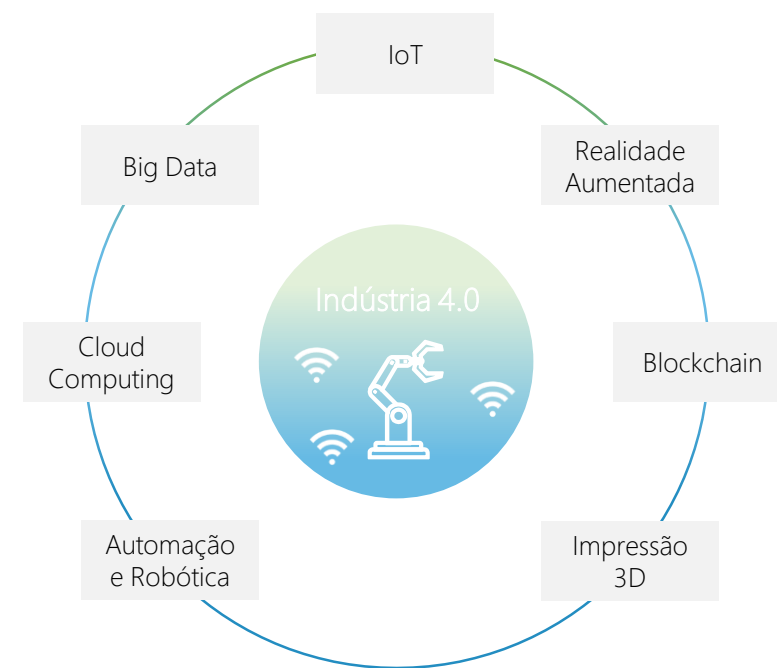
A “fábrica” da I4.0 funciona de forma inteligente através destes dispositivos que minimizam o envolvimento humano. Os processos de produção são digitalizados e automatizados com o suporte de tecnologias disruptivas. A I4.0 potencia a mobilidade através do suporte da IoT, assim como a privacidade e a segurança. Os dispositivos IoT também aproveitam o conceito de mobilidade para melhorar o tempo e a eficiência, reduzir os custos e desenvolver a relação entre consumidores e produtores. A implementação de tecnologias disruptivas e o investimento na formação dos trabalhadores para aprenderem a lidar com estas novas ferramentas digitais é uma das maiores barreiras para as “fábricas inteligentes”. Os robôs autónomos otimizam a produção, assim como a integração horizontal, aumentando assim a eficiência no fluxo de materiais. A segurança cibernética e o armazenamento na nuvem podem permitir a troca de informação entre empresas com uma maior eficiência e segurança.

Ao mesmo tempo, podem vir a impulsionar a integração horizontal e vertical entre indústrias de diferentes setores.

A IoT e a *Big Data* têm um papel fundamental para a produção logística. Estão focadas na implementação e inovação de produto, de técnicas e de tecnologia e na inovação organizacional. A AI é crítica para compilar, analisar e organizar quantidades enormes de dados de forma a que através destes seja possível detetar padrões e verificar previsões. Com sistemas de *Big Data* e ferramentas apropriadas, estes oceanos de dados podem fornecer informação muito significativa. Informação detalhada no tempo e no espaço sobre padrões coletivos do comportamento dos seres humanos, por exemplo.

Diferentes fábricas requerem diferentes configurações e desenvolvimentos de dispositivos inteligentes, o que requer custos de investimento e também tempo. A tecnologia de sensores permite a geração de dados inteligentes e permite a funcionalidade de auto-monitorização e auto-configuração.

A I4.0 dependerá desta tecnologia de sensores, sendo que a sua operacionalização tem a capacidade de capturar dados, detetar erros e falhas e comunicar de forma inteligente.



O número de dispositivos conectados que estão em uso em todo o mundo são agora mais de 17 mil milhões.

Fonte: United Nations Industrial Development Organization (2017), *Accelerating clean energy through Industry 4.0 - Manufacturing the next revolution*



2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.2. Tecnologias e princípios

#1

IoT

Mencionada pela primeira vez por Kevin Ashton, em 1999, a IoT é um conceito que descreve a nova internet. Segundo o Centro Nacional de Cibersegurança, a IoT compreende todos os aparelhos e objetos que se encontram habilitados a estarem permanentemente ligados à Internet e que são capazes de se identificar na rede e de comunicar entre si. Os dispositivos IoT têm capacidade de recolher um elevado número de informação sobre o que os rodeia, com ou sem o envolvimento ativo de seres humanos. As aplicações industriais da IoT incluem o uso de sensores para monitorizar continuamente processos e assegurar a manutenção em tempo real e até mesmo preventiva, reduzindo assim os custos e permitindo melhorias dos padrões de segurança e qualidade. O número de dispositivos IoT que estão em uso a nível global são agora mais de 7 mil milhões (este número exclui smartphones, tablets, computadores ou telefones fixos). O número de dispositivos IoT é esperado crescer muito, pelo que em 2025 deveremos contar com 22 mil milhões de dispositivos IoT. O mercado global da IoT era, em 2018, de 151 mil milhões de dólares e espera-se que em 2025 este valor seja já de 1567 mil milhões de dólares, segundo a *International Solid Waste Association (ISWA)*.

#2

Realidade Aumentada

Interação entre o ambiente físico e virtual através de uma tecnologia de visualização, câmara, sensores de movimento e interface do utilizador. Um dos grandes potenciais da Realidade Aumentada (*Augmented Reality – AR*) é no setor terciário. A aplicação da AR para fins de manutenção pode ajudar a conectar o cliente aos especialistas, sem a necessidade de se deslocarem fisicamente. Através desta abordagem, a AR também permite oportunidades económicas para pequenas empresas, designadamente *startups*, que desejam vender os seus produtos/serviços em todo o mundo, mas que não conseguem e não têm capacidade financeira para estabelecer uma rede de serviços global.

#3

Big Data

Big data é um termo frequentemente usado para descrever conjuntos de dados caracterizados por grandes volumes de informação, de grande variedade, processados a alta velocidade e para os quais o uso de ferramentas analíticas avançadas é necessário para o seu processamento e transformação em informação útil, permitindo identificar padrões, tendências e relações. Com a utilização de *Big data* é possível planear e controlar em simultâneo as operações de fabricação em unidades de produção extremamente complexas. Além disso, esta tecnologia pode ser aplicada no apoio à promoção da sustentabilidade, por exemplo, através da produção de estatísticas relevantes que permitam a tomada de decisões mais informadas, tanto a nível económico como ambiental ou social. A recolha e o uso destes dados podem contribuir para: (i) entender melhor as operações do negócio e fornecer avaliações de desempenho mais completas; (ii) transformar a organização de uma postura reativa para uma postura mais pró-ativa, no que diz respeito à tomada de decisão no negócio, através do uso de análises preditivas; (iii) melhorar o atendimento ao cliente por meio da utilização de dados para construir uma base de conhecimento mais coerente e, assim, um melhor entendimento das necessidades do cliente; (iv) otimizar infraestruturas circulares, modelos de negócios e sistemas de produtos/serviços.

#4





2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.2. Tecnologias e princípios

#1

Fabricação Aditiva

A fabricação aditiva, por vezes designada de Impressão 3D, inclui um grupo de tecnologias complementares (e.g. *computer-aided design*, *additive-layers manufacturing*) que permite a prototipagem de produtos e, também, de peças de reposição em impressão 3D. Estas tecnologias, através da prototipagem rápida, permite que peças e protótipos sejam produzidos rapidamente, em comparação com as técnicas mais tradicionais.

Em 2017, a indústria global de 3D estava avaliada em 7,3 mil milhões de dólares, tendo crescido consideravelmente ao longo dos anos. Em 2020, era esperado que ultrapassasse os 21 mil milhões de dólares, segundo o *Technologies and policies to decarbonize global industry: Review and assessment of mitigation drivers through 2070*.

#2

Automação e Robótica

A Automação e Robótica materializam-se em processos pelos quais as máquinas ou sistemas são capazes de executar tarefas sozinhos. Os robôs são usados para executar trabalhos de alto risco que antes eram executados pelos humanos. Estas tecnologias são de especial relevância para os automatismos industriais e potenciam a precisão e a produtividade, contribuindo assim para fábricas muito mais eficientes. É também de destacar que podemos distinguir 3 diferentes modelos de automação: fixa, programável e flexível.

#3

Cloud Computing

Serviço virtual onde os dados são armazenados numa plataforma acessível através da internet, com acesso omnipresente e com capacidade flexível às necessidades do cliente. Os serviços de *Cloud Computing* são um dos fatores favoráveis à redução dos custos proporcionada pelas tecnologias digitais. Entregam uma flexibilidade ímpar às empresas e permitem dimensionar o investimento à escala da empresa, através de soluções pagas *on demand* e/ou pagas por utilização.

#4

Blockchain

Tecnologia para encriptar dados. Assenta em bases de dados distribuídas e *ledgers* em blocos que são armazenados num grande número de máquinas, de forma a que qualquer alteração que seja feita na base de dados seja registada permanentemente. Permite uma maior segurança, adequando a transmissão de informação entre os agentes da cadeia.

Princípios da I4.0

Modelagem e simulação

Uso de recursos computacionais para simulação e criação de modelos que repliquem ambientes de fábrica e/ou peças. Pode acontecer através do uso da realidade virtual.

Produção digital

Aplicação avançada de processamento de dados, bem como tecnologias na nuvem, que permite níveis superiores de automação.

Segurança digital

Código de conduta para a segurança de informação de forma a evitar a perda de clientes e contratos, danos de imagem e destruição de propriedade intelectual.

Integração de sistemas

A integração é um dos fatores diferenciadores da I4.0. Pode ser integrada verticalmente entre recursos da fábrica ou horizontalmente entre diversos membros da cadeia de abastecimento.

Sistemas ciber-físicos

São sistemas computacionais e colaborativos que têm a capacidade de ter uma forte relação com o mundo físico envolvente. Esta capacidade é proporcionada através de tecnologias IoT e Internet de Serviços (IoS). Os sistemas ciber-físicos permitem a monitorização de processos físicos, criação de cópias virtuais do espaço físico e execução de decisões descentralizadas.



2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.3. Riscos e desafios

#1

#2

#3

#4

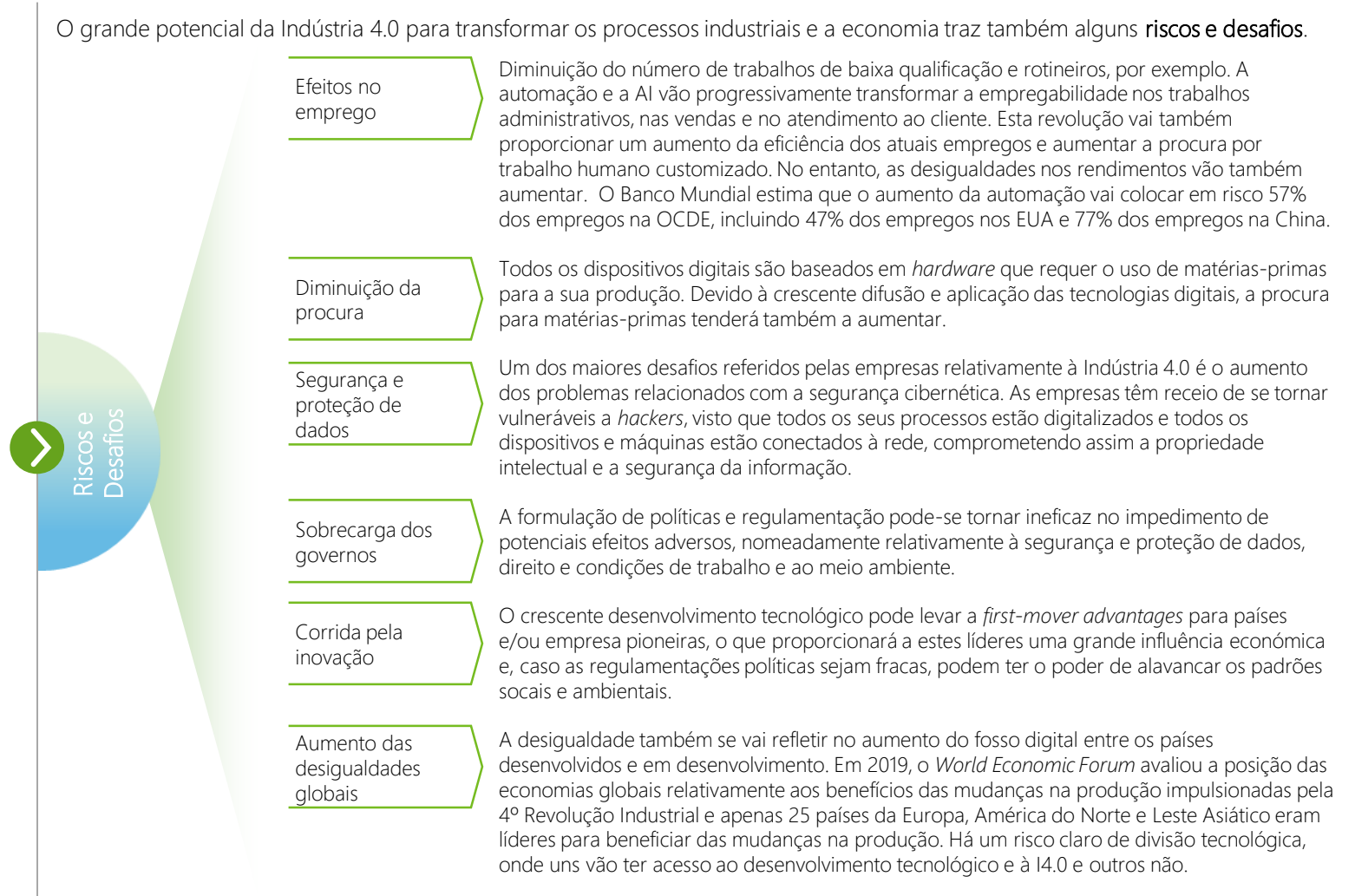
É difícil prever como é que a I4.0 vai afetar o planeta, contudo, esta revolução industrial tem-se vindo a **desenvolver a um ritmo mais rápido e agressivo** do que as 3 revoluções industriais anteriores e, por esse motivo, esta revolução está a ser **mais rápida do que a velocidade a que os governos se conseguem adaptar**.

Apesar das muitas dúvidas que existem sobre a I4.0, só os governos e o enquadramento político e regulamentar que criarem poderão desbloquear os benefícios e reduzir os problemas.

Novos princípios, protocolos e regras são necessários para acelerar os impactos positivos destas novas tecnologias e eliminar as consequências negativas. O sucesso da I4.0 envolve uma revolução na governação a todos os níveis: cooperação internacional, nacional, regional, municipal e empresarial.

Apesar da I4.0 possibilitar níveis extraordinários de inovação e conhecimento, esta também está a contribuir para um aumento da desigualdade. Associado à revolução digital existe um conjunto de fatores socioeconómicos, demográficos e financeiros, que estão a causar consequências indesejáveis. **O desenvolvimento tecnológico pode acelerar facilmente o esgotamento de recursos e a poluição, criando um futuro com um maior desperdício.** Estes riscos e desafios impostos pela I4.0 encontram-se detalhados de seguida.

O grande potencial da Indústria 4.0 para transformar os processos industriais e a economia traz também alguns **riscos e desafios**.





2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.3. Riscos e desafios

É nas médias e grandes empresas que as tecnologias digitais são cada vez mais adotadas e integradas nos processos de fabricação, permitindo assim uma otimização dos mesmos. Contudo, as PME também têm vindo a explorar as oportunidades e os benefícios que a digitalização lhes pode trazer.

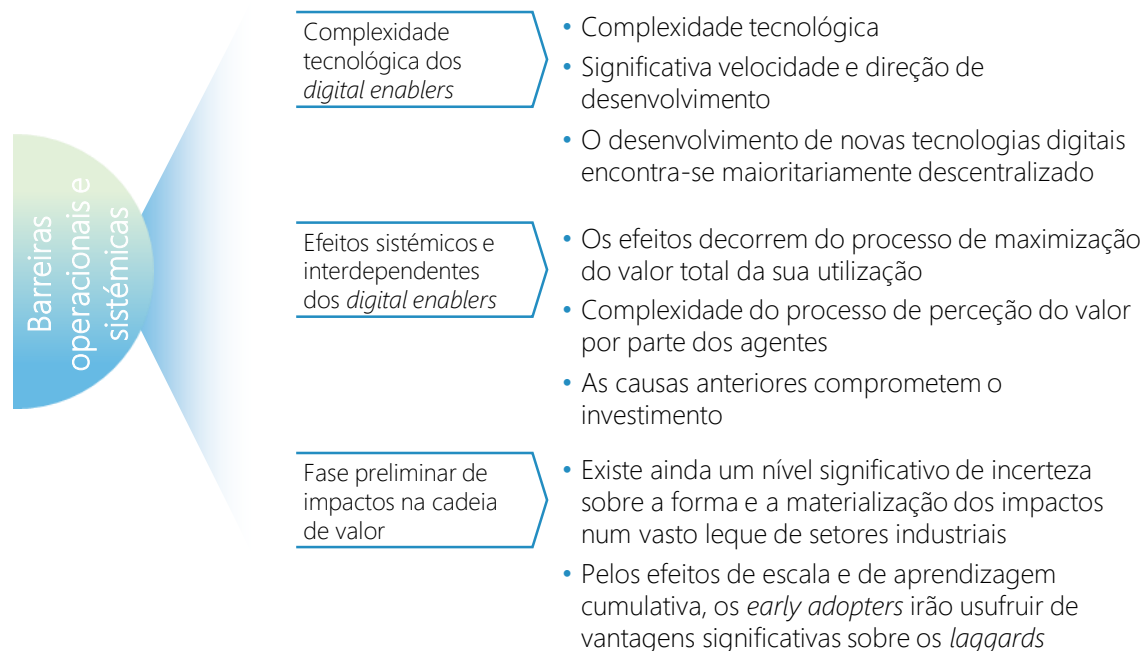
No entanto, os principais desafios à adoção da I4.0 afetam principalmente o universo das PME. As PME são, por definição, as mais atingidas pelas falhas de mercado, quer pela sua menor preparação tecnológica de base para operar em ambientes tecnológicos complexos e disruptivos, quer pela sua menor capacidade de acesso ao conhecimento de base tecnológica, estratégica e prospetiva.

#1

#2

#3

#4



Estas barreiras existem devido às falhas de mercado ainda existentes:

Assimetrias de informação

Decorrem da complexidade da informação difundida e da diferente capacidade dos agentes envolvidos para a processar de forma efetiva e para suportar a tomada de decisões

Elevados custos de transação

Decorrentes das assimetrias referidas e dos seus impactos na capacidade dos agentes interagirem e negociarem por forma a maximizarem o proveito de tecnologias interdependentes

Externalidades: efeitos de escala e aceleração

Pelo facto de existirem efeitos de escala e aceleração no desenvolvimento e adoção destas tecnologias digitais, cujo benefício económico geral não é integralmente capturado pelos agentes nas suas decisões individuais de investimento



2. Indústria 4.0 em perspectiva

2.4. Iniciativas para a promoção da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 ganhou atenção em todo o globo, dado o potencial de digitalização da indústria. Por esse motivo, podemos ver que há um aumento das iniciativas nacionais e regionais que apoiam a promoção da I4.0 e que lidam com a fabricação inteligente e a produção digital. Podemos destacar:

#1

#2

#3

#4



A **Plattform Industrie 4.0** na Alemanha, uma das principais iniciativas na Europa. É liderada pelo Ministério Federal dos Assuntos Económicos e da Energia, assim como da Educação e da Investigação. Esta iniciativa tem como principal objetivo expandir a posição de liderança alemã na indústria internacional. A plataforma reúne os altos-membros da indústria, ciência e sindicatos, garantindo assim um espaço de transferência e conhecimento entre diferentes entidades e permitindo desenvolver recomendações, para todos os *stakeholders*, com vista a ultrapassar os desafios da I4.0, nomeadamente nas PME.



O **Industrial Internet Consortium** foi fundado, em 2014, nos EUA. Conecta diversas organizações interessadas no desenvolvimento, aplicação e testagem de tecnologias necessária para a acelerar o crescimento da Internet Industrial, identificado assim *best practices*. É de destacar que este consórcio também está aberto a empresas não americanas.



A estratégia **Made in China 2025** tem como principal objetivo modernizar a capacidade industrial da China. Esta estratégia adotou como principal foco a fabricação inteligente em 10 setores estratégicos e tem como meta assegurar a posição da China como a grande potência em indústrias altamente tecnológicas. Esta iniciativa foi inspirada na inciativa alemã, *Plattform Industries 4.0*.

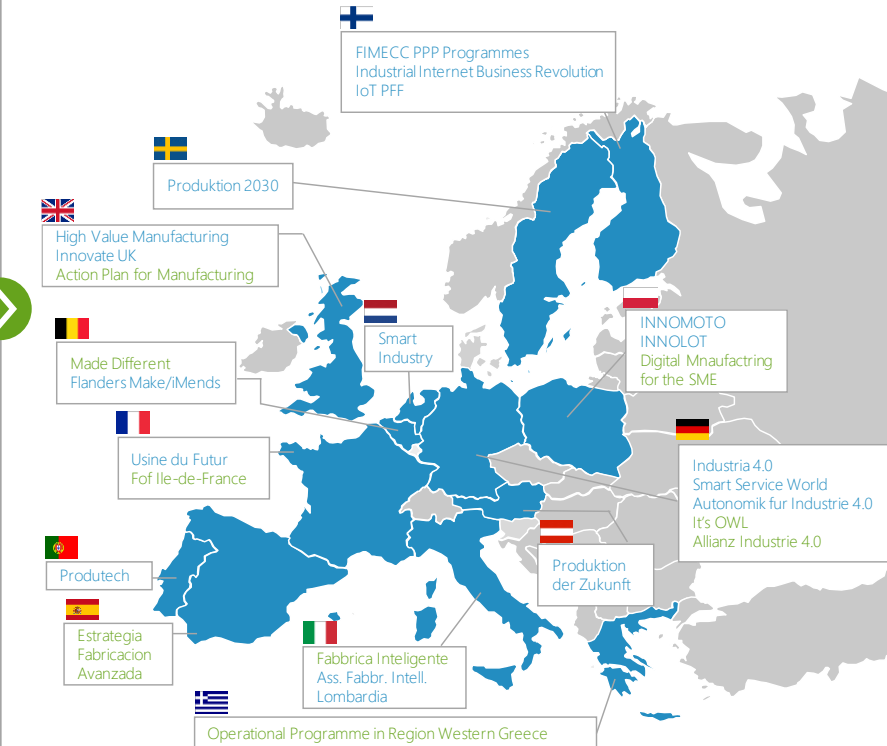


A **Industrial Value Chain Initiative** no Japão foi igualmente criada em consequência da iniciativa alemã. É uma iniciativa que reúne diversas entidades industriais, onde são realizadas várias atividades para projetar uma nova sociedade na qual a fabricação e as tecnologias da informação estão integradas.

A digitalização e a Indústria 4.0 são também um grande tópico para o G20, que abrange 19 das mais importantes economias dos países industrializados e da UE. Em 2017, a digitalização foi discutida pelo G20, sob a presidência alemã, onde foram abordados os seguintes tópicos: criação e aplicação de normas e padrões comuns, proteção e segurança de dados, transparência, a importância da digitalização como oportunidades para os países em desenvolvimento e os potenciais riscos provenientes das tecnologias digitais e da inovação.

Na União Europeia existem mais de **30 iniciativas**, nacionais e regionais, relacionadas com a Indústria 4.0. Estas iniciativas são apoiadas pelas ações que têm como objetivo a criação de um **Mercado Único Digital** para a Europa.

Iniciativas nacionais e regionais para a I4.0



Iniciativas Nacionais a Azul; Iniciativas Regionais a Verde

Fonte: EY-Parthenon, com base no United Nations Industrial Development Organization (2017), *Accelerating clean energy through Industry 4.0 - Manufacturing the next revolution*

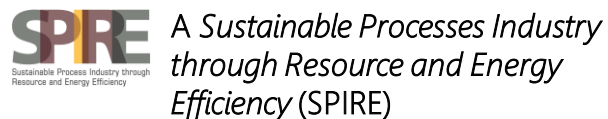


2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.4. Iniciativas para a promoção da Indústria 4.0

A União Europeia apresenta diversas iniciativas para a digitalização da indústria:

#1



Foi lançada em 2012 como parte do programa Horizonte 2020, representa mais de 130 *stakeholders* da indústria de processos industriais e da investigação de mais de 12 países da UE. Através de plataformas tecnológicas europeias e associações industriais, esta iniciativa abrange as indústrias química, cerâmica, engenharia, entre outras.

Estas parcerias visam desenvolver tecnologias eficientes e soluções mais práticas para as cadeias de abastecimento de produção em grande escala, de forma a **melhorar a eficiência dos recursos e a eficiência energética**. O financiamento para a investigação e as metas associadas estão sumariadas no plano de ação para 2020-2030.

#2



É uma iniciativa da Comissão Europeia para apoiar os fabricantes europeus, incluindo PME, para a adoção de tecnologias de informação e comunicação de forma a atender às suas necessidades de acesso à tecnologia, infraestruturas e novos mercados. A iniciativa contou com um orçamento de **77 milhões de euros** e foi lançada em 2013.

Esta iniciativa **abrange 4 principais áreas**: Robótica, Serviços de Simulação baseados na HPC *Cloud*, Aplicações baseadas em laser e Equipamento baseado em setores inteligentes.

A iniciativa opera por meio de **2 principais instrumentos**: 7 projetos de TIC nas áreas mencionadas anteriormente e partilha de *best practices*, incluindo a apresentação de resultados experimentais.

#3



Vanguard

A '*Vanguard Initiative for New Growth through Smart Specialisation*' tem como principal objetivo ajudar as regiões europeias a desenvolverem-se, nomeadamente através da promoção da inovação empresarial e da renovação industrial. Tem como objetivo facilitar a **criação de parcerias para apoiar PME inovadoras** e os **ecossistemas de inovação regionais**.

A iniciativa visa realizar investimentos para ajudar a Europa a liderar em novas indústrias e a desenvolver mercados piloto. Tem como principal papel a coordenação, garantindo assim que as estratégias/prioridades de investimento estão alinhadas a nível regional para suportar o surgimento de clusters de especialização, e também a internacionalização destes clusters.

#4

Colaborações inovadoras entre o setor público e privado podem ajudar os países a implementar com sucesso as tecnologias da Indústria 4.0 e os processos de fabricação. O setor privado tem um papel fundamental no estabelecimento de padrões tecnológicos, soluções financeiras e incentivos direcionados para acelerar melhorias. O setor público é responsável por criar políticas sensatas para que a sociedade e os negócios possam florescer dentro deste novo paradigma.



2. Indústria 4.0 em perspetiva

2.4. Iniciativas para a promoção da Indústria 4.0

A União Europeia apresenta diversas iniciativas para a digitalização da indústria:

#1



Smart Anything Everywhere

SmartAnythingEverywhere

Conjunto de iniciativas de inovação lançadas no 7º Programa-Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da União Europeia e expandidas no Horizonte 2020. Estas iniciativas apoiaram as PME na criação de valor digital. O orçamento foi de **25 milhões de euros** e suportou 23 centros de competência europeus na cadeia de abastecimentos de componentes e sistemas em 11 Estados-Membros em 2015. **Atualmente apoia 200 PME.**

#2

#3

#4



Factories of the Future

Factories of the Future
Public Private Partnership

A Comissão Europeia investe significativamente na digitalização da indústria através do programa *Factories of the Future*. Esta é uma parceria público-privada (PPP) da União Europeia de 1,15 mil milhões de euros para investigação e inovação em produção avançada. **É o principal programa da União Europeia para a realização da próxima revolução industrial: a materialização das fábricas 4.0.**

Iniciativa Nacional para a digitalização da indústria:



Produtech

Robustecer a eficiência coletiva e a inteligência estratégica ao serviço da expansão, do alargamento e da qualificação da Fileira Portuguesa das Tecnologias de Produção (FTP) em áreas fortemente dinâmicas e inovadoras, bem como desenvolver e promover a sua oferta e a sua imagem a nível nacional e internacional.

Objetivos: (i) Qualificar as empresas da FTP e a sua articulação; (ii) Promover e captar investimentos estratégicos; (iii) Promover a inserção do cluster em redes globais e (iv) Valorizar a produção nacional das tecnologias de produção.

Indústria 4.0 associada à sustentabilidade



A organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma organização especializada das Nações Unidas que tem como **principal objetivo promover e acelerar um Desenvolvimento Industrial Inclusivo e Sustentável.**

A UNIDO tem 4 prioridades programáticas:

- (i) Criar prosperidade partilhada;
- (ii) Aumentar a competitividade económica;
- (iii) Salvaguardar o meio ambiente;
- (iv) Fortalecer o conhecimento e as instituições.

Dado que são necessários grandes investimentos para que as empresas implementem tecnologias da I4.0, a UNIDO desempenha um papel facilitador, garantindo **apoio financeiro para que as PME explorem estas tecnologias alternativas.** Este apoio ajuda na coordenação de mecanismos de financiamento de projetos altamente complexos de transformação do mercado financeiro, que vão **melhorar a eficiência energética industrial** nas indústrias pesadas.

3. Indústria 4.0 e sustentabilidade





3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.1. Indústria 4.0: um caminho para a sustentabilidade

A Transição Energética e a Economia Circular partilham importantes características com a I4.0 que podem ser interligadas de forma a prosseguir uma transição justa. Esta visão integrada da I4.0 e do desenvolvimento sustentável pode ser guiada pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que apresentam a definição de metas importantes para a energia, ação climática e outros objetivos estratégicos. A I4.0 tem, por isso, o potencial de ajudar a cumprir os ODS, nomeadamente a energia limpa e acessível (ODS 7), Indústria, inovação e infraestruturas (ODS 9), Produção e consumo sustentáveis (ODS 12) e Ação climática (ODS 13). **Estes ODS vão ser essenciais para promover a eficiência energética na indústria, aumentar o uso das energias renováveis, promover a Economia Circular, descentralizar os sistemas de energia e desenhar a política climática. A I4.0 pode ajudar a promover e atingir estas metas.**

#1

#2

#3

#4



Energia limpa e acessível. O objetivo é garantir o acesso a energia acessível, confiável, moderna e sustentável para todos até 2030. Isto inclui aumentar a percentagem de energias renováveis e aumentar a taxa global de melhoria de eficiência energética para o dobro.



Indústria, a inovação e as infraestruturas. Tem como objetivo construir infraestruturas resilientes e promover uma industrialização inclusiva e sustentável, e também promover a inovação. Uma das principais metas é aumentar a percentagem de emprego na indústria e a proporção do valor acrescentado da indústria em relação ao PIB. Além disso, este ODS promove o aumento do acesso às TIC e à Internet nos países menos desenvolvidos.



Consumo e produção responsáveis. Até 2030, procura reduzir substancialmente a criação de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização. Procura também incentivar as empresas a adotar práticas sustentáveis e integrar a informação sobre sustentabilidade nos relatórios de atividade. Este objetivo pretende garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e uma maior consciencialização sobre sustentabilidade. Outro objetivo é apoiar os países em desenvolvimento a fortalecer as suas capacidades científicas e tecnológicas para mudarem para padrões mais sustentáveis de produção e consumo, tendo as tecnologias da I4.0 um papel fundamental.



Ação climática, tem como objetivo aumentar os esforços para mitigar as mudanças climáticas e para a adaptação aos seus impactos. A implementação desta ODS está fortemente interligada com a implementação do Acordo de Paris.

Estes ODS não devem ser abordados de uma forma isolada. Ao invés, devem procurar criar sinergias entre si, pelo que a implementação de cada um delas deve ser apoiada mutuamente. Explorar os benefícios dos novos desenvolvimentos tecnológicos no setor da energia e na área das tecnologias de informação e comunicação ajuda a atingir as metas propostas pelos ODS e contribui significativamente para sustentabilidade e descarbonização da economia e do desenvolvimento industrial.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.1. Indústria 4.0: um caminho para a sustentabilidade

A combinação da sustentabilidade com a I4.0 materializa uma nova abordagem que ainda não atraiu muita atenção para os investigadores. Uma pergunta fundamental que deve ser colocada é se, efetivamente, a I4.0 é capaz de se interrelacionar com a Economia Circular e com a Descarbonização da Economia e contribuir para um futuro melhor do planeta.

A Indústria 4.0 traz consigo avanços tecnológicos que auxiliam na quebra de barreiras para uma transição energética e para a transição de uma Economia Linear para uma Economia Circular. As novas tecnologias possibilitam a análise e operacionalização de dados, aumentando assim a eficiência e reduzindo o desperdício de energia no processo de fabricação. A **transformação do setor da energia**, através da implementação/aplicação de sistemas de energia mais sustentáveis e através da transformação digital da indústria, vão alterar substancialmente a forma como as pessoas vivem, consomem, produzem e comercializam. Estas duas transformações, a energética e a digital, são simultâneas e estão interligadas, mas são usadas em diferentes arenas políticas e a diferentes ritmos.

Além das contribuições para a transição energética, a I4.0 potencia a **Economia Circular** através da otimização das cadeias de valor. Os negócios são motivados a progredir para cadeias de abastecimento que oferecem uma nova visão da produção e do consumo. As tecnologias digitais têm o potencial para introduzir o conceito da Economia Circular e ultrapassar os desafios de operacionalização, facilitando a transição de uma cadeia de abastecimento linear para um modelo circular.

A sustentabilidade e as metas climáticas podem ser atingidas através da integração destas duas temáticas com a I4.0. A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 contribui para o alcance da sustentabilidade e promove as dimensões ambientais, económicas e sociais.

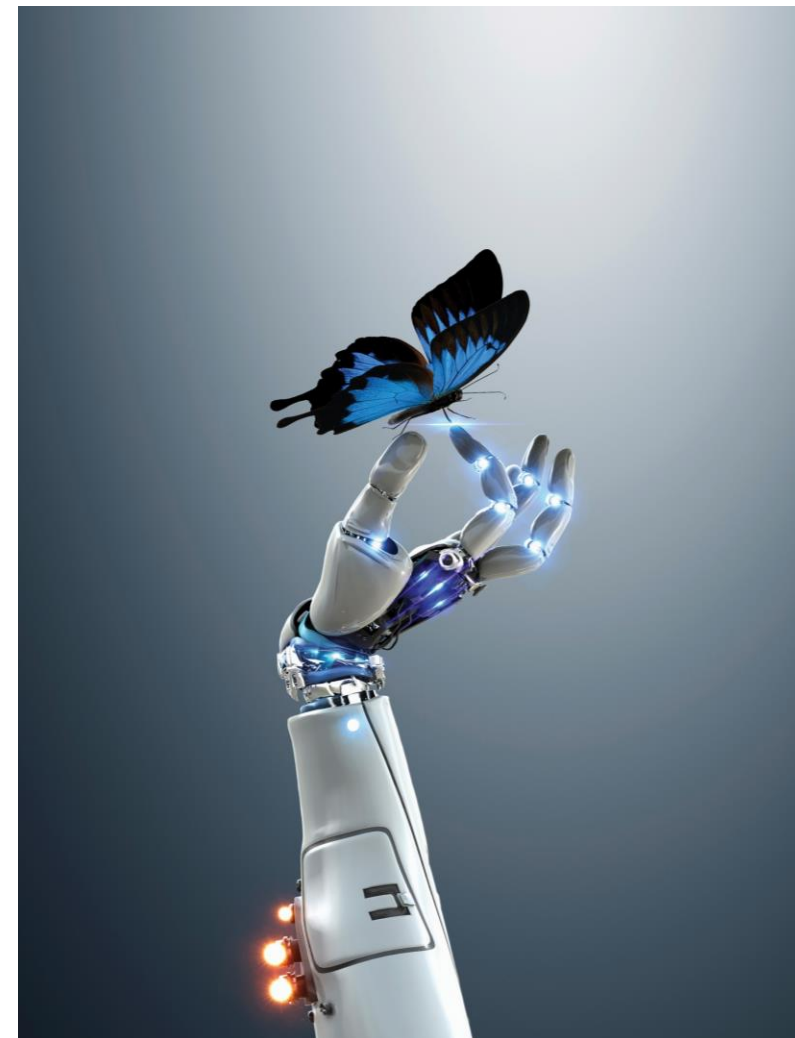
A disrupção trazida pela digitalização traz **3 oportunidades** que devem ser aproveitadas pelas **empresas**:

Aumento da eficiência
operacional

Melhoria da experiência
do cliente

Aceleração
da inovação

Trata-se, afinal, de aliar a redução de custos à das emissões de dióxido de carbono, enquanto se inova e responde às necessidades do cliente.





3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

"A Economia Circular ou será digital ou não existirá"

#1

Fonte: ISWA (2019), How industry 4.0 transforms the waste sector

#2

A I4.0 tem o potencial de atingir padrões estáveis de produção e consumo, de forma a que a eficiência da produção possa ser gerida através de inovações tecnológicas. No entanto, têm ocorrido muitos problemas na adoção da Economia Circular (EC) nas indústrias. Foi determinado que a **falta de informação, o movimento de matérias-primas, a escassez de tecnologias mais limpas e o período temporal para a implementação, diminuiram os princípios da EC**. No entanto, uma vez que tecnologias disruptivas baseadas na I4.0 surgiram, é agora possível alcançar a EC adotando tecnologias avançadas relacionadas com a fabricação inteligente.

#3

Até à data, a digitalização e as tecnologias digitais emergentes, como a IoT, a *Big Data*, *Machine Learning* e a AI, receberam muita atenção devido ao seu potencial para promover a transição para uma Economia Circular e para a sustentabilidade em geral. O uso correto destas tecnologias e a quantidade massiva de dados disponíveis em muitas cadeias de valor podem incentivar a mudança e a passo necessário para caminharmos para um modelo de negócios e operacionalização de uma indústria mais sustentável, **conectando os fluxos de materiais com os fluxos de informação digital e virtual**.

#4

A I4.0 ajuda a facilitar, agilizar e tornar mais eficiente a EC, promovendo assim o caminho para uma cadeia de abastecimento integrada e sustentável, bem como a diminuição do volume de resíduos provenientes da atividade industrial e ganhos na economia das empresas.

A integração da I4.0 juntamente com a EC potencia a sustentabilidade, atacando em 3 frentes:

Otimização de matérias-primas

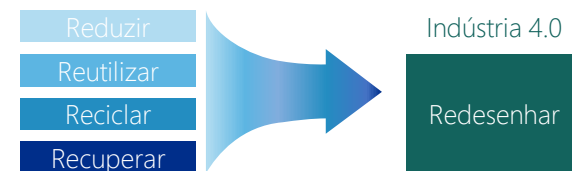
Desperdício de produtos

Diminuição da pegada carbónica

Adotar uma estratégia que mantenha a eficiência, mantenha os desejos dos consumidores e, ao mesmo tempo, que tenha um impacto ambiental mais baixo é um grande desafio que a EC tem tentado responder. A integração entre os conceitos e tecnologias da I4.0 e os aspetos ambientais é uma tendência de negócios promissora e necessária para o desenvolvimento organizacional.

A digitalização de produtos tem uma relação direta com a EC, uma vez que um produto, que anteriormente exigia um meio físico, pode agora ser consumido digitalizado, o que reduz o consumo de matérias-primas. A I4.0 apresenta novas maneiras de prevenir, reduzir e eliminar resíduos de setores específicos, de forma a avançar com a recuperação de recursos, para atingir os altos padrões de tratamento dos resíduos e de forma a reduzir substancialmente a poluição e o impacto ambiental.

Os 4R's, Reduzir, Reutilizar, Reciclar e Recuperar, sempre estiveram em 1º plano para uma gestão sustentável dos resíduos. Com o aparecimento da I4.0 faz sentido adicionarmos outro R, "Redesenhar" os produtos e processos.



As possibilidades são infinitas. Por exemplo, o uso de *Big data* e AI ajudam-nos a produzir produtos mais duráveis e com um ciclo de vida mais longo. A Robótica e a *Machine Learning* ajudam-nos a recuperar e reciclar materiais, o que faz com que a reutilização dos resíduos seja mais viável economicamente.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

- #1
- #2
- #3
- #4



Vantagens da integração da EC com a I4.0:

Aumenta otimização dos recursos.	Maximiza a recuperação de materiais provenientes de resíduos.	Potencial de manter os materiais, os componentes e os produtos em uso por um período de tempo superior. Há, portanto, um prolongamento da vida útil dos produtos e uma redução do consumo de materiais.	Melhora a recuperação, reutilização e reintegração dos processos, máquinas e produtos. Melhora, também, a operacionalização da logística, o que resulta no aumento da flexibilidade e eficiência dos processos de produção.
Aumenta a qualidade dos produtos e possibilita a redução dos custos de produção.		Aumenta, por isso, a eficiência e a eficácia, facilitando assim a implementação de estratégias de Economia Circular em escala.	
Melhora a sustentabilidade das cadeias de abastecimento.	Oportunidade de customização, onde a I4.0 facilita a comunicação entre os clientes e os produtos de forma a fornecer serviços extremos aos clientes finais.	O uso de Sensores, Sistemas Incorporados, IoT e Big Data permite que haja uma adaptação às operações de fabricação por meio de otimização própria e atualização de rotinas em tempo real. A informação em tempo real permite: <ul style="list-style-type: none"> Identificar falhas na produção, o que evita perda de materiais; Recolher os valores energéticos, o que permite uma gestão dos períodos de pico; Reconhecer em que fase de vida o produto está, o que facilita programação da refabricação e reutilização dos componentes; Seguir o produto ao longo da cadeia de forma a gerir estrategicamente os pontos de reciclagem. 	



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a economia circular

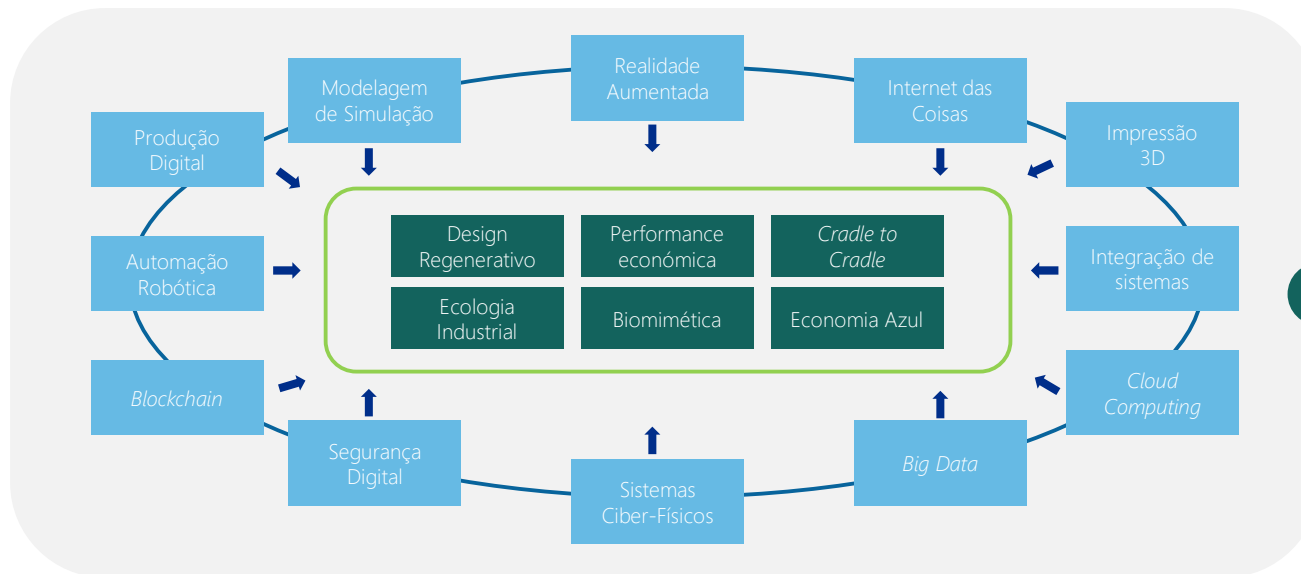
#1

#2

#3

#4

Framework da integração da Indústria 4.0 e a Economia Circular



Fonte: EY-Parthenon, com base em Fabiana Liar Agudo, José Alcides Gobbo Júnior, Simone Cristina de Oliveira Gobbo (2020), Industry 4.0 and Circular Economy: Integrated or disarticulated concepts? A research agenda

A conexão entre Indústria 4.0 e Economia Circular pode ser feita de diversas maneiras e alguns exemplos dessa conexão podem ser observados abaixo:



Fonte: EY-Parthenon, com base na Confederação Nacional da Indústria (2017), Economia Circular - Uma abordagem geral no contexto da indústria 4.0



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

#1

Fabricação Aditiva

Ao contrário da fabricação tradicional – que utiliza cortes de materiais, resultando assim em perdas e em consequente utilização excessiva de recursos – a **impressão 3D** utiliza, praticamente, apenas o material necessário para cada peça, sem desperdício, visto que as impressoras adicionam camadas sucessivas de materiais para criação dos objetos finais. Potenciais sobras ou produtos com falhas são adicionadas novamente ao processo, que será utilizado na fabricação de novos produtos num processo direto de reciclagem, utilizando um ciclo mais reduzido.

O aumento da popularidade da impressão 3D fará com que muitos produtos que faziam o caminho do fornecedor até o consumidor, através de uma rede de transporte onerosa e sujeita às limitações atuais de infraestrutura, possam agora ser impressos localmente.

A impressão 3D permite a customização de produtos e uma grande flexibilidade no design de novos produtos, o que tende a gerar produtos mais adequados e atrativos para o consumidor. A flexibilidade de produção também contribui para a diminuição e otimização do uso de recursos. Outra vantagem da adoção da impressão 3D é a descentralização da produção, aproximando assim o consumidor do produtor.

Customização

Flexibilidade

Otimização

Descentralização



No **setor dos resíduos**, as impressoras 3D são testadas para reciclar diferentes tipos de plástico.



Empresas como a HP têm vindo a investir nesta tecnologia, pois acreditam que a mesma vai abrir novos mercados, levar à inovação rápida e acelerar a Economia Circular.



A impressão 3D permite converter garrafas de plástico (PET) em filamentos 3D, esta inovação pode ser usada em diversos setores.

Inteligência Artificial & Machine Learning

A Inteligência Artificial pode contribuir de várias formas para a Economia Circular:

Integração horizontal e vertical

Permite o acesso imediato a informações críticas e tomadas de decisão.

Prolongamento da vida útil

Através da AI podemos produzir produtos mais duradouros e com um maior ciclo de vida.

Ecoeficiência

A AI pode ser usada para construir metodologias, ferramentas e procedimentos que melhorem a ecoeficiência. Trabalhos futuros podem ser orientados para esta tecnologia para pequenas empresas.

Redução de stocks

É possível projetar sistemas totalmente autónomos de entrega de produtos e recolha de contentores diretamente do consumidor, com amplo potencial de adoção num futuro próximo.

Localizar, transportar e classificar

A AI permite localizar, transportar e classificar produtos pós-consumo. Combinado com o "Passaporte de Materiais", vai ser possível lutar contra a variabilidade descontrolada dos fluxos de materiais e quantificar com precisão o seu potencial para poluir. É importante destacar que a adoção de modelos de negócio circulares é acelerada pela introdução de "Passaportes de Materiais". Esta medida pode ser uma grande ajuda para estimular a reutilização dos materiais e aumentar a transparência para desenvolver negócios circulares.

O **Machine Learning** é uma das aplicações da AI e pode ser usado para medir e quantificar a pegada ecológica, a pegada hídrica e o uso do solo para aceder à sustentabilidade. Permite a redefinição de modelos de *forecasting*, de forma a refletir as dinâmicas da recuperação de recursos e otimizar a quantidade e a qualidade dos recursos recuperados, o que faz com que a reutilização dos resíduos seja mais viável economicamente.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

#1

Internet das Coisas

A IoT, à semelhança do que acontece com a AI, permite a integração horizontal e vertical, contribuindo assim para uma indústria mais eficaz e eficiente. Esta é uma metodologia capaz de monitorizar a sustentabilidade, explorar recursos locais, inclusive aqueles que são suscetíveis a trocas simbióticas. A IoT pode estimular a EC e promover ciclos de vida dos produtos mais longos e promover a **manutenção preventiva** de equipamentos e dos resíduos eletrónicos.

#2

A utilização dos dados fornecidos pela IoT permite **decisões de produção e logística essenciais**, bem como a integração de fábricas e a partilha de estruturas produtivas e logísticas. Através da IoT é possível desenvolver sistemas inteligentes **de gestão de stock**, nos quais os produtos e as matérias-primas estão ligados.

#3

A IoT tem também como principal vantagem para a EC **a rastreabilidade** da produção e logística. Permite que as substâncias e materiais perigosos possam ser continuamente monitorizados e, desta forma, indicar o melhor caminho para a sua gestão. Logo, a IoT e a informação em tempo real, podem permitir uma maior rastreabilidade dos produtos para assegurar retorno dos materiais.

#4

A IoT facilita a **monitorização contínua**, de todos os produtos conectados entre si e a **personalização/customização** de acordo com as necessidades dos utilizadores. O **redesenho** de muitos produtos (aumentando a reciclabilidade, modularidade e a reutilização) também se tornará mais fácil com base nas informações disponíveis da IoT e no *feedback* dos utilizadores.

A **logística inversa** também beneficia da IoT. Estudos para a elaboração de métodos de otimização são essenciais de modo a determinar, de forma dinâmica, o *layout* dos pontos inversos de materiais.

A tecnologia IoT pode, ainda, ser usada para mapear a ecoeficiência na agricultura inteligente.



Etiquetas RFID

Um dos exemplos mais comuns é o uso das etiquetas RFID. Estas etiquetas permitem uma maior monitorização dos materiais e, até mesmo, dos resíduos. Contribuem para o aumento da rastreabilidade dos materiais recicláveis e de produtos finais, que podem depois voltar ao ciclo de produção mais facilmente. No futuro, pode-se imaginar que todos os objetos e equipamentos tenham um código próprio, permitindo assim a monitorização e partilha de dados

Sensores

Através de sensores e tecnologias IoT, os especialistas da indústria podem monitorizar o desempenho das operações por meio de sensores, o que possibilita uma gestão das operações constante, através da otimização de padrões de consumo e produção. Além disso, a eficiência das máquinas também pode ser avaliada em tempo real para manutenção preditiva e recuperação de serviço. Esta tecnologia é de especial importância no setor dos resíduos, onde milhares de sensores já estão a monitorizar a recolha de resíduos.

O uso de sensores em veículos, contentores, plataformas de software e aplicações móveis tem diversas vantagens para potenciar a EC: (i) Otimização da recuperação de custos e recursos; (ii) Controlo total das operações e da sua eficiência; (iii) Um melhor entendimento dos padrões temporais e espaciais da geração de resíduos e armazenamento e perfil detalhado do comportamento dos utilizadores; (iv) Maior flexibilidade; (v) Aumento de serviços *on demand* e serviços *tailor made* e (vi) Aplicação mais fácil e rápida dos *Pay as You Throw Systems*.

Contentores inteligentes

Estes contentores permitem a monitorização da temperatura, da humidade e de outros fatores que garantem a integridade dos produtos transportados, principalmente os orgânicos, reduzindo assim o desperdício e a geração de resíduos.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

#1

#2

#3

#4

Robotização

No contexto da Economia Circular, a robotização contribui para o aumento da eficiência na produção e na reciclagem, juntamente com **NIR-scanners** e **tecnologias de reconhecimento de imagem**, que vão aumentar significativamente a nossa capacidade de recuperar materiais e reutilizar produtos, o que faz com que a reutilização de resíduos seja mais viável economicamente.

O uso de robôs autónomos na produção aumenta a eficiência dos processos e a manutenção de parâmetros de tolerância e qualidade, reduzindo a quantidade de materiais consumidos por unidade produzida e a necessidade de reprocessamento de produtos com defeito.

Veículos Autónomos

Os veículos autónomos estão a ser testados. A robótica e a automação avançada são agora componentes integradas nas novas instalações de tratamento de resíduos.

Drones

Os aterros já beneficiam das oportunidades provenientes da I4.0, os drones são usados para monitorizar a evolução do volume dos aterros e monitorizar os gases provenientes destes aterros sanitários.

Se a robótica se tornar uma tendência predominante na gestão de resíduos, é necessário questionar o seu impacto. Por um lado, poderá tornar as operações mais fáceis, precisas e eficientes, mas por outro poderá ter graves consequências. A ecologia industrial tem que ter em conta as implicações sociais, tecnológicas e ambientais da robotização.



O lixo eletrónico (*E-waste*) é onde a Economia Circular e a Indústria 4.0 se encontram. Perdem-se cerca de 62 mil milhões de dólares por ano em materiais úteis porque 75% do lixo eletrónico gerado é descartado. Através da I4.0 surge uma nova solução, com robôs capazes de desmontar equipamentos com alta eficiência, precisão e taxas de recuperação. Estes robôs podem constituir uma forma viável para as empresas poupar, controlar as cadeias de abastecimento e reduzir a sua dependência de materiais virgens.

A robótica avançada também permite a separação de lixo. Os sistemas robóticos de separação de lixo são autónomos e multitarefas, podendo operar 24 horas por dia 7 dias por semana. A reciclagem robótica é maioritariamente impulsionada pela redução de custos gerada por uma eficiência dos processos graças às capacidades únicas de reconhecimento que a AI possibilita.

Cloud Computing

O armazenamento na nuvem facilita o compartilhamento e o aumento do acesso a informações em ambientes de trabalho descentralizados e/ou virtuais. Esta tecnologia é útil para melhorar a eco-inovação, pois, esta carece de dados de mercado para ser implementada, logo, a existência de informações na nuvem sobre marketing digital "verde" vai influenciar o desempenho dos negócios. Os utilizadores podem usar uma grande quantidade de dados para personalizar a sua procura ambiental.

O *Cloud Computing* também é capaz de suportar decisões tomadas por produtores SmartHome, em termos de ecoeficiência dos produtos.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.2. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Economia Circular

#1

#2

#3

#4

Big Data

O uso de tecnologias digitais para transitar para uma EC implica uma estratégia clara de análise de dados e de análise estratégica do negócio. A organização tem que se estruturar de forma a alinhar as capacidades analíticas com a estratégia do negócio. Para atingir tal estratégia, é necessário estabelecer sistemas de gestão *data-oriented*. Tal como já acontecia na AI e na IoT, a *Big Data* permite a integração horizontal e vertical. Na verdade, o uso de tecnologias como os sensores, robôs, impressão 3D para a promoção da EC requerem plataformas de software e sistemas de *Big Data* para transformar os oceanos de data em informação útil. Logo, as tecnologias acabam por criar sinergias entre si.

Podemos usar a *Big Data* para avaliar a confiança e o comportamento entre os fornecedores na cadeia de abastecimentos, de forma a melhorar as simbioses. A análise de dados vai melhorar a eficiência dos recursos, prolongar a vida dos produtos e fechar o círculo da Economia Circular. A troca de dados que esta tecnologia possibilita permite lidar com a composição dos materiais e compartilhar questões de otimização de reciclagem ou reaproveitamento entre parceiros.

Torna-se possível monitorizar a condição dos produtos e da performance dos mesmos. Estas informações armazenadas e analisadas, através da *Big Data* permitem **a previsão de falhas** e a execução de ações de manutenção preventiva, **reduzindo quebras e consequente desperdício de materiais e geração de resíduos**. A utilização de *big data* também é vantajosa **para rastreabilidade** do produto na execução de logística inversa. Permite que a avaliação dos recursos seja recuperada, promovendo a economia dos recursos recomendada pela Economia Circular.



Data Sharing

Para a Economia Circular, a partilha de dados é fundamental. Da mesma maneira que nenhuma empresa pode adotar a Economia Circular sozinha, nenhuma empresa tem todos os dados necessários para permitir todas as estratégias necessárias.

Data Analytics

A *data analytics* pode suportar um número variado de estratégias para a Economia Circular.

Data Integration

Conectar dados de diferentes *stakeholders* externos ao longo de toda a cadeia de valor pode ser um grande desafio, tanto do ponto de vista técnico como do negócio.

Realidade Virtual Aumentada

Esta tecnologia tem também um papel na Economia Circular. A realidade aumentada pode ser usada para perceber e prever o impacto ambiental de um produto antes deste ser transformado num resíduo, prevenindo assim o seu desperdício.

A realidade aumentada pode também ser útil em diversas fases do ciclo de vida do produto, proporcionando uma redução de custos e uma maior eficiência. A tecnologia também é útil em processos de prototipagem, permitindo visualizar os protótipos de design em 3D, testar e redesenhar processos de fabricação e, desta forma, reduzir ou eliminar por completo o uso de algumas matérias-primas.

Soluções de realidade aumentada oferecem oportunidades de negócio à indústria. A realidade virtual pode ser usada para formação em qualquer área de produção industrial, em particular, para treinar pessoal e passar procedimentos relativos à ecoeficiência.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potencializar a Descarbonização/Transição Energética

#1

As tecnologias digitais podem ser usadas para otimizar a produção e os seus processos e para melhorar a eficiência energética. A interligação da I4.0 e das iniciativas de energia sustentável pode estimular grandes oportunidades para as economias dos países industrializados, onde a maior parte do potencial encontrado se concentra nas indústrias intensivas em carbono, através da digitalização, automação e otimização.

#2

Atualmente, a sustentabilidade é raramente o principal objetivo para otimizar os processos industriais, mas sim um efeito colateral. Uma abordagem mais consciente para criar sinergias entre a I4.0 e a energia sustentável pode promover benefícios ainda por explorar.

#3

A transição para uma energia sustentável e para a I4.0 partilham características importantes. Ambas são influenciadas pelas inovações tecnológicas, dependem do desenvolvimento de novas infraestruturas e regulamentos adequados e são potencializadoras de novos modelos de negócio. Estas semelhanças ainda não se traduziram em políticas substanciais para promover a transição para um sistema de energia mais sustentável e para a produção digital, ao mesmo tempo e de forma integrada. As indústrias são responsáveis por uma grande percentagem do consumo de eletricidade e as redes de energia precisam de acomodar a procura de eletricidade por parte dos consumidores industriais.

#4

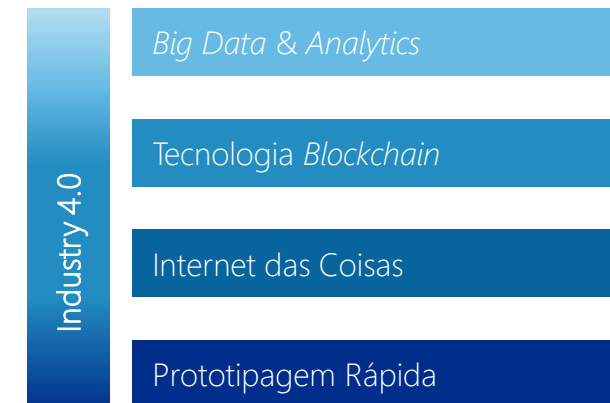
Esta pode ser uma razão para pensar como é que uma transição para um sistema de energia mais sustentável e para a transformação digital da indústria pode beneficiar mutuamente uma da outra. A indústria europeia tem capacidade para desempenhar um papel de liderança a nível global na Indústria 4.0. O potencial para a redução de emissões por meio da implementação de soluções como IoT, *cloud computing* e automação ainda não foi totalmente avaliado, mas as indicações são de que há um grande potencial dependendo das políticas em vigor para orientar a sua implementação.

180 milhões

Por exemplo, a *Global e-Sustainability Initiative* estima que a tecnologia das comunicações móveis permite, atualmente, uma redução total de 180 milhões de toneladas de CO₂-eq por ano nos EUA e na Europa. Esta quantidade é equivalente a 1,5% de todas as emissões de GEE dos EUA e da Europa.

Igualmente aplicável aos setores industriais é o uso de sensores de ponta, fabricação aditiva e processamento e análise de dados. Estas podem trazer a produção para a era digital e permitir uma maior otimização e eficiência.

Tecnologias que revolucionam a fabricação com relevância para uma energia sustentável



Fonte: EY-Parthenon, com base no United Nations Industrial Development Organization (2017), *Accelerating clean energy through Industry 4.0 - Manufacturing the next revolution*



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potencializar a Descarbonização/Transição Energética

#1

#2

#3

#4

Os mesmos desenvolvimentos que abrem caminho para uma Economia Circular e sustentável também se podem tornar um risco e contribuir para um maior esgotamento dos recursos e para o aumento da poluição, como já aconteceu noutras revoluções industriais.

Vejamos o exemplo da indústria das tecnologias de informação. Esta indústria é capaz de reduzir consideravelmente as emissões de carbono, podendo assim aumentar a eficiência e reduzir o consumo. É previsto que as TIC sejam capazes de reduzir até 3,5% as emissões globais até 2020 e 14% até 2040. No entanto, esta mesma indústria faz um uso excessivo de eletricidade e poderá consumir, até 2025, 20% da eletricidade do mundo, o que dificultará as tentativas de cumprir as metas das alterações climáticas, pois a procura da energia aumenta substancialmente devido ao armazenamento de dados digitais provenientes de todos os dispositivos conectados à internet, que crescem muito.

A IEA estima que, **ao implementar as melhores tecnologias atualmente disponíveis**, o uso de energia em 5 setores intensivos de energia pode ser reduzido em 13% a 29%.

9%

Assim, o uso global de energia e as emissões globais de CO₂ podem ser reduzidas em 9%.

É também destacado pela IEA que a obtenção destas poupanças de energia não vai ocorrer instantaneamente e que a aplicação das melhores tecnologias depende de vários fatores, tais como os custos de energia, o retorno sobre o investimento e as regulamentações existentes.

Vantagens da Integração da Descarbonização com a I4.0:

- A digitalização de alguns processos de fabricação pode oferecer oportunidades para poupanças de energia, como por exemplo através da:

Otimização e substituição de tecnologias específicas.

Aplicação de novas ferramentas de *software* que também oferecem a otimização da energia.

Adaptações aos processos de negócios.

- Abre novas oportunidades para incentivar a implementação de energias renováveis, por exemplo:

Harmonizando os ciclos de produção com os tempos de pico de geração, de forma a combinar a procura de energia com a oferta real.

A integração das energias renováveis em sistemas de energia elétrica tem previstos alguns desafios, nomeadamente, relativamente ao equilíbrio de carga da rede e da gestão da complexidade de um sistema que, em vez de incluir grandes fábricas de energia convencional, inclui uma multiplicidade de unidades de geração de energias renováveis descentralizadas. As tecnologias digitais têm um importante papel para lidar com estes desafios. A I4.0 poderá ajudar a lidar com as flutuações de energia produzida pelas energias renováveis, um dos maiores desafios na sua produção.





3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização/Transição Energética

#1

#2

#3

#4

Inteligência Artificial & Machine Learning

A AI baseia-se no uso de dados e algoritmos de autoaprendizagem para aumentar a automação e a eficiência produtiva. Esta tecnologia permite que agora sejam criadas aplicações que anteriormente as máquinas não eram capazes de executar, como o *forecasting* e o apoio à tomada de decisão. Esta tecnologia, oferece por isso, capacidades que permitirão novos modelos de negócios de longo prazo. Neste sentido, a AI pode auxiliar diversos serviços por meio de ferramentas e sistemas para otimizar as operações de forma autónoma.

Uma das principais vantagens da utilização da AI é a capacidade que esta tecnologia tem de aprender com a experiência, recolher quantidades enormes de dados e, através destes, intuir relações e conexões que muitas vezes os humanos não são capazes de detetar, chegando a conclusões e fornecendo recomendações mais apropriadas.

A dificuldade e as despesas que as empresas têm em medir o total das suas emissões de carbono levou a que muitas delas adiassem este esforço. A AI pode ter um papel fundamental a resolver este problema, visto que tem a capacidade de fornecer diversos *insights* relativamente à pegada carbónica de uma empresa e, **desta forma, acelerar uma transformação sustentável e com menores custos no setor empresarial.**



As empresas que procuram reduzir as suas emissões de CO₂ podem utilizar a AI para:

Monitorizar emissões

As empresas podem utilizar *AI-powered data engineering* para rastrear automaticamente as emissões em toda a sua pegada carbónica. Permite recolher dados em toda a cadeia de valor, desde a produção dos materiais, ao transporte até ao consumidor final.

Prever emissões

AI preditiva permite que uma empresa possa prever as emissões futuras e, assim, as empresas podem definir, ajustar e atingir as metas de redução com uma maior precisão.

Reduzir emissões

AI prescritiva e a otimização fornecem informação detalhada relativamente a cada aspeto da cadeia de valor. Esta análise permite melhorar a eficiência na produção e transporte, por exemplo, reduzindo assim as emissões e os custos.





3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização/Transição Energética

Inteligência Artificial & Machine Learning

#1

#2

#3

#4



A transição energética é impulsionada pela inovação em diferentes áreas tecnológicas e adota esta inovação na cadeia de valor da energia. No **setor da energia**, o uso da tecnologia de AI pode ser aplicada para quantificar o consumo de energia real e a qualidade do serviço prestado. Desta forma, é possível reduzir a quase zero os erros de medição e as falhas administrativas das distribuidoras e, consequentemente, **diminuir** uma parcela das **perdas não técnicas de energia**.

O uso da AI, juntamente com a *Machine Learning*:

Ajudam os sistemas energéticos a serem mais eficientes e produtivos.

Otimizam os processos e permitem novos modelos de negócio que alteraram significativamente a visão do sistema energético.

Ainda no setor da energia, o uso de AI permite a automatização das centrais elétricas através do uso de sensores. Estes recolhem em tempo real os sinais provenientes de uma turbina ou barragem, por exemplo, e enviam-nos para uma central de controlo. Assim, torna-se possível identificar, em tempo real, anomalias ou ineficiências que podem reduzir a produtividade da central elétrica. O uso da AI permite, assim, identificar as falhas e, por isso, melhorar o desempenho e eficiência das centrais.



A AI também oferece maior **autonomia ao consumidor**, que pode agora **acompanhar os seus padrões de consumo de eletricidade**.



Esta tecnologia, através da monitorização e previsão da pegada carbónica, tem também um papel fundamental na redução de emissões nas **indústrias intensivas de energia**. Existem já casos de sucessos na indústria do cimento e em grande empresas de gás e petróleo.

Na indústria do cimento, os **sensores** recolhem uma grande quantidade de dados que são depois alimentados pelos algoritmos do sistema de controlo, permitindo às empresas calcular e prever as necessidades energéticas e identificar e reduzir fontes de desperdício. Existe já um caso de sucesso na indústria de cimento: ao implementar estes controlos, a empresa conseguiu reduzir as suas emissões anualmente em 3%.

Na indústria de gás e do petróleo existe, também, um caso de sucesso onde, através de uma abordagem *machine-learning-based predict-and-act*, o sistema de controlo da empresa foi redesenhado e foi criado um centro operacional integrado para reunir as visualizações de todos os equipamentos da fábrica. Este novo sistema, que usa um variado número de modelos de *machine learning*, inclui ferramentas que são capazes de prever problemas de manutenção e emissões de CO₂ para cada unidade de produção, permitindo assim analisar, corrigir ou isolar unidades que sejam responsáveis por um número de emissões excessivas.



Até 2030, a utilização de AI para o controlo das alterações climáticas pode ajudar a reduzir entre 2.6 a 5.3 toneladas de GEE, reduzindo assim o total de emissões entre 5% a 10%.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização/Transição Energética

#1

#2

#3

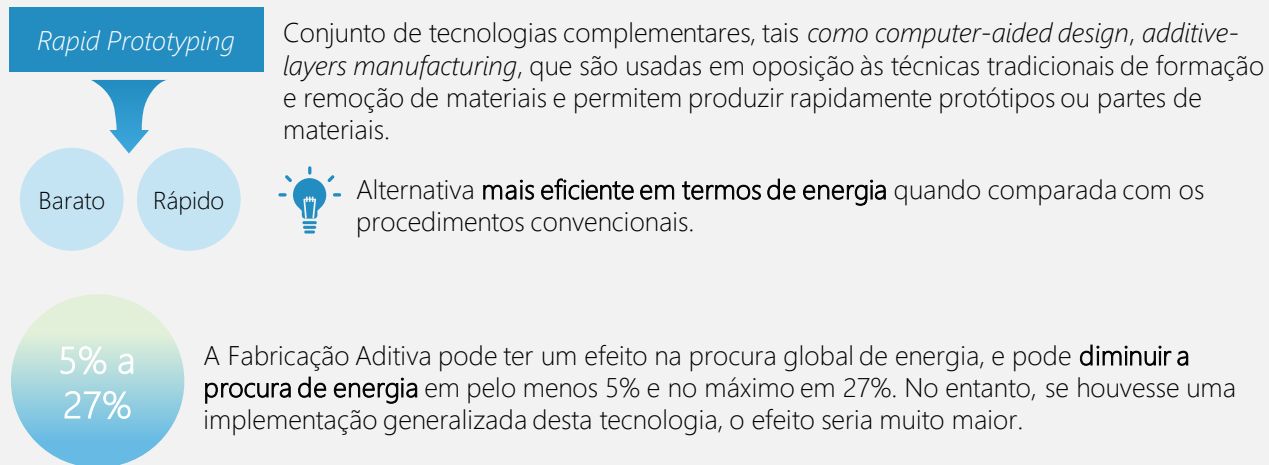
#4

Fabricação Aditiva

Dentro da fabricação aditiva, a impressão 3D é uma das tecnologias com maior potencial transformativo. É uma tecnologia que oferece muitas vantagens quando comparada com os métodos convencionais e dá a oportunidade de substituir os procedimentos de fabricação mais tradicionais.

O impacto da impressão 3D para reduzir as emissões de carbono depende do tipo de produto. Embora seja mais eficiente produzir em massa, a impressão 3D pode desempenhar um papel importante em produtos com um custo mais alto e procura baixa, como peças de engenharia complexas. Isto pode diminuir a necessidade de espaço de armazenamento e transporte.

No caso da produção de produtos ou protótipos com lotes de produção baixos, é possível **aplicar tecnologias de Rapid Prototyping**.



Fonte: Energy Policy (2018), *The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach*

No **setor aeroespacial**, a maior parte da energia é economizada na fase de uso, devido à redução de peso das peças que a impressão 3D permite. Neste setor é possível alcançar poupanças de energia entre 5% a 25%.

No **setor da construção**, as maiores poupanças ocorrem nas matérias-primas e na fase de uso, permitindo economias entre 4% e 21%.

Segundo um estudo do *Energy Policy*, presume-se que a Fabricação Aditiva **não tem efeito no setor dos serviços**.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a descarbonização/transição energética

Fabricação Aditiva

#1

#2

#3

#4

Além de prototipagem, a impressão 3D também oferece **benefícios para a fabricação em série ou em massa:**

Promove a eletrificação industrial, através da substituição de processos de formação térmica, como a fundição e forjamento de metal.

Multiplica a durabilidade dos componentes.

Permite uma melhor geometria

Esta geometria permite alcançar uma maior eficiência na combustão, levando à poupança de combustíveis ao longo da vida do motor e **reduzindo, por isso, as emissões de CO₂**. As novas geometrias da impressão 3D podem levar à **poupança de energia além do setor industrial**.

As tecnologias de captura de carbono podem ser instaladas em fontes significativas de carbono, como centrais elétricas e fábricas, de forma a mitigar o impacto ambiental. De forma a potenciar a descarbonização, foi desenvolvido um dispositivo que **melhora o processo de absorção de carbono**, onde um solvente é colocado nas chaminés das fábricas ou das centrais elétricas e entra em contacto com o gás da combustão do dióxido de carbono. Este processo gera calor, fazendo assim com que o dióxido de carbono tenha uma menor interação com o solvente. A impressão 3D tem a solução para este problema, permitindo criar um dispositivo personalizado que é capaz de remover o excesso de calor e manter os custos mais baixos. O dispositivo que é impresso em 3D integra um permutador de energia térmica que é instalado na chaminé, a impressão em 3D faz com que seja possível integrar este permutador dentro desta chaminé sem perturbar a geometria, maximizando assim a área de superfície de contacto entre o gás da combustão do dióxido de carbono e o solvente. Este dispositivo impresso em 3D tem assim a capacidade de aumentar ainda mais a eficiência da absorção de dióxido de carbono.

Além destas aplicações, esta tecnologia também permite a criação de **dissipadores de calor** otimizados que reduzem o desperdício de energia.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potencializar a Descarbonização/Transição Energética

#1

#2

#3

#4

Blockchain

Reduzir ou eliminar a necessidade de intermediários

Abre novas oportunidades para reduzir ou eliminar a necessidade de intermediários em muitas operações, nomeadamente no fornecimento de eletricidade renovável certificada proveniente da geração distribuída de energia. Os executivos alemães veem diferentes aplicações possíveis para o *blockchain* no **setor de energia** e acreditam que a tecnologia pode ter o **potencial de reduzir custos e estimular novos modelos de negócios** neste setor.

Transparência

Esta tecnologia também permite a verificação, a nível internacional, das cadeias de valor e de abastecimento e pode, por isso, fornecer documentação fiável relativamente aos dados dos fabricantes. Permite uma comunicação transparente relativamente à conformidade dos padrões ambientais e sociais, possibilitando que os consumidores façam melhores escolhas. A tecnologia tem, pois, um forte impacto potencial no setor energético, contribuindo para o fortalecimento da confiança, rastreabilidade e auditoria. Através de um processo digital denominado *tokenization of electricity*, os auditores podem, por exemplo, rastrear a eletricidade consumida pela cadeia de abastecimento em qualquer altura do seu ciclo de vida.

Robotização

É agora possível controlar o comportamento de um grande número de robôs interconectados através de um algoritmo capaz de reduzir o consumo de energia. Através da minimização da aceleração de robôs, o **consumo de energia pode ser reduzido até 30%** sem aumentar o tempo total de produção. Vários *players* da indústria têm vindo a desenvolver algoritmos para que esta otimização seja possível, nomeadamente o **EU-Project AREUS7**.

A robotização pode também contribuir para a transição energética em diversos setores, nomeadamente através do uso de:

Drones

Carros Autónomos



Estes podem gerar uma revolução na rede de logística de diversos setores e produtos, melhorando significativamente a mobilidade de pessoas e produtos. No futuro, espera-se que exista um sistema de transportes totalmente integrado e capaz de transportar matérias-primas, bens de consumo, produtos, resíduos, entre outros.





3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a Descarbonização/Transição Energética

Soluções baseadas na IoT e na *Big Data*



#1



#2



#3



#4

Big Data

A *Big Data* é bastante utilizada no campo da indústria ecológica. Ajuda a desenvolver modelos e sistemas complexos e realistas, ajuda os ecologistas a **perceber as implicações ambientais do sistema industrial**. A *Big Data* dá apoio à **expansão da captura e armazenamento de carbono**, o que mitiga os efeitos globais dos gases de efeito de estufa.

IoT

A tecnologia IoT permite a **implementação de redes inteligentes, a integração da tecnologia e da sustentabilidade** de forma reduzir a procura de eletricidade. O avanço da IoT em processos mais eficientes e otimizados gera uma redução no uso de inputs e no consumo de energia, pois as empresas terão a possibilidade de **ativar os equipamentos apenas quando necessário**.



Smart Grids

As tecnologias digitais podem oferecer soluções para os desafios de integração de fontes de energia renováveis em pequenas e grandes redes de energia que requerem novas abordagens para a gestão da rede. As chamadas redes inteligentes (*Smart Grids*) atendem a este fim e têm recebido grande atenção nos últimos anos. O termo refere-se a redes que aproveitam os potenciais das tecnologias de informação e comunicação para **monitorizar e gerir eficientemente** a geração, entrega e consumo de eletricidade de diferentes fontes, potencialmente descentralizadas, para atender à procura diversificada de eletricidade pelo consumidor final. Estas redes podem fornecer a **flexibilidade** necessária para integrar as energias renováveis, como a eólica e a solar, em redes elétricas em grande escala.

O setor energético apresenta problemas ecológicos, logo, propostas de eco-inovações que envolvam redes inteligentes na monitorização de energia, com dados em tempo real para auxiliar as empresas na distribuição, são recomendadas. As redes inteligentes integram os setores de transmissão e distribuição de energia elétrica, permitindo assim uma maior eficiência, através da monitorização de distorções na rede, o que possibilita uma redução dos custos dos serviços e melhora também a sua qualidade. Esta tecnologia oferece uma maior capacidade de controlo, pois permite uma previsão mais precisa da oferta e da procura da energia elétrica. As Redes Inteligentes têm por isso um papel fundamental na otimização para a distribuição e uso de eletricidade industrial entre parceiros simbióticos, prevendo a oferta futura e as variações de preço. As *Smart Grids* vão ter um papel fundamental na redução de emissões de carbono nas cidades.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.3. Tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 que poderão potenciar a descarbonização/transição energética

Soluções baseadas na IoT e na *Big Data*

#1

#2

#3

#4

Mini-grids

As mini-grids são fontes de energia distribuídas e interconectadas que integram uma infraestrutura de energia. Podem desempenhar um papel fundamental no novo panorama energético, estando provada a sua capacidade de garantir a fiabilidade da energia dos ativos de produção no local e, também, de reduzir os custos energéticos e a pegada carbónica. Assim, de forma indireta, as *mini-grids* contribuem para conseguir edifícios e indústrias neutras em carbono. Esta tecnologia também é importante para fornecer o acesso a energia limpa em áreas remotas.

Virtual Power Plants

Esta é outra abordagem digital relacionada com a distribuição da geração de energia. A VPP é uma rede de unidades geradoras de energia descentralizadas, como por exemplo, parques eólicos ou parques solares, com produção combinada de calor e eletricidade (CHP), assim como sistemas de armazenamento. Estas unidades são interconectadas no centro de controlo da VPP, mas permanecem independentes na sua operação e propriedade. O objetivo da VPP é aliviar a carga na rede, **distribuindo e gerindo de forma inteligente a energia gerada pelas unidades individuais** durante os períodos de pico de carga.

Normalmente, as VPP têm um centro de controlo distribuído ou **centrado na nuvem e fazem uso da IoT e de outras tecnologias digitais**. Uma simulação conduzida por especialistas alemães demonstra que a combinação de VPP com energias renováveis permitirá o uso exclusivo de energias de fonte renovável no futuro.



Grandes players da indústria já desenvolveram soluções para VPP, tais como o *cloud-base energy management system DEMS* do departamento de *Smart Grid* da Siemens.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.4. Exemplos

#1



Empresa: Mitsubishi



Tecnologias da I4.0: Robotização & AI

Robôs desenvolvidos pela Mitsubishi e pela Universidade de Osaka, no Japão, identificam com eficácia e eficiência diferentes tipos de plásticos misturados com outros resíduos, facilitando assim a sua caracterização, a separação e o aproveitamento em processos de reutilização e reciclagem.

À semelhança deste projetos existem outros que através da robótica avançada e da AI permitem a separação de resíduos, como a *MAX-AI Robotic Sorter* e o *ANASA Robotic Sorter*.

#2

#3

#4



Empresa: Apple



Tecnologias da I4.0: Robotização

Apple desenvolveu o robô *Daisy*, que permite desmontar mais eficientemente os iPhones de forma a recuperar materiais que são valiosos e que podem ser reaproveitados.



Empresa: I:CO



Tecnologias da I4.0: IoT

A I:CO recicla peças de roupa usadas recolhidas em diversas lojas de moda, possui parcerias com diversas marcas como Levi's, H&M, Marks&Spencer, The North Face e Forever 21. As lojas recebem peças usadas de qualquer marca e enviam essas peças para a I:CO. Estas peças usadas são depois transformadas, por exemplo, em isolantes térmicos. Este modelo de negócio é melhorado através da IoT: a informação em tempo real facilita a rastreabilidade dos produtos e a interação entre as lojas e a I:CO.

Potencia:
Economia
Circular



Projeto: Kalundborg Eco-Industrial Park



Tecnologias da I4.0: AI, IoT & Big Data

O *Kalundborg* é um ecossistema industrial entre mais de 10 empresas públicas e privadas de diversas áreas, como farmacêutica, termoelétrica e refinaria de petróleo, em que os resíduos gerados por uma empresa servem como matéria-prima para outra, fechando assim um ciclo. A integração horizontal e vertical da Indústria 4.0, através de tecnologias como IoT, AI & Big Data, é refletida nesta integração entre indústrias de setores diferentes.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.4. Exemplos

#1



Empresa: EDP

#2



Tecnologias da I4.0: *Big Data*

#3

A oferta de serviços de eficiência energética tem vindo a crescer exponencialmente, apoiada pela “omnipresença” que caracteriza a nova geração de consumidores de energia. A recolha de dados através de dispositivos inteligentes permite recolher informações importantes sobre a utilização de energia de diferentes perfis de utilizadores, as suas necessidades e preferências. À medida que a tecnologia evolui, o resultado é uma crescente possibilidade de customização das soluções disponíveis às necessidades dos clientes, sejam residenciais ou empresariais.

Os novos consumidores preocupam-se cada vez mais com a origem da energia que consomem e são mais exigentes com o seu fornecedor de energia, esperando que lhes apresente produtos e serviços inovadores que respondam a estas preocupações. É no contexto desta visão mais holística que surge a oferta da EDP, que tem vindo a liderar a transição energética em Portugal para um futuro mais sustentável, criando valor acrescido para os seus clientes.

A EDP Comercial disponibiliza no seu site uma plataforma que permite às empresas simularem, de forma gratuita, quanto podem poupar através de soluções de eficiência energética feitas à medida do cliente, com base nos dados recolhidos no registo gratuito na plataforma.

#4



Empresa: Philips



Tecnologias da I4.0: IoT & *Big Data*

A Philips passou a vender o serviço “luz” em vez do produto “lâmpada”. A empresa presta serviços de instalação, iluminação, manutenção e outros relacionados com iluminação. Através da IoT e da *Big Data*, a Philips controla e tem informação em tempo real do funcionamento das lâmpadas instaladas, permitindo monitorizar os seus produtos de forma eficiente.



Empresa: Amazon & Google



Tecnologias da I4.0: AI & Robotização

As empresas Amazon e Google já utilizam drones para a entrega de produtos, eliminando a necessidade de deslocação de um veículo até ao consumidor, reduzindo os custos logísticos e também a emissão de gases poluentes. É hoje possível projetar sistemas totalmente autónomos de entrega de produtos e recolha diretamente do consumidor. Existe um amplo potencial de adoção no futuro próximo, podendo reduzir stocks e prover fluxos menos custosos.



Empresa: Airbus



Tecnologias da I4.0: Impressão 3D

As novas geometrias da Impressão 3D podem ter um papel fundamental para a descarbonização. A Airbus, utilizou a impressão 3D para produzir componentes para aviões mais leves e que permitam um consumo de combustível mais reduzido.



3. Indústria 4.0 e sustentabilidade

3.4. Exemplos

#1



Empresa: Volvo Group & Renova

#2



Tecnologias da I4.0: Robotização & AI

#3

A Volvo, juntamente com a Renova (uma empresa Sueca de reciclagem), desenvolveram em 2017 um camião de lixo autónomo. Todo o software presente neste veículo autónomo é completamente novo. Este projeto piloto demonstrou o seu sucesso e grande potencial para o setor dos resíduos. Além de fatores como melhorias na saúde e segurança dos trabalhadores e aumento da produtividade, esta ação tem também um papel na descarbonização, pois permite redução dos custos de combustíveis fósseis e reduz as emissões de CO₂.

#4



Empresa: Veolia Environment



Tecnologias da I4.0: AI

A empresa francesa *Veolia Environment* desenvolveu a tecnologia *Hubgrade* que permite que indicadores relevantes de performance sejam monitorizados constantemente em tempo real, nomeadamente as poupanças de água e energia, redução de resíduos e taxas de reciclagem. Através do uso de sensores, os clientes podem controlar os custos e o consumo de qualquer lado. Estes sensores transmitem dados em tempo real ao *Hubgrade*. Após recolha de dados, os analistas gerem estes dados para identificar poupanças.

Potencia: EC & Transição Energética/Descarbonização



Empresa: UBQ Materials



Tecnologias da I4.0: AI

A UBQ desenvolveu uma tecnologia avançada de conversão de resíduos, através do aproveitamento de matérias-primas alternativas (terceira geração) na produção do "Most Climate Positive Material" disponível atualmente. Esta tecnologia avançada de conversão de resíduos divide e combina virtualmente todos os resíduos domésticos.

Segundo a UBQ, **cada tonelada de material UBQ™ produzida reduz 11,7 toneladas de CO₂**. Esta tecnologia é altamente eficiente energeticamente, não usa água e não produz nenhum vapor e/ou efluentes. Conforme os requisitos de Economia Circular, o UBQ™ é capaz de retornar ao seu valor material original, para ser utilizado continuamente.

4. Conclusões



4. Conclusões

#1

A Indústria 4.0, através das suas tecnologias disruptivas, contribui positivamente para a indústria e para o setor empresarial em termos de redução de custos e aumento de eficiência, qualidade e precisão. No entanto, as suas potencialidades alargam-se a outros domínios, ao oferecer soluções mais sustentáveis e que podem contribuir eficazmente para a circularidade e para a descarbonização e transição energética. Contudo, o potencial da contribuição que a I4.0 pode ter para estas temáticas ainda precisa de ser explorado, apesar de já existirem alguns estudos que relacionam a adoção destas tecnologias e o seu impacto na eficiência energética e na redução da emissões de GEE.

#2

O facto de se tratar de tecnologias disruptivas e emergentes, faz com que estas tecnologias ainda não estejam ao alcance da maioria das PME. Por esse motivo, a digitalização tem ocorrido maioritariamente nas grandes empresas. Esta tendência deverá ser, no entanto, progressivamente alterada com a massificação da adoção destas novas tecnologias, fazendo com que estas sejam cada vez mais acessíveis às PME. Apresenta-se inclusive, no presente estudo, algumas iniciativas europeias que têm como objetivo potenciar a digitalização da indústria, apoiando financeiramente as PME para que estas possam inovar de forma sustentável.

#3

No âmbito da Economia Circular, a I4.0 tem um papel fundamental para a rastreabilidade de materiais, flexibilidade de produção, eficiência dos processos de reciclagem e/ou reutilização, aumento do ciclo de vida do produto e também a possibilidade de se tomar decisões

#4

mais informadas e rápidas. Dentro desta temática, a robotização tem também um papel fundamental e é nesta tecnologia que podemos encontrar exemplos de várias empresas que já utilizam a robótica avançada para potenciar a EC. A robótica avançada aumenta a eficiência, diminui o desperdício e permite a reutilização dos resíduos, tornando-a mais viável economicamente. É também de destacar o papel dos sensores e das etiquetas RFID, que têm sido essenciais para a promoção de soluções de rastreabilidade e de monitorização, garantido assim que os produtos possam voltar ao ciclo de produção.

As tecnologias da I4.0 estão muitas vezes interligadas. A AI, a IoT, a Cloud Computing e a Big Data criam sinergias entre si e juntas têm a capacidade de monitorizar a sustentabilidade e explorar recursos naturais suscetíveis a trocas simbióticas. Estas tecnologias facilitam o processo, permitindo integrar indústrias de diferentes setores onde os resíduos de umas indústrias podem servir de inputs a outras. Além da monitorização, rastreabilidade e integração vertical e horizontal, a Impressão 3D assume também um papel importante, neste caso para a customização e, portanto, para a flexibilidade no design de novos produtos. A Big Data tem como principal vantagem a previsão, reduzindo falhas e por isso reduzindo também o desperdício.

No âmbito da transição energética e descarbonização, é possível verificar que existe um grande potencial de aplicação das tecnologias 4.0, principalmente no setor energético, nomeadamente no que toca ao incentivo à implementação de energias renováveis e à sua otimização.

A AI é fundamental para a redução das emissões, permitindo fazer previsões e uma monitorização que rapidamente identifica os pontos problemáticos ao longo da cadeia de valor.

Dentro desta temática, tal como acontecia na EC, os sensores vão ter um papel fundamental ao permitir calcular e prever necessidades energéticas e identificar fontes de desperdício, diminuindo assim perdas de energia. A Impressão 3D tem um papel fundamental para a descarbonização e poderá ser aplicada em diversos setores. As diferentes indústria e empresas devem investigar como é que as novas geometrias oferecidas por esta tecnologia poderão contribuir para a diminuição de emissões dos seus processos ou para redução de emissões dos seus produtos finais. Além disso, a prototipagem rápida, só por isso, é já uma alternativa mais eficiente em termos energéticos do que os procedimentos convencionais.

A IoT, a Big Data e a Cloud Computing vão ter um papel fundamental, principalmente no setor energético, nomeadamente através das *smart-grids*, *mini-grids* e *virtual power plants*. Estas inovações vão permitir que a energia seja gerada e distribuída de forma mais inteligente, conduzindo a poupanças energéticas. O facto destas tecnologias contribuírem para a geração de uma energia limpa acelera a descarbonização. O papel da Big Data e da IoT é também fundamental para uma melhoria dos serviços de energia e oferta de soluções de eficiência energética aos consumidores individuais, onde estes podem agora fazer uma gestão inteligente da energia que consomem.



Ficha Técnica

Projeto

EcoEconomy 4.0 (apoiado por SIAC financiado pelo COMPETE 2020)

Estudo

Análise das tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 para potenciar a Economia Circular, a Descarbonização e a Transição Energética nas empresas

(Ação 1.5 do projeto EcoEconomy 4.0 – E-Book)

Autoria

EY-Parthenon

Equipa

Coordenação

Hermano Rodrigues

Diogo Martins

Equipa técnica

Beatriz Pereira

Rui Ferreira

Sofia Ferreira

Edição

Abril de 2021

Referência

642/21-EYP

Cofinanciado por:



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

ECO
ECONOMY 4.0