

## **Estudo Sobre os Impactos da Sustentabilidade na Indústria 4.0**

### ***Study on the Impacts of Sustainability on Industry 4.0***

Giuliana Maria Ferreira Reis<sup>1</sup>; Edvaldo José Scoton<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru/SP, Brasil.

E-mail (autor principal): [giulianafreis@outlook.com](mailto:giulianafreis@outlook.com)

## **RESUMO**

A Quarta Revolução Industrial, mais conhecida como indústria 4.0, propõe uma modificação relacionando pessoas, recursos e serviços por meio da tecnologia. No entanto, é importante associar o tema aos recursos ambientais, de forma que se possa realizar uma alteração socio-técnica sustentável, e assegurar um futuro inovador e sustentável. Desta maneira, a indústria 4.0 pode ser encarada como uma evolução dos modelos industriais anteriores adotados, ou uma nova concepção associada ao conceito da sustentabilidade, em que é necessário a utilização dos recursos mais eficientes e sustentáveis. Embora pesquisas identifiquem a sustentabilidade como o estímulo para a ampliação tecnológica e incentivo à indústria 4.0, é preciso salientar a eminência do esgotamento ecológico e de recursos no planeta. Logo, o objetivo deste trabalho foi apresentar a relação entre a sustentabilidade e a Indústria 4.0, por meio da literatura, buscando compreender os indícios que destacam a Indústria 4.0, dentro do âmbito prejudicial, mas também, entender quais metodologias podem ser agregadas para o apoio da sustentabilidade. Isto posto, conclui-se que o desenvolvimento sustentável é importante para, por um lado, assegurar o melhor manejo dos recursos naturais de forma que eles não se esgotem, e que seja possível atender às necessidades das gerações presentes e futuras. Neste contexto, estudos apontam que o conceito de Indústria 4.0 proporciona o aumento da produtividade, sustentabilidade e da colaboração nos sistemas de produção. Assim, a Indústria 4.0 na perspectiva da sustentabilidade, tem o potencial de trazer melhorias à sociedade, como o combate ao desperdício e à superprodução e o incentivo à economia de recursos naturais. Além disso, indústrias que oportunizam a aplicação de métodos de fabricação geradores de sustentabilidade tecnológica e social, apresentam melhorias não só no aspecto econômico, mas também no social e ambiental, promovendo avanços e modificando a estrutura das organizações.

Palavras-chaves: Inovação. Meio Ambiente. Tecnologia.

## ABSTRACT

*The Fourth Industrial Revolution, better known as industry 4.0, proposes a modification relating people, resources, and services through technology. However, it is important to associate the theme with environmental resources, so that a sustainable socio-technical change can be made and ensure an innovative and sustainable future. In this way, industry 4.0 can be seen as an evolution of previous industrial models adopted, or a new conception associated with the concept of sustainability, in which it is necessary to use more efficient and sustainable resources. Although research identifies sustainability as a stimulus for technological expansion and an incentive for industry 4.0, it is necessary to emphasize the imminence of ecological and resource depletion on the planet. Therefore, the objective of this work was to present the relationship between sustainability and Industry 4.0, through the literature, seeking to understand the signs that highlight Industry 4.0, within the harmful scope, but also to understand which methodologies can be added to support of sustainability. That said, it is concluded that sustainable development is important to, on the one hand, ensure the best management of natural resources so that they do not run out, and that it is possible to meet the needs of present and future generations. In this context, studies indicate that the industry 4.0 concept provides increased productivity, sustainability and collaboration in production systems. Thus, Industry 4.0 from a sustainability perspective has the potential to bring improvements to society, such as combating waste and overproduction and encouraging the saving of natural resources. In addition, industries that provide opportunities for the application of manufacturing methods that generate technological and social sustainability, show improvements not only in the economic aspect, but also in the social and environmental aspects, promoting advances and modifying the structure of organizations.*

*Keywords: Innovation. Environment. Technology.*

## INTRODUÇÃO

No contexto globalizado, o processo de urbanização das cidades tem resultado em diversos efeitos negativos para o meio ambiente. O excesso de poluição e lixo em ambientes urbanos e rurais ressalta a falta de equilíbrio e consciência da sociedade com os temas ambientais. A existência de empresas que comprometem a qualidade de vida decorre da má gestão da emissão de resíduos que gera desastres ambientais. Tais adversidades têm afetado o equilíbrio do meio ambiente e a vida humana, sendo necessário aprimorar o processo de conscientização e discussão desses problemas no ambiente escolar, utilizando estratégias que possam acompanhar o progresso e instigar novas atitudes e condutas eficientes (BALTAZAR, 2021).

O processo de globalização a que se assiste, defronta-se com o desafio de corresponder ao permanente crescimento a nível mundial da procura de bens de produção e consumo, enquanto

se assegura o desenvolvimento sustentável da existência humana na sua dimensão social, ambiental e econômica (BALTAZAR, 2021).

De acordo com Souza *et al* (2017), uma revolução é definida por sua capacidade em realizar grandes transformações no cenário político, social e econômico. Até o presente momento, o setor industrial passou por três revoluções significativas; a primeira grande revolução aconteceu na Inglaterra no século XVIII, com a criação da máquina a vapor em 1792. Neste período, iniciaram-se os conceitos de manufatura automatizada, simbolizada pelos teares mecânicos movidos à vapor.

Citando os estudos de Marostica (2021), na Idade da Pedra Polida (de 8000 a.C. a 4000 a.C.), a humanidade que, era até então caracterizada como caçadores e coletores, passam a cultivar alimentos e domesticar animais. A Primeira Revolução Industrial potencializou a motorização da produção através da máquina a vapor no século XIX. A Segunda Revolução Industrial, por meio do aço e da eletricidade, deu vida à produção em massa. A Terceira Revolução pode ser atribuída à automatização eletrônica das linhas produtivas e ficou também conhecida como revolução digital, que ocorreu cem anos depois, em meados de 1970. Agora, o mundo assiste à Quarta Revolução Industrial, baseada na digitalização dos processos industriais.

Ainda citando Marostica (2021), o termo “Indústria 4.0” surgiu a partir de 2011 de um projeto estratégico de alta tecnologia do governo alemão, ao promover a informatização da sua manufatura para estabelecer a Alemanha como um mercado líder e fornecedor de soluções avançadas. Uma associação de representantes de negócios, política e academia promoveu a ideia como uma abordagem para fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã.

A quarta revolução industrial, ou melhor, indústria 4.0; centraliza-se no desenvolvimento de processos e produtos mais autônomos e eficientes, além de oferecer soluções customizadas para produção, logística e clientes. Para tanto, utilizam-se tecnologias de automação industrial juntamente com sensores. O objetivo é criar um sistema produtivo mais inteligente, e ampliar a capacidade de resolução de problemas sem a necessidade de interferência humana. No entanto, para que isso aconteça, é mandatório haver uma constante troca de informações entre todas as etapas da cadeia produtiva (KOCH *et al.*, 2014).

Atender à crescente demanda mundial por bens de capital e de consumo de forma sustentável é sem dúvida, um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade atual. Sob a perspectiva de que as organizações buscam desenvolver estratégias que lhes permitam avançar para uma maior valorização dos produtos/ serviços prestados aos seus clientes (REQUEIJO; ABREU; CALADO; DIAS, 2018). A quarta revolução industrial pode potencialmente resolver muitas das limitações ecológicas e sociais das práticas e tecnologias industriais tradicionais; para fornecer um futuro mais sustentável (MORRAR; ARMAN; MOUSA, 2017).

Segundo Iaquinto (2018), a sustentabilidade está cada vez mais presente na vida de todos os indivíduos, ainda que esses não percebam, em razão da sua grande abordagem no mundo todo como uma forma de amenizar os problemas ambientais que o próprio ser humano causa ao planeta Terra.

A situação atual se encontra, social e ecologicamente, tão degradada que a continuidade da forma de habitar a Terra, de produzir, de distribuir e de consumir, desenvolvida nos últimos séculos, não nos oferece condições de salvar a nossa civilização e, talvez até, a própria espécie humana; daí que imperiosamente se impõe um novo começo, com novos conceitos, novas visões e novos sonhos, não excluídos os instrumentos científicos e técnicos indispensáveis; trata-se sem mais nem menos, de refundar o pacto social entre os humanos e o pacto natural com a natureza e a Mãe Terra. (BOFF, 2012, p. 15 apud. IAQUINTO, 2018).

No meio empresarial, a sustentabilidade foi introduzida pelo conceito de gestão sustentável, especificadamente em como as empresas produzem seus produtos e serviços, mantêm e melhoram os recursos humanos e naturais (SARTORI; LATRONICA; CAMPOS, 2014). O tripé da sustentabilidade é usado como uma ferramenta que mede o desempenho da organização e os compara com os quesitos econômicos, ambientais e sociais, de modo geral, este termo (tripé da sustentabilidade ou *Triple BottomLine*) é empregado para estabelecer valores e processos que as empresas devem adquirir com o intuito de reduzir os impactos causados nas três esferas: social, ambiental e econômica. (SPERS; MOTA; MARTINELLI, 2014)

Por se tratar de um tema contemporâneo e novo dentro do contexto científico, a intencionalidade da escolha da temática é coletar informações e resultados encontrados nos estudos já publicados, através de uma revisão bibliográfica, com o intuito de compreender os indícios que destacam a Indústria 4.0, dentro do âmbito prejudicial, onde o sistema industrial pode prejudicar o meio ambiente, mas também, buscando entender quais metodologias poderiam ser agregadas para o apoio da sustentabilidade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo teve como diretriz o estudo da Indústria 4.0 e a Sustentabilidade. De acordo com as classificações de Gil (2002), foi realizado um estudo qualitativo para levantamento bibliográfico, a fim de gerar maior conhecimento do tema, a partir de livros, teses, artigos científicos, jornais, periódicos e revistas. A pesquisa foi explicativa, aprofundando maior conhecimento com composto estudado. Após esse levantamento, efetivou-se a pesquisa básica, sem aplicação prática que comprovem sua funcionalidade, apenas referenciais de relevância. Quanto aos procedimentos, o artigo se classifica como pesquisa bibliográfica desenvolvida através de dados da pesquisa documental e bibliográfica.

## DESENVOLVIMENTO

### Meio Ambiente e o Brasil

O Brasil tem a maior biodiversidade do planeta e com isso, existe uma responsabilidade ambiental dentro do contexto. Porém, sabe-se que a legislações vigentes muitas vezes, não conseguem garantir o cuidado do meio ambiente existente, principalmente dentro da região Amazônica e outras localidades que possuem expansões da Mata Atlântica. Com isso, cria-se uma demanda dentro do Licenciamento Ambiental, para assim, minimizar danos ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, garantir o desenvolvimento social e econômico do país. Considerando a Biodiversidade que nosso país possui, ele acaba sendo rico em matérias-primas e sua expansão acaba proporcionando inúmeras possibilidades não só para o Brasil, mas para outros países (MELLO, N. A. 2006).

Com isso, inúmeras empresas acabam lucrando com base nas exportações e no desfrute dos recursos naturais que possuímos, com isso, a questão do licenciamento ambiental acaba sendo primordial para nosso meio social, principalmente, dentro do século XXI, onde a globalização cada dia mais se destaca e que, infelizmente, nem todas as corporações e pessoas, possuem uma responsabilidade sustentável (NORDAS e GLEDITSCH, 2007).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) e seus órgãos têm papel central na implementação das políticas ambientais, que não se resumem àquelas afetas ao setor agropecuário, englobando, entre outros, a preservação dos biomas brasileiros e promovendo a proteção da biodiversidade.

A Educação Ambiental e a sustentabilidade andam de mãos dadas para a formação de novos cidadãos preocupados com meio ambiente que faz parte do seu cotidiano. As Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental enfatizam bem o que é educação ambiental e a dimensão da sua importância para sociedade e para gerações futuras. Como consta no Artigo 2:

Art.2 - A Educação Ambiental é uma dimensão da educação, é atividade intencional da prática social, que deve imprimir ao desenvolvimento individual um caráter social em sua relação com a natureza e com os outros seres humanos, visando potencializar essa atividade humana com a finalidade de torná-la plena de prática social e de ética ambiental.

Uma vez que a preocupação não tem que sair apenas de governantes e sim da própria população que de certa forma está “acostumada” a ver suas áreas verdes cheias de resíduos de folhas de papel, sacos plásticos, chicletes, sem mencionar as garrafas PET que são tão comuns de ver entre vegetações, rios e lugares públicos que esquecemos que não fazem parte da paisagem (FURTADO, 2006)

A grande questão não é o sentimento por essa grande responsabilidade com o ambiente, mas sim, a sensação de um peso insuportável em que responsabilidade e impotência se confrontam, quando o resultado do processo educativo tão importante para a formação de cidadãos

preocupados com meio em que vive; não se reverte e muitas vezes nem se aplica em práticas cotidianas significativas (FURTADO, 2006)

Através da globalização, o mundo integra-se unindo as empresas, mercados e inclusive as pessoas. Como resultado deste fato, ampliou-se o consumo aumentando assim a poluição e o desperdício, devido à retirada constante de recursos naturais do planeta. Em função do aquecimento global e das diversas catástrofes naturais apoiadas pelas teorias do efeito estufa emergiu a preocupação com o meio ambiente (GUIMARÃES; VIANA; COSTA, 2015).

### **Desastres Ambientais e as Primeiras Movimentações para Mudança**

A Revolução Industrial constituída na Inglaterra, em meados do século XVIII, com a transição da manufatura para a indústria mecânica, gerando o acréscimo da produção e o avanço de novas tecnologias, modificou o modo de vida no planeta. No que lhe diz respeito, a evolução da medicina possibilitou o tratamento para diversas doenças, antes tidas como fatais, aumentando a expectativa de vida da população, tal como a mão de obra disponível (POTT; ESTRELA, 2017).

No entanto, a questão ambiental começou a ser abordada somente no final da década de 1960, quando a sociedade começou a perceber que o seu modo de vida e a consideração ao meio ambiente estavam em desacordo, sem estabelecer limites e critérios adequados. No começo, alguns episódios demonstravam a influência do crescimento desorganizado na vida da população e na saúde do meio ambiente, tidos como mal necessário para o progresso (GANZALA, 2018; RESENDE, 2018).

Em consequência apareceram problemas ambientais de pequenas e grandes proporções. Nesse sentido, alguns eventos de poluição atmosférica são citados na literatura, como o que aconteceu no Vale do Meuse, na Bélgica, em 1930, uma região com grande concentração de indústrias e fábricas resultou em condições meteorológicas desfavoráveis, como a ausência de ventos, que impediam a dispersão dos poluentes, logo, foi registrado um aumento de número de doenças respiratórias e um excesso de 60 mortes; em 1952, o smog fotoquímico em Londres, conhecido como “A Névoa Matadora” ou ‘Grande Nevoeiro’, provocou mais de quatro mil mortes num período de poucos dias de inversão térmica causada pela queima de combustíveis fósseis na indústria e nos transportes, sendo o primeiro a propiciar a movimentação das autoridades de saúde e a atenção em relação à qualidade do ar (BREGINSKI, 2015; RESENDE, 2018).

Além disso, eventos de contaminação de água também são ressaltados, em especial o caso da Baía de Minamata, no Japão, em 1956, que até o final de 1974 registrou 107 mortes oficiais e quase três mil casos em verificações, após uma indústria lançar dejetos na Baía, provocando a contaminação da água (ALENCAR, 2021).

Ainda em 1956, foi aprovada a Lei do Ar Puro na Inglaterra e novas Leis foram aprovadas na América do Norte e em inúmeros países da Europa Ocidental, além do Japão, possibilitando a constituição de agências de monitoramento, regulamentação e avaliação da qualidade ambiental (POTT; ESTRELA, 2017).

Na década de 60, foi publicado o livro “Primavera Silenciosa”, de Rachel Carson, no ápice da produção química dos chamados organoclorados, atualmente conhecidos como poluentes persistentes orgânicos e seu uso indiscriminado ainda na agricultura. Este livro foi tido como um marco do movimento ambientalista na década de 70 e, até hoje, é uma referência teórica e nos debates em saúde pública, por alertar ao público sobre as ameaças que os poluentes químicos orgânicos trazem ao ambiente e à população. Desta maneira, o livro foi apontado como início das discussões internacionais sobre o meio ambiente (SACCOMANI; MARCHI; SANCHES, 2018).

Como uma das primeiras políticas públicas do século XX relativo a meio ambiente, a Lei Federal 4.771 de 1965 modificou o código florestal brasileiro ativo desde 1934, pretendendo preservar os diferentes biomas, entretanto se mostrando contraditório por autorizar o total desmatamento de florestas desde que fossem replantadas, mesmo que com espécies exóticas. A Lei Federal n.4.771/1965 foi precedida, pela Lei 601 de 1850, promulgada por Dom Pedro II, que, conhecida como Lei das Terras, proibia a exploração florestal em terras descobertas, tendo sido em grande parte ignorada, naquele período, perante a demanda de terras para a implantação da monocultura de café (POTT; ESTRELA, 2017).

Em 1968, a Conferência Intergovernamental de Especialistas sobre as Bases Científicas para Uso e Conservação Racionais dos Recursos da Biosfera, reconhecida como Conferência da Biosfera, organizada pela UNESCO, influenciou nas discussões acerca da utilização racional e conservação da biosfera, além de compactuar com pesquisas em ecologia. Nessa ocasião, foram definidas as bases para a criação de um programa internacional reconhecido como “*Man and Biosphere*” (Homem e à Biosfera), efetivamente criado em 1970 (QUINTELA, 2017).

Posteriormente, em 1969, os Estados Unidos da América formalizaram a Lei da Política Ambiental (Nepa – *National Environmental Policy Act*) que modernizou com a Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), para abranger, sob participação pública e de forma obrigatória, os processos políticos de tomada de decisões, e a variável ambiental na análise interdisciplinar de planos, programas e projetos de intervenção na área ambiental (POTT; ESTRELA, 2017).

A década de 70 foi marcada pelo agravamento dos problemas ambientais e, consequentemente, pela maior conscientização desses problemas em todo o mundo. Logo, em 1971, foi realizado em Brasília, o I Simpósio sobre Poluição Ambiental, por iniciativa da Comissão Especial da Câmara dos Deputados sobre Poluição Ambiental. Entretanto, somente após a participação da delegação brasileira na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, em 1972, em Estocolmo, é que as medidas efetivas foram tomadas com relação ao meio ambiente no Brasil (FERREIRA *et al.*, 2019).

## Análise e Dimensões do Conceito de Sustentabilidade

Com base nos estudos de Sachs (1993), em relação às dimensões do desenvolvimento sustentável, o autor Ignacy Sachs, economista polonês e naturalizado francês conceitua o termo a partir de 8 dimensões específicas da sustentabilidade, a saber: dimensão ambiental, econômica, social, cultural, espacial, psicológica, política nacional e internacional. O autor destaca também que o atingimento da plenitude do que se considera “desenvolvimento sustentável” depende do alcance de todas as 8 dimensões da sustentabilidade (SACHS, IGNACY 1993)

Todo o planejamento de desenvolvimento precisa levar em conta, simultaneamente, as seguintes cinco dimensões de sustentabilidade, na qual Ignacy Sachs (1993) as descrevem como:

1. Social, que se entende como a criação de um processo de desenvolvimento que seja sustentado por um outro crescimento e subsidiado por uma outra visão do que seja uma sociedade boa. A meta é construir uma civilização com maior equidade na distribuição de renda e de bens, de modo a reduzir o abismo entre os padrões de vida dos ricos e dos pobres (SACHS, IGNACY 1993).

2. Econômica, que deve ser tornada possível através da alocação e do gerenciamento mais eficiente dos recursos e de um fluxo constante de investimentos públicos e privados. Uma condição importante é a de ultrapassar as configurações externas negativas resultantes do ônus do serviço da dívida e da saída líquida de recursos financeiros do Sul, dos termos de troca desfavoráveis, das barreiras protecionistas ainda existentes no Norte e do acesso limitado à ciência e tecnologia. A eficiência econômica deve ser avaliada em termos macrossociais, e não apenas através do critério da rentabilidade empresarial de caráter microeconômico (SACHS, IGNACY 1993).

3. Ecológica, que pode ser melhorada utilizando-se das seguintes ferramentas (SACHS, IGNACY 1993):

- Ampliar a capacidade de carga da espaçonave Terra, através da criatividade, isto é, intensificando o uso do potencial de recursos dos diversos ecossistemas, com um mínimo de danos aos sistemas de sustentação da vida

- Limitar o consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos e produtos que são facilmente esgotáveis ou danosos ao meio ambiente, substituindo-os por recursos ou produtos renováveis e/ou abundantes, usados de forma não agressiva ao meio ambiente;

- Reduzir o volume de resíduos e de poluição, através da conservação de energia e de recursos e da reciclagem;

- Promover a autolimitação no consumo de materiais por parte dos países ricos e dos indivíduos em todo o planeta;

- Intensifica a pesquisa para a obtenção de tecnologias de baixo teor de resíduos e eficientes no uso de recursos para o desenvolvimento urbano, rural e industrial;



- Definir normas para uma adequada proteção ambiental, desenhando a máquina institucional e selecionando o composto de instrumentos econômicos, legais e administrativos necessários para o seu cumprimento.

4. Espacial, que de ser dirigida para a obtenção de uma configuração rural-urbana mais equilibrada e uma melhor distribuição territorial de assentamentos urbanos e atividades econômicas, com ênfase no que segue (SACHS, IGNACY 1993):

- Reduzir a concentração excessiva nas áreas metropolitanas;
- Frear a destruição de ecossistemas frágeis, mas de grande importância, através de processos de colonização sem controle;
- Promover a agricultura e a exploração agrícola das florestas através de técnicas modernas, regenerativas, por pequenos agricultores, notadamente através do uso de pacotes tecnológicos adequados, do crédito e do acesso a mercados;
- Explorar o potencial da industrialização descentralizada, acoplada à nova geração de tecnologias, com referência especial às indústrias de biomassa e do seu papel na criação de oportunidades de emprego não-agrícolas nas áreas rurais;
- Criar uma rede de reservas naturais e de biosfera, para proteger a biodiversidade.

5. Cultural: incluindo a procura de raízes endógenas de processos de modernização e de sistemas agrícolas integrados, processos que busquem mudanças dentro da continuidade cultural e que traduzam o conceito normativo de eco desenvolvimento em um conjunto de soluções específicas para o local, o ecossistema, a cultura e a área (SACHS, IGNACY 1993).

## Processos Produtivos Sustentáveis

A “produção sustentável” pode ser entendida como sendo a incorporação, ao longo de todo o ciclo de vida de bens e serviços, das melhores alternativas possíveis para minimizar impactos ambientais e sociais. A grande proposta é continuar atendendo às demandas atuais sem deixar de lado a preocupação com o planeta. (ALIGLERI, LILIAN, 2016).

No embasamento de Dutra *et al.* (2018), os processos produtivos são um conjunto de atividades de transformação que toma um *input*, agrega valor e resulta em um *output* de valor econômico útil para atender a um cliente particular. Neste contexto, estas atividades transformadoras para alcançar objetivos de continuidade, qualidade e produtividade necessitam trazer para o escopo das empresas as três dimensões da sustentabilidade: a primeira dimensão se refere à responsabilidade tradicional do lucro corporativo, a dimensão social se preocupada com as pessoas nas organizações, sua saúde e segurança, e pôr fim a dimensão ambiental, que demonstra quão ambientalmente responsável tem sido a organização. Ao trabalhar com as três dimensões de forma articulada nas empresas, se adota a abordagem da *triple bottom line*, os três Ps: *Profit, People, Planet* (DUTRA, 2018).

Agnello *et al* (2015), salienta que para assegurar atividades econômicas de maneira sustentável, por meio da preservação da natureza e da garantia de um ambiente adequado às gerações futuras, as tecnologias ambientais foram se aprimorando ao longo das décadas. Com isso, surgem alguns processos que podem ser relacionados no âmbito sustentável, como:

**Ecodesign** - A ideia básica do ecodesign é a redução dos impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida do produto por meio de um design aprimorado. É entendido como agregamento as dimensões ambientais e sociais do desenvolvimento do produto, de forma econômica, funcional e segura (CARTA; TISCHNER, 2001).

De acordo com a norma DIN EN ISO 14006 (DIN EN ISO, 2011), o Ecodesign é definido como a “integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, com o objetivo de reduzir impactos ambientais adversos ao longo do ciclo de vida de um produto”.

**Produção mais limpa** - A produção mais limpa são tecnologias utilizadas para extrair e usar os recursos naturais de forma tão eficiente quanto possível, em todas as fases de do ciclo de vida; que geram produtos de maneira reduzida ou zero de componentes nocivos; que minimizam as liberações para o ar, água e sujeira durante a fabricação e uso do produto; e que produzem produtos duráveis que podem ser recuperados ou reciclados tanto quanto possível (HENS *et al.*, 2017).

**Análise do Ciclo de Vida** - O conceito de ciclo de vida foi definido na ISO 14040 (1997) como “estágios consecutivos e interligados de um sistema de produção, desde a aquisição de matéria-prima ou geração de recursos naturais até a disposição final”. É uma metodologia aparentemente simples para avaliar todos os impactos ambientais de um produto (ou serviço), do ‘berço ao túmulo’, desde a extração inicial e processamento de matérias-primas até a disposição final. (JOHANSSON, 2000).

Desta forma, na visão da sustentabilidade, a Indústria 4.0 pode causar forte impacto, pelo fato de que torna mais eficiente o uso de recursos naturais e permite melhoria no uso de fontes de energia renováveis, além de combater o desperdício e à superprodução. Ademais, as indústrias que aderem a aplicação de métodos de fabricação geradores de sustentabilidade tecnológica e social melhoram a sociedade e as condições de trabalho de seus empregados (GONÇALVES; 2019; CARVALHO *et al.*, 2022).

## A Indústria 4.0

Para Heber (2015), a indústria 4.0 faz parte de uma relevante descoberta do governo alemão, no qual busca apresentar um novo modelo de fabricação computadorizada, realizando a união entre os campos dos processos físicos e digitais. Ou seja, para o autor esse novo modelo de revolução industrial, busca aumentar as formas de comunicação das máquinas cada vez me-

nos sem a interferência dos seres humanos. Para Lu (2017), a indústria 4.0 pode ser entendida como um relevante processo, marcado pela automação de processos de digitalização e uso de ferramentas a Tecnologia da Informação para fabricação de produtos e serviços.

Segundo Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016), a indústria 4.0 representa a aplicação de conceitos dos sistemas ciber-físicos (CPS) e tecnologias que visam a construção de fábricas inteligentes, nas quais a dependência dos seres humanos diante o comando das máquinas seja cada vez menor (ELANGESWARAN; WULFSBERG 2016).

Segundo Branger e Pang (2015), as tecnologias associadas a nova revolução industrial são fundamentais para os processos de digitalização das empresas, no qual estas se tornam responsáveis pelo desenvolvimento das atividades organizacionais (BRANGER; PANG 2015).

Autores como Oesterreich e Teuteberg (2016), apontam que mesmo com a maturidade e facilidade com que essas tecnologias se encontram disponíveis ao acesso das organizações, sua utilização não tem atingido os resultados almejados. Os estudiosos reforçam que as adoções de atividades para a digitalização e a automação de processos devem considerar as questões políticas, econômicas, sociais, ambientais e não somente a implantação das práticas tecnológicas, o que para muitas empresas ainda se torna um grande obstáculo (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016).

De acordo com Tropa (2017), o uso de tecnologias digitais no ambiente fabril tem sido potencializado e considerado como responsável por promover a próxima revolução industrial, também chamada de “Indústria 4.0”, uma revolução não atribuída à mecanização dos processos de trabalho e sim a uma sofisticação deles, ao utilizar de forma intensiva a tecnologia da informação e de ferramentas que estarão disponíveis. (TROPIA, 2017).

A Indústria 4.0 considera a interface entre o universo físico de produção e a conectividade em redes no ambiente virtual, permitindo que recursos, informações, objetos e pessoas estejam conectados. De fato, o que se observa é que estão sendo estabelecidos os pilares fundamentais da quarta revolução industrial e esses já se apresentam como um novo patamar de evolução para a produção industrial. Nesse contexto, a Figura 2 representa o cenário da Indústria 4.0.

Os avanços tecnológicos, baseados principalmente na nanotecnologia, também ocorrem via criação de novos materiais capazes de se regenerar, auto limpar ou, como já ocorre com alguns novos metais, a capacidade de retornar a sua forma original. Algumas dessas inovações, como o grafeno (uma forma cristalina do carbono, duzentas vezes mais resistente do que o aço e eficiente condutor de calor e eletricidade), ainda não têm um preço de produção competitivo, mas, assim como outros Nano materiais, ele pode se tornar economicamente viável. Nesse sentido, a expansão da comercialização e utilização desses tipos de materiais podem alterar fortemente economias com alta dependência de *commodities* (SCHWAB, 2016).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como parte da pesquisa de fundamentação teórica deste trabalho, foram encontrados estudos relacionados a indústria 4.0 e a sustentabilidade e 5 dos estudos foram selecionados, em função da sua relevância com os objetivos, visando demonstrar os resultados das visões sobre a indústria 4.0 em conjunto a sustentabilidade.

### **As Vantagens das Aplicações da Indústria 4.0 para a Sustentabilidade: Resultados de uma Amostra de Empresas de Manufatura**

Neste trabalho, Brozzi *et al* (2020), mostra os resultados parciais de um estudo baseado em pesquisa com 65 empresas da região de Marche, na Itália. Duas perguntas de pesquisa foram definidas para o estudo e respondidas com base nos resultados, sendo a primeira se a Indústria 4.0 é vista como benéfica para a sustentabilidade (considerando a dimensão econômica, ambiental e social), e a segunda se existem diferentes visões sobre esse aspecto, dependendo de fatores como tamanho, volume de negócios ou nível digital das empresas.

Os resultados apresentados levantaram três hipóteses divididas entre as duas perguntas. A primeira (H1) mostra que atualmente a Indústria 4.0 não é vista como benéfica para alcançar a sustentabilidade ambiental pela maioria das empresas. As vantagens relativas às dimensões econômicas da sustentabilidade prevalecem também sobre as considerações sociais da sustentabilidade. Já na segunda (H2), mostra que as empresas, independentemente do seu porte (pequeno, médio, grande) e nível de faturamento (pequeno, médio, grande), não consideram a Indústria 4.0 vantajosa para alcançar a sustentabilidade ambiental. Na terceira (H3) apresentou-se que a Indústria 4.0 não é considerada benéfica para a sustentabilidade ambiental, independentemente do nível digital atual das empresas.

No entanto tenha sido demonstrado que algumas pesquisas recentes indicam vínculos positivos entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade ambiental, os resultados deste estudo mostram que as empresas não estão totalmente cientes disso. No geral, é evidente que questões como a sustentabilidade social e ambiental são muitas vezes negligenciadas pelas empresas em prol da sustentabilidade econômica. Vemos, portanto, uma grande necessidade de ações de transferência de conhecimento no futuro, mas também de comprovar uma correlação positiva entre a Indústria 4.0, a sustentabilidade e o desempenho das empresas por meio de pesquisas aplicadas e estudos de casos industriais reais.

### **Análise do Potencial Ambiental Através da Implementação da Indústria 4.0**

Gabriel e Pessl (2016) mostram que as tecnologias da Indústria 4.0 têm algum potencial para empresas de manufatura e que o controle ideal de processos, máquinas e recursos pode ser alcançado pela coleta de dados em tempo real, tornando-se possível reagir com flexibilidade

a qualquer mudança. Um dos pontos principais mostrados é que a I4.0 facilita o gerenciamento de energia mais eficiente, permitindo que o pico de energia ou o consumo de energia sejam medidos automaticamente usando medidores inteligentes. Além disso, através do uso do I4.0, a capacidade de reciclagem pode melhorar significativamente. Os sistemas embarcados podem ser instalados nos menores componentes e, assim, armazenar informações. Isso aumenta o grau de reciclabilidade, pois as empresas sabem como os componentes podem ser usados de maneira diferente no final de seu ciclo de vida. Também se mostrou possível a implementação de estratégias de reciclagem eficientes, como *upcycling*, para garantir que os componentes sejam processados com eficiência. Além disso, novas tecnologias, como a impressão 3D, geram menos desperdício e as empresas podem fabricar peças de reposição a um custo menor.

Outro potencial dentro da quarta revolução industrial é a força motriz do mercado e da legislação, pois podem obrigar as empresas a lidar com tecnologias I4.0 para proteger o meio ambiente. Graças ao alto grau de networking entre máquinas, pessoas e locais da empresa, é possível reduzir ao mínimo as viagens de negócios e, assim, contribuir para a proteção do meio ambiente.

A pesquisa bibliográfica e o estudo empírico mostram que diferentes potenciais podem ser alcançados através das tecnologias I4.0. No entanto, é importante observar que, para os especialistas entrevistados, os problemas ecológicos por si só não são uma razão poderosa para as empresas implementarem conceitos de tecnologia como o I4.0. Isso se deve aos altos valores de investimento necessários.

Por fim, concluiu-se que as questões ecológicas terão um papel cada vez mais importante no futuro e que as empresas terão de encontrar formas de lidar com elas. Isso pode ser feito de diferentes maneiras. É fundamental que os novos conceitos tecnológicos como o I4.0 não sejam ignorados, pois estes irão salvaguardar a competitividade e a proteção do ambiente no futuro. A Indústria 4.0 não é um produto que é implementado em uma empresa. É um processo que ainda está em seus estágios iniciais, mas os componentes tecnológicos já existem há anos. Por esta razão, existe um potencial considerável para aumentar a produtividade industrial. O que falta aqui é a atitude das empresas de se dedicarem ao conceito tecnológico, de forma a se tornarem mais eficientes não só a nível econômico, mas também a nível sustentável.

### **A Aplicação das Tecnologias da Indústria 4.0 na Logística Sustentável: uma revisão sistemática da literatura (2012 – 2020) para explorar futuras oportunidades de pesquisa**

Neste trabalho, Sun *et al* (2022), analisou como os conceitos de logística sustentável e Indústria 4.0 têm sido focados por muitos pesquisadores devido à crescente necessidade de uma logística inteligente e sustentável impulsionada pela tecnologia. A pesquisa forneceu uma revisão sistemática da literatura com foco no recente desenvolvimento e adoção de várias tecnolo-

gias da Indústria 4.0 em logística sustentável em ambos os níveis intra e interempresarial. Os resultados apresentados mostram que existe um foco crescente a logística sustentável habilitada pela Indústria 4.0, na qual é uma área que atrai pesquisadores e profissionais em todo o mundo. Os resultados sugerem que a cooperação entre pesquisadores deve ser aprimorada no futuro. Além disso, o artigo analisou o cenário atual de pesquisa e como a mudança de paradigma de várias atividades logísticas é impulsionada pelos avanços tecnológicos, e suas implicações na melhoria da sustentabilidade econômica, ambiental e social são discutidas. Com base nisso, as lacunas e oportunidades são identificadas para orientar pesquisas futuras.

Do ponto de vista prático, os resultados fornecem insights para a aplicação potencial das tecnologias da Indústria 4.0 para aprimorar as práticas de logística sustentável, o que promoverá a transferência de conhecimento da pesquisa acadêmica para aplicações industriais. Em particular, o uso de plataformas de suporte à decisão baseadas em dados pode fornecer ferramentas econômicas, seguras e confiáveis para uma melhor compreensão e análise da eficácia e dos desafios da adoção de novas tecnologias, soluções digitais e modelos de negócios em sistemas logísticos sustentáveis.

De uma perspectiva mais ampla, essas discussões também fornecem a outras empresas implicações e alguns exemplos de sucesso para orientar suas transformações logísticas na era da Indústria 4.0. Além disso, os desafios da Indústria 4.0 a sistemas logísticos sustentáveis precisam ser observados nessa transformação tecnológica e operacional. Deve-se ter em mente que os benefícios nunca devem ser superestimados, e os desafios e compromissos exigidos nunca devem ser subestimados.

### **Impacto da Indústria 4.0 na Sustentabilidade Ambiental Corporativa: Comparação das Percepções de Profissionais da China, Brasil e Alemanha**

Beier *et al* (2022) e colaboradores mostram como as tecnologias digitais podem potencialmente impulsionar a transformação da produção industrial em direção a uma economia mais sustentável, o que é um pré-requisito para que os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU sejam alcançados. Para isso, dois objetivos são essenciais para tornar a produção industrial ambientalmente mais sustentável: a descarbonização e a desmaterialização a nível global. Por essas razões, o estudo investigou empiricamente os potenciais para reduzir a demanda de recursos (desmaterialização) e energia, bem como as oportunidades de acoplar o industrial com o setor de energia (descarbonização) por meio da ampla aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 olhando para o Brasil, China e Alemanha.

Segundo os autores, a comparação desses potenciais foi de uma perspectiva de multipaíses, na qual é uma novidade para esse campo de pesquisa emergente. Uma primeira constatação mostra que dez anos após a introdução do conceito de Indústria 4.0, o nível atual de sua im-

plementação na indústria ainda é medíocre, com empresas alemãs ligeiramente atrás de suas contrapartes brasileiras e chinesas.

Além disso, a análise mostrou que a atitude positiva de que a digitalização dos processos de produção de acordo com a Indústria 4.0 irá levantar automaticamente a ganhos de eficiência também é comum entre os profissionais da indústria. A maioria dos entrevistados mostrou esperar uma melhoria da sustentabilidade ambiental de suas respectivas empresas devido à ampla aplicação das tecnologias da Indústria 4.0. Ao mesmo tempo, as expectativas quanto a melhorias na eficiência de recursos são cautelosas.

As razões para essas observações podem ser muitas: Essas descobertas são uma forte indicação para os formuladores de políticas e profissionais de que a Indústria 4.0 não levará automaticamente a melhorias ambientais; em vez disso, essa transformação em direção a uma economia mais sustentável precisa ser acompanhada por medidas de apoio, como uma regulamentação que inclua metas claras e incentivos adequados.

### **Impacto da Indústria 4.0 na Sustentabilidade Ambiental**

Os autores Oláh *et al* (2020) mostraram dificuldade e complexidade com o tema estudado e a sua importância para as gerações futuras. Segundo os autores, são necessárias mais pesquisas, não apenas sobre a sustentabilidade ambiental, mas também sobre a sustentabilidade social e econômica.

Segundo eles, os formuladores de políticas se beneficiariam da pesquisa baseada em cenários; eles poderão prever a existência de impactos causados pela reformulação da Indústria 4.0 nos sistemas de produção. No entanto, a Indústria 4.0 ainda está evoluindo e enfrenta muitos desafios que precisam ser estudados com frequência para evitar um impacto negativo na sustentabilidade ambiental.

Todos os dias há um aumento da população e do consumo de recursos, enquanto negligenciamos o uso da tecnologia (Indústria 4.0) que pode controlar a situação a um ritmo significativo e apoiar a sustentabilidade. Muita atenção tem sido dada ao lucro, esquecendo-se da preservação do meio ambiente e dos aspectos sociais. A sustentabilidade não pode ser alcançada lidando com um aspecto, mas tem três linhas de fundo. A Indústria 4.0 é uma ferramenta muito importante que pode ser utilizada para eliminar os desafios, embora se não for bem integrada pode ser um desastre. O futuro mostra que certamente não haverá mais recursos, pois, o consumo diário e a produção aumentam a um ritmo crescente. No entanto, reciclar, reutilizar e reduzir podem ser de grande ajuda, se bem administrados.

Portanto, todas as partes interessadas são incentivadas a colocar esses 3Rs em prática. Além disso, o uso da tecnologia – ou seja, Indústria 4.0 – é altamente incentivado. Mais pesqui-

sas podem ser feitas sobre os 3Rs empregando uma metodologia científica. Além disso, mais fundos devem ser reservados pelos governos para realizar pesquisa e desenvolvimento, o que dará aos formuladores de políticas uma vantagem adicional ao antecipar os piores cenários.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentro de nossa sociedade contemporânea, principalmente pela globalização, estamos vivenciando um momento tecnológico bem expansivo e com isso, questões ambientais acabam sendo preocupantes, principalmente pela questão de matéria-prima, energia e poluição. Além disso, é importante considerar também que para chegar onde na Indústria 4.0, muitos acontecimentos ocorreram, principalmente durante os períodos de Revolução Industrial passados.

A Indústria 4.0 tem impacto significativo na produtividade, pois aumenta a eficiência do uso de recursos e no desenvolvimento de produtos em larga escala, além de propiciar a integração do Brasil em cadeias globais de valor. Além disso, implicará em transformações na gestão empresarial, principalmente em dois aspectos. Na indústria 4.0 pessoas, sistemas e máquinas estão mais bem integrados, possibilitando um processo de produção muito mais ágil e inteligente, ao mesmo tempo, ele é sustentável e econômico. Assim a empresa consegue produzir mais com um custo menor e mantendo a qualidade.

A definição mais aceita para desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro. O desenvolvimento sustentável é importante para, por um lado, assegurar o melhor manejo dos recursos naturais de forma que eles não se esgotem, e que seja possível atender às necessidades das gerações presentes e futuras.

Logo, a globalização e resposta às preocupações ambientais apontam a busca por pesquisas na área de manufatura sustentável em nível global. Assim, a metodologia da Indústria 4.0 possibilita o aumento da produtividade, sustentabilidade e da colaboração nos sistemas de produção. Além disso, a Indústria 4.0 pode tornar mais eficiente o uso de recursos naturais e permitir melhoria no uso de fontes de energia renováveis, além de diminuir os desperdícios. Indústrias que aderem a métodos de sustentabilidade tecnológica e social melhoram a sociedade e as condições de trabalho de seus empregados, através da automação. Sendo assim, as tecnologias facilitam com que as empresas tornem as operações mais sustentáveis, pois ocorre a otimização do processo produtivo, monitoramento constante e diminuição de resíduos na produção, e permite maior eficiência e otimização do tempo, diminuindo perdas dentro das organizações.

Portanto, a indústria 4.0 tem como premissa a conexão entre dispositivos inteligentes, tanto na cadeia de produção quanto na logística das organizações. Isto é, conectar máquinas, sistemas e ativos com a intenção de criar redes inteligentes para aperfeiçoar o controle produtivo.



## REFERÊNCIAS

AGNELLO, X; NAVEEN, J; RAVICHANDRAN, M; BALAMURUGAN. J. Clean Technology and its Efficacy: Strategies of Environmental Management. *J Environ Soc Sci.* 2(2), pp.1-6. 2015.

ALENCAR, Thaiane Maria Eufrásio. Estilo de vida minimalista: como reduzir o consumo fomenta a diminuição de impactos ambientais negativos. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). 67p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/37142/1/EstiloVidaMinimalista\\_Alencar\\_2021.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/37142/1/EstiloVidaMinimalista_Alencar_2021.pdf). Acesso em 18 de novembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10520: Informação e Documentação: Citações em Documentos: Apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

BALTAZAR, A. F. A. B. Indústria 4.0 e sustentabilidade. Universidade de Lisboa. Artigo. 2021. Disponível em: < <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/21090/1/DM-AFA-BB-2021.pdf>>.

BEIER, Grisca *et al.* Impact of Industry 4.0 on corporate environmental sustainability: Comparing. *Sustainable Production and Consumption* v. 31.pp.287-300.2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352550922000513>. Acesso em 23 de novembro de 2022.

BREGINSKI, Herminia Dallegrave Bonfim. Qualidade do ar: estudo sobre a presença de formaldeído. Dissertação (Mestre em Engenharia da Construção Civil). 136p. Universidade Federal do Paraná. Curitiba.2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/147521486.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

BOFF, L. Sustentabilidade: o que é – o que não é. Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BRANGER, J.; PANG, Z. From automated home to sustainable, healthy and manufacturing home: a new story enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0. *Journal of Management Analytics*, v. 2, n. 4, p. 314-332, 2015.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima. Brasília: [s.n.], 1999.

BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental. Lei 9.795/1999.

BRASIL. Presidência da República. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Negociações internacionais sobre a mudança do clima. In: \_\_\_\_\_. *Mudança do clima*. Brasília: [s.n.], 2005a, v. 1 (CADERNOS NAE, 04). p. 41-147. BRASIL. Presidência da República. Núcleo de Assuntos Estratégicos. Oportunidades de negócios em segmentos produtivos nacionais.

FONSECA, Rafael Oliveira. Compensação ambiental: da contradição à valorização do meio ambiente no Brasil. *Revista Sociedade & Natureza (em negrito)*. *Urbelândia*.v.27.n.2.pp.209-222.2015. Disponível em: o link do artigo. Acesso em: 15 de novembro de 2022

BROZZI, Ricardo *et al.* The Advantages of Industry 4.0 Applications for Sustainability: Results from a Sample of Manufacturing Companies. *Sustainability*.v.12. n.9. pp.2-19.2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/9/3647>. Acesso em 23 de novembro de 2022.

CARVALHO, Andriele De Prá *et al.* A relação da indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*.v.15. n.2. pp.1-16.2022. Disponível em: <https://etech.emnuvens.com.br/revista-cientifica/article/download/1197/117/3448>. Acesso em 09 de dezembro de 2022.

DUTRA, É. M. C. et al. Processos produtivos sustentáveis: as contribuições das abordagens ergonômicas e da produção mais limpa. Artigo. UNISUL. 2018. Disponível em: < <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/15005/1/Processos%20produtivos%20sustent%C3%A1veis.pdf>>.

FERREIRA, Lucimary da Silva Pedro *et al.* A interdisciplinaridade na educação ambiental. *Revista Transformar*. v.13. n.1.2019. Disponível em: <http://www.fsj.edu.br/transformar/index.php/transformar/article/view/216/157>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

GANZALA, Gabryelly Godois. A industrialização, impactos ambientais e a necessidade de desenvolvimento de políticas ambientais sustentáveis no século XXI. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Relações Internacionais). 13p. Centro Universitário Internacional. 2018. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/bitstream/handle/1/295/1355104%20-%20GABRYELLY%20GODOIS%20GANZALA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projeto de pesquisa. 4<sup>o</sup>ed. São Paulo. Editora Atlas S.A. 2002. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em 22 de novembro de 2022.

GONÇALVES, Yasmin Pires. Contribuições da indústria 4.0 nas operações sustentáveis. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). 62p. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia-MG. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/28396/4/Contribui%C3%A7%C3%B5esInd%C3%A1ustria4.0.pdf>. Acesso em 09 de dezembro de 2022.

HEBER, A. Business Insider. São Paulo, 2015.

HERMANN, H., PENTEK, T., OTTO, B. Design Principles for Industry 4.0 scenarios: a literature review. Technische Universität Dortmund (2015), Alemanha.

IAQUINTO, B. O. A sustentabilidade e suas dimensões. *Revista da EMESC*. Artigo. 2019. Disponível em: <https://revista.esmesc.org.br/re/article/view/187>.

KOCH, V.; KUGE, S.; GEISSBAUER, R.; SCHRAUF, S. Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. *Strategy and Company*, 2014.

LU, Y. Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, v. 6, p. 1-10, 2017.

M, Gabriel; E. Pessl. Analysis of environmental potential by implementing industry 4.0. *Industry 4.0*.v.1.n.2.pp. 141–144.2016. Disponível em: <https://stumejournals.com/journals/i4/2016/2/141.full.pdf>. Acesso em 23 de novembro de 2022.

MAROSTICA, S. J. F. Indústria 4.0, Inovação e Sustentabilidade. Artigo. VIA. UFSC. 2021. Disponível em: < <https://via.ufsc.br/industria-4-0-inovacao-e-sustentabilidade/#:~:text=Na%20Idade%20da%20Pedra%20Polida,a%20vapor%20no%20s%C3%A9culo%20XIX.>>.>

MOREIRA, H. M; GIOMETTI, A. B. R. O Protocolo de Quioto e as Possibilidades de Inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de Projetos em Energia Limpa. Rio de Janeiro, vol. 30, no 1, janeiro/abril 2008, p. 9-47. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cint/a/9RkZZcmTbc6mm8wRHHc5j3Q/?lang=pt&format=pdf>>.

MORRAR, R.; ARMAN; MOUSA, S. (2017). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): a social innovation perspective. *Technology innovation management review*, 7(11), 12-20. <http://doi.org/10.22215/timreview/1117>.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, v. 83, p. 121-139, 2016.

OLÁH, Judit *et al.* Impact of Industry 4.0 on Environmental Sustainability. *Sustainability*, v. 12, n.11, pp. 1-21. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4674>. Acesso em 23 de novembro de 2022.

POTTI, Crisla Maciel. ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avançados*. v.31.n.89.p.271-283. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/pL9zbDbZCwW68Z7PMF5fCd/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

QUINTELA, Patrick Diniz Alves. Análise da sustentabilidade e do potencial de implantação de uma reserva da biosfera no Marajó, Pará. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais). 99p. Universidade Federal do Pará. Belém. 2017. Disponível em: [http://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/10606/1/Dissertacao\\_AnaliseSustentabilidadePotencial.pdf](http://repositorio.ufpa.br/bitstream/2011/10606/1/Dissertacao_AnaliseSustentabilidadePotencial.pdf). Acesso em 18 de novembro de 2022.

RESENDE, Aline Zuntine. Educação ambiental: a conexão entre meio ambiente e cidadania.

Monografia (Pós-Graduação em Gestão Ambiental). 39p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/22513/2/educacaoambientalambienteecidadania.pdf>. Acesso em 18 de novembro de 2022.

REQUEIJO, J. F. G.; ABREU, A. J.; CALADO, J. M. F; DIAS, A. S. M. da E. (2018). Six sigma business scorecard approach to support maintenance projects in a collaborative context. *Revista produção e desenvolvimento*, 4(1), 82-97. <http://dx.doi.org/10.32358/rpd.2018.v4.313>.

RODRIGUES, M. A. Protocolo de Kyoto e mecanismo de desenvolvimento limpo: uma análise jurídico-ambiental. *Interesse Público*, Porto Alegre, n. 24, p. 29-38, mar./abr. 2004.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. In: BURSZTYN, M. Para Pensar o Desenvolvimento Sustentável. São Paulo: Brasiliense, 1993. p. 29-56.

SACCOMANI, Raquel, MARCHI, Luis Fernando Bartolomeu. SANCHES, Rosely Alvim. Primavera Silenciosa: uma resenha. *Revista Saúde em Foco*. Edição nº 010.p.739-748. 2018. Disponível em: [https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/09/085\\_PRIMAVERA-SILENCIOSA-uma-resenha.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2018/09/085_PRIMAVERA-SILENCIOSA-uma-resenha.pdf). Acesso em 18 de novembro de 2022.

SARTORI, S; LATRÔNICO, F; CAMPOS, L M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v17n1/v17n1a02.pdf>>.

SILVA, J. C. D. Responsabilidade Social e Ambiental nas Estratégias de Marketing das Empresas. Artigo. 2015. Disponível em: <<https://www2.faccat.br/portal/sites/default/files/Responsabilidade%20Social%20e%20Ambiental.pdf>>.

SOUZA, P.; CAVALLARI JUNIOR, S. J.; DELGADO NETO, G.G. 4.0: Contribuições para o setor produtivo moderno. Artigo. Joinville. 2017. Disponível em: <[https://abepro.org.br/biblioteca/tn\\_wic\\_238\\_384\\_34537.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/tn_wic_238_384_34537.pdf)>.

SPERS, V. R. E.; MOTA, M. G. M; MARTINELI, P. P. H. Conversando sobre Administração: Foco na Responsabilidade Social. Campo Grande: Life, 2014. 176 p. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=WmtlCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq.>>.

SUN, Xu *et al.* The application of Industry 4.0 technologies in sustainable logistics: a systematic literature review (2012 – 2020) to explore future research opportunities. *Environmental Science and Pollution Research*.v. 29. pp.9560 – 9591.2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-17693-y>. Acesso em 23 de novembro de 2022.

ZHANG, Yingfeng *et al.* Agent-based smart objects management system for real-time ubiquitous manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 27, n. 3, p. 538-549, 2011.