

Siderurgia 4.0: dimensão inteligente e sustentável

Siderurgy 4.0: intelligent and sustainable dimension

DOI:10.34117/bjdv7n4-259

Recebimento dos originais: 09/03/2021

Aceitação para publicação: 09/04/2021

Anderson Gois Marques da Cunha

Mestre em Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável (FCAP/UPE)

Faculdade Frassinetti do Recife – FAFIRE

Av. Conde da Boa Vista, 921 – Boa Vista, Recife – PE

E-mail: profandersongois@gmail.com

José Luiz Alves

Doutor em Geografia (UFPE)

Universidade de Pernambuco – UPE

Av. Sport Clube do Recife, 252 - Madalena, Recife - PE

E-mail: luiz.alves@upe.br

Emanuel Ferreira Leite

PhD em Inovação e Empreendedorismo (Universidade de Aveiro)

Doutor em Ciências de Engenharia (Universidade de Porto)

Universidade de Pernambuco – UPE

Av. Sport Clube do Recife, 252 - Madalena, Recife - PE

E-mail: emanueleite@hotmail.com

RESUMO

O estudo tem como lastro a pesquisa aplicada com ênfase no entendimento sobre os impactos da indústria 4.0 no gerenciamento ambiental no setor secundário, no que diz respeito à indústria do aço em seus diversos processos. O estudo da siderurgia no cenário nacional e do aço inseridos no contexto da 4ª Revolução Industrial traz relevante impacto sobre a Economia doméstica e global. Estrutura-se em uma análise qualitativa, exploratório-descritiva. Sendo lastreada em uma pesquisa bibliográfica apoiada em literatura especializada e materiais coletados a partir de banco de dados em meio eletrônico de artigos, periódicos e sites específicos que tratam do tema central Indústria 4.0, oriundos de base de dados Capes, ResearchGate, com ênfase temporal contemporânea entre 2016 e 2018. Os subtemas abordados centram-se em sustentabilidade, novas tecnologias e inovação e tem como intuito a investigação de como essa nova abordagem da indústria no planejamento inteligível e sustentável em prol da não degradação ambiental. Os resultados observam que a indústria 4.0 no setor siderúrgico, apesar de ser altamente tecnológica, e recente no âmbito nacional, traz efetividade em uma gestão eficiente de resíduos, conferindo investimentos potenciais em prol do meio ambiente, e por outro lado ainda há tendência para aumento significativo da extração e uso de recursos naturais para suprir novas demandas.

Palavras-chave: Agenda 2030, Gestão de Resíduos, Manufatura Avançada, Sustentabilidade

ABSTRACT

The research is based on an applied research, with emphasis on understanding of impacts of industry 4.0 on environmental management in secondary sector, with respect to steel industry in its various processes. The study of steel in the national scenario and steel inserted in the context of the 4th Industrial Revolution has a relevant impact on the domestic and global Economy. It's structured in a qualitative, exploratory-descriptive analysis. Being backed by a bibliographical research supported by specialized literature and materials collected from electronic database of articles, periodicals and specific sites that deal with the central theme Industry 4.0, from Capes database, ResearchGate, with a temporal emphasis contemporary between 2016 and 2018. The sub-themes addressed focus on sustainability, new technologies and innovation and are intended to investigate how this new approach of industry in intelligible and sustainable planning for non-environmental degradation. The results observed that industry 4.0 in steel sector, despite being highly technological, and recent at national level, brings effectiveness in waste management, giving potential investments in favor of environment, prescribing the National Solid Waste Policy (2010), and on the other hand there is still a significant increase in the extraction and use of resources to supply these new demands.

Keywords: Agenda 2030, Waste Management, Advanced Manufacturing, Sustainability

1 INTRODUÇÃO

A indústria 4.0 é hoje um tema amplamente discutido no cenário mundial pois traz um novo conceito para a indústria global de Era da Internet Industrial com uma dinamização de processos baseada na internet das coisas (*internet of things - IoT*) e dos serviços, além da automação dos processos, adota a sistemática das máquinas inteligentes.

Considerada manufatura avançada como norteadora de sistemas cyber-físicos, trouxe uma evolução ao pensamento industrial mecanicista. Por outro lado, observamos a evolução de produção e consumo responsáveis, como a dinâmica industrial frente a essa evolução vem comportando-se numa questão crucial que é o tratamento adequado dos resíduos sólidos em todos os setores que não pode estar regrada ao mecanicismo produtivo de eras anteriores nem atrelado a um conceito raso e linear. (CUNHA; SILVA; LEITE; ALVES, 2018, p.137)

Uma grande aplicação deste conceito de descarte adequado e conscientização humana é na planta fabril, principalmente no tocante ao processo de transformação do aço – liga metálica amplamente utilizada na indústria mundial.

A grande problemática a ser (re)pensada é como está sendo estruturado um plano de tratamento de resíduos sólidos consciente e sustentável baseando-se em diretrizes da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas – ONU. (ONU, 2019)

Uma das preocupações da Indústria 4.0, é a má capacitação técnica da força de trabalho e índice precário no tratamento de resíduos (PINTO, 2017). Um aspecto relevante a ser discutido é sobre o potencial sustentável da indústria 4.0.

Será possível ter uma indústria altamente tecnológica e ao mesmo tempo sustentável? Estima-se que a Terra tenha 7,6 bilhões de habitantes dentro de 510,1 milhões de km² em área de superfície e 1,3 bilhão de toneladas de lixo. (WORLD BANK, 2016)

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A INOVAÇÃO SCHUMPETERIANA NA INDÚSTRIA 4.0

Mazzafero (2018) afirma que: “a indústria está atravessando mais uma revolução que pode alterar sensivelmente os sistemas de produção.” E isso traz um redesenho dos moldes industriais os quais o mercado está acostumado a operar. A indústria passou por um processo de invenção, o impacto das novas tecnologias e da inovação (Schumpeter, 1961) e redescoberta de moldes que seguem o princípio Schumpeteriano da destruição criativa ou criadora.

A destruição criadora trabalha a noção exacerbada do exercer o capitalismo na sociedade pós-moderna, e lega um movimento de reorganização da indústria, fazendo com que ela se baseie além da sua realidade econômica local e exceda os limites da sua própria tecnologia (Schumpeter, 1961).

Mas a destruição criadora não enfatiza um ponto –chave nessa evolução da indústria, a questão das perdas. Em um termo contábil voltado para análise e entendimento da realidade de custos de uma entidade, desperdício traz a noção genérica de gasto. Mas em termos mais específicos, as perdas diferenciam-se extremamente de investimento, despesas, custos e desperdício. Perdas são caracterizadas como “material desperdiçado na produção que não se incorporam aos produtos” (BERBEL, 2017, p.80-81).

Berbel (2017) classifica perdas do processo normais e anormais, estas últimas o autor observa que ocasionam despesas, sendo algo negativo e que deve ser evitado. Para isso requer um alto planejamento de toda a cadeia, principalmente no que diz respeito à sua redução a fim de evitar o acúmulo não controlado de resíduos sólidos no processo produtivo, sem um destino ou finalidade para os produtos e subprodutos da cadeia produtiva.

A indústria 4.0 em sua essência visa primordialmente essa redução dessas perdas na produção. Mazzafero (2018, p.1) cita que: “[...] a automatização, eletrônica embarcada, desenvolvimento de softwares e sistemas dedicados só se traduz em avanço sustentável que justifique o nome de revolução se os tão propalados resultados puderem ser sistematicamente obtidos.” Mas é discutido por sua aplicação atual que há resultados significativos que a indústria 4.0 permite esse controle de perdas que impacta diretamente na redução de resíduos em toda a cadeia produtiva.

2.2 A VISÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA 4.0

O movimento do surgimento da Indústria 4.0 vem desde 2011 quando a Alemanha almejava a recuperação da chamada “participação no valor agregado da indústria global”, no momento foram discutidas novas formas dessa evolução com adoção de novas tecnologias e orientada para novos rumos estratégicos. (FIRJAN, 2016) Sendo definida por uma nova era industrial, definida pela adoção dos chamados sistemas inteligentes, altamente automatizados e com poder decisório com autonomia na interação máquina-máquina e homem-máquina. (SALTIEL; NUNES, 2017, p.4-5; LAURETH, 2014, p.282)

Na Feira de Hannover em 2011, na perspectiva de seu aumento produtivo pelo empreendedorismo e inovação, além de vislumbrar uma dinâmica que evidenciasse um mercado mais competitivo em relação à manufatura asiática. (FIRJAN, 2016)

Essa indústria é o marco do avanço da manufatura alemã a partir de uma tecnologia de ponta, “nasceu assim o termo indústria 4.0, do alemão *industrie 4.0*.” (FIRJAN, 2016) Com base em Azevedo (2017, p.47) trata-se da “visão alemã da transformação e do modo como as empresas e pessoas se relacionarão em um futuro próximo.”

Costa (2017, p.8) afirma que a indústria 4.0 está: “fortemente focada na melhoria contínua em termos de eficiência, segurança, produtividade das operações e especialmente no retorno do investimento. São várias as tecnologias e tendências facilitadoras disponíveis”. Conforme abordagem de Dutrénit (2016, p.57) as teorias econômicas que trazem em seu cerne o desenvolvimento expressam a:

[...] industrialização como o motor do processo [...]. Industrialização gera competências / habilidades industriais que se espalham por outros setores e induzem processos de mudança estrutural.¹

¹Traduzido de: *La literatura clásica sobre la economía del desarrollo pone a la industrialización como el motor del proceso [...]. La industrialización genera competencias/ habilidades industriales que se derraman a otros sectores e induce procesos de cambio estructural.[...] (DUTRÉNIT, 2016, p. 57)*

Com base nisso, a quarta revolução industrial traduz-se em uma: “mudança na forma de produzir, com base em tecnologia e dispositivos autônomos que se comunicam entre si ao longo da cadeia de valor.” (FIESP, 2018). CNI (2016, p. 11) caracteriza a indústria 4.0 “[...] pela integração e controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual, [...] e viabilizando o emprego da inteligência artificial.” A visão alemã impactada pela globalização e inserção do conceito em outras nações trará novas tendências de mercado, que são elencadas por Abreu (2017) e podem ser evidenciadas a seguir (Quadro 01):

Quadro 01 – Algumas megatendências da Indústria 4.0

| Tecnologia | Características |
|--|---|
| 1. Internet das Coisas, Dados, Serviços e Sensores | <ul style="list-style-type: none"> • comunicação interdependente e autônoma entre máquinas e produtos; • sistemas conectados à internet; • integração entre bens e serviços; • uso de sensores cada vez menores; • menor interferência humana; • Mensuração de estoques com maior precisão. |
| 2. Inteligência Artificial, Ciência e Análise de Dados (Analytics) | <ul style="list-style-type: none"> • Uso de sistemas e robôs com capacidade de tomada de decisão; • Uso de algoritmos para processamento de lotes maiores de informações; • Reconhecimento de códigos, padrões, novas linguagens; • Interferência em processos. • Facilidade do reconhecimento da necessidade de solução de problemas; |
| 4. Robótica Avançada | <ul style="list-style-type: none"> • Uso de sensores e sistemas de controle computacional sofisticados; • Transporte autônomo e seguro de pessoas e bens; • Sistemas integrados de comunicação; • Adoção de conexão remota. |
| 5. Modelagem 3D | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da precisão na produção; • Redução acentuada de perdas produtivas; • Permite a combinação da modelagem digital a processo de produção em camadas; |
| 6. Realidade virtual e aumentada | <ul style="list-style-type: none"> • Conhecimento dos destinos produtivos; • Permite simulações do ambiente de trabalho, garantindo reconhecimento de riscos e desafios produtivos; • Funcionamento preciso do chão de fábrica. |
| 7. Conhecimento perfeito | <ul style="list-style-type: none"> • Possibilita o desdobramento da Internet das coisas; • Adoção de sistemas inovadores de satélites em órbita terrestre; • Uso ilimitado de sensores; • Universalização da informação no processo através de máquinas inteligentes em tempo real. |
| 8. Materiais avançados | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento da capacidade de se constituir novos materiais na indústria; • Implica na substituição inteligente de insumos produtivos; • Criação de materiais menos tóxicos, com custo reduzido e excelentes propriedades físico-químicas; |

Fonte: Adaptado de Abreu (2017)

Segundo Pascoalotto e Bublitz (2018, p.65) a indústria foi denominada 4.0, ou 4ª Revolução Industrial derivada do: “[...] número que faz alusão às mudanças históricas impulsionadas anteriormente pelas máquinas a vapor (1ª Revolução Industrial), eletricidade (2ª Revolução Industrial) e pela automação (3ª Revolução Industrial).”

A caracterização da 4ª Revolução Industrial neste cenário, traz uma revolução tecnológica que é descrita pelo *European Parliament* (2015) através do:

[...] uso onipresente dos sensores, a expansão da comunicação sem fio e as redes, a implantação de robôs e máquinas cada vez mais inteligentes – bem como o aumento do poder computacional a um custo menor e o desenvolvimento da análise de ‘*Big data*’ – tem o potencial para transformar a forma como os bens são fabricados na Europa.

Apesar de todo o avanço dessa modalidade de indústria, Gorni (2018) explicita que essa intercomunicação entre as máquinas na planta fabril às redes digitais não é tão inovadora quanto afirmam, pois, o mesmo sustenta a ideia de que no período pós inserção e disponibilização ao público do conceito global de rede e da internet. Gorni (2018) ainda afirma que: “[...] já era corriqueiro conectar máquinas industriais de pequeno e médio porte para fins de monitoração, controle e mesmo manutenção à distância.”

Ao citar sobre a indústria 4.0 Gorni (2018) exemplifica e corrobora o pensamento do *European Parliament* (2015) que através da facilidade e expansão de conexão das máquinas e tecnologias fabris com custos mais controláveis e menores, o uso de redes *wireless* (sem fio) não requer tanto investimento inicial. Além disto faz menção para o uso de “centros externos de armazenamento de dados” (GORNI, 2018, p.28) que são as nuvens, o que preconiza o acesso imediato e eficiente das variáveis e elementos envolvidos no processo produtivo, alertando que estes não necessariamente precisam ser humanos.

A partir daí surge a noção de uma indústria inteligente que é balizada pelos preceitos da inteligência artificial, dentro dos quais pode-se afirmar segundo Stefani et al. (2021) que a indústria 4.0 segue dois padrões conceituais distintos, um voltado para a inteligência fabril onde estrutura e viabiliza um sistema inteligente produtivo em rede. E a outra denominada manufatura inteligente onde traz questões como: gerenciamento logístico, uso de novos métodos tecnológicos e prestigia a interação homem-máquina.

Gorni (2018) evidencia que essa movimentação traz um grande avanço para a indústria mundial que age “permitindo que as próprias máquinas tomem decisões com maior grau de autonomia e eficiência - e, eventualmente, à distância.” (GORNI, 2018, p.29).

Entretanto, Gorni (2018) afirma de riscos da aplicação deste molde da indústria 4.0, onde ele elenca esses na seguinte assertiva: “maior exposição aos ambientes externos de processamento digital, com seus riscos em termos de confiabilidade de desempenho e

mesmo a possibilidade de roubo de dados ou, ainda, sabotagem.” Em recente pesquisa feita em 2018 pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP, onde participaram da pesquisa “227 empresas, sendo 55% pequenas, 30% médias e 15% grandes.” (FIESP, 2018). Dentre os resultados da pesquisa com a adesão nacional aos moldes 4.0 destaca-se:

- 90% concordam que a Indústria 4.0 “aumentará a produtividade” e que “é uma oportunidade ao invés de um risco”
- 67% esperam sentir um impacto mediano com a implementação da Indústria 4.0;
- 30% estão “muito otimistas” quanto à implementação da Indústria 4.0 na própria empresa, e apenas 17% estão “muito otimistas” quanto a essa implementação no setor de atuação da empresa.
- 5% se sentem “muito preparadas” para enfrentar os desafios da Indústria 4.0, enquanto 23% se sentem “nem um pouco preparadas”.
- As áreas com maior potencial para se beneficiar da Indústria 4.0 são: produção (55%), controle da produção (50%), rastreabilidade (38%), controle de qualidade (32%), planejamento (31%), e engenharia de desenvolvimento de novos produtos (31%). As grandes destacaram manutenção (34%) e suporte a clientes (31%).

O dado mais gritante na pesquisa Fiesp é que em torno de 32% das empresas desconheciam esse movimento global de modernização da indústria. Nunca ouviram falar na indústria 4.0. De certo modo, a pesquisa teve um caráter informacional expandindo o seu conceito.

Logo, essas empresas devem ampliar seu conhecimento para aderirem o quanto antes à sua implantação com consciência do seu potencial de mercado, seus desafios e riscos envolvidos. Principalmente no tocante à aplicação sistêmica da manufatura enxuta (*lean manufacturing*) nas empresas (FIESP, 2018).

2.3 A SIDERURGIA, A SUSTENTABILIDADE E A INDÚSTRIA 4.0

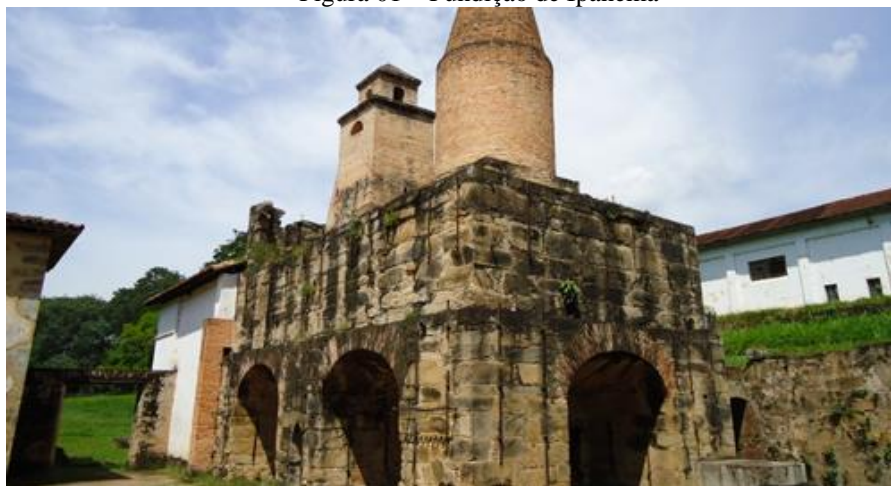
A siderurgia no mundo é algo que envolve o ciclo da evolução humana na Terra, ao longo das grandes descobertas e invenções. Conforme o Instituto Aço Brasil (2019): é impossível imaginar o mundo sem o uso do aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país.”

Ainda com base nos dados do Instituto Aço Brasil (2019):

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como adicionar-lhes propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial.

Essa evolução rebate na indústria brasileira, e sua evolução na indústria de transformação nacional. A primeira siderúrgica nacional foi a Real Fábrica de Ferro São João de Ipanema, também conhecida como fundição de Ipanema, era localizada no interior de São Paulo, hoje encontra-se apenas suas ruínas, onde podemos evidenciar na Figura 01.

Figura 01 – Fundição de Ipanema



Fonte: Instituto Aço Brasil (2019)

O que a Fundição Ipanema e outras indústrias modernas hoje usam como insumo é o aço que trata-se de uma liga entre o metal ferro e carbono extraído do carvão mineral ou também vegetal no processo siderúrgico (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019; SANTOS, 2009).

A produção de aço abrange três fases: redução do minério de ferro, refino e laminação. A redução é feita nos altos-fornos cuja carga consiste basicamente de minério ferro (granulados ou aglomerados), calcário e coque (ou carvão vegetal). A redução consiste na retirada do oxigênio dos óxidos de ferro e fusão da carga, produzindo o ferro gusa (liga de ferro e carbono contendo ainda silício, manganês, fósforo e enxofre). Na fase de refino o ferro gusa é transferido para as aciarias para ser transformado em aço, mediante a queima de impurezas e adições. O refino do aço é feito em fornos a oxigênio ou elétricos, onde o ferro gusa (líquido ou sólido) ou sucata de ferro são transformados em aço líquido. O aço líquido é solidificado em equipamentos de lingotamento, para produzir semiacabados, lingotes e blocos. A terceira fase da produção de aço é a laminação, onde os semiacabados, lingotes e blocos são deformados mecanicamente e transformados numa grande variedade de produtos siderúrgicos como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfis, etc. (JESUS, 2013, p.99)

Percebe-se a complexidade do processo de fabricação do aço em suas fases industriais, e isso repercute diretamente na consciência ambiental, pois os resíduos que são gerados neste processo de transformação são corriqueiros. Mesmo assim, atualmente

há relatos positivos que afirmam que a indústria 4.0 impulsiona um processo de reciclagem do aço, neste caso, segundo EXAME (2016), em reportagem a qual envolve dados da Gerdau e da *Boston Consulting Group (BCG)*, onde até 2050 o mercado global de aço usará a sucata em mais da metade de sua produção. Outro dado importante tem haver com a sustentabilidade, onde a indústria nacional, formada por empresas que compõe o setor secundário de siderurgia reservaram um grande potencial de investimento de mais de R\$ 3,6 bilhões em ações de proteção ao meio ambiente. (Portal da Indústria, 2018)

Segundo o Presidente do Conselho Diretor do Instituto Aço Brasil², Alexandre de Campos Lyra em Relatório de Sustentabilidade - 2018:

O impacto dos fatores estruturais e conjunturais sobre a indústria de transformação, na qual se insere a indústria do aço, reflete em perda de competitividade e queda do consumo interno. Como consequência, o setor opera hoje com um nível de capacidade muito baixo – 68% de sua capacidade instalada, quando, por conta de suas peculiaridades, deveria estar acima de 80%. (LYRA, 2018)

Isso reflete um período de recessão que a indústria de transformação composta primordialmente pelas siderúrgicas sofreram pós-crise de 2015, Lyra (2018) ainda afirma que: “Com o encolhimento do mercado doméstico, a saída para garantir o escoamento da produção siderúrgica brasileira tem sido aumentar a exportação.” Mas toda essa movimentação foi regrada às diretrizes comerciais internacionais, onde houve crescentes medidas protecionistas por parte de alguns países que dificultaram essa entrada brasileira no mercado internacional. Também é enaltecido que essa estratégia colidiu com a capacidade produtiva do aço global que gira em torno de mais de “de mais de 545 milhões de toneladas”. (LYRA, 2018; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019)

Com base em dados coletados no Instituto Aço Brasil em 2016 apontavam que 30% do aço fabricado no Brasil era feito através do resíduo sólido sucata, com base em seu Relatório de Sustentabilidade (2018).

Nas informações sobre o instituto, observou-se que sua base de dados sobre o setor é atualizada com periodicidade mensal, sempre na segunda quinzena, essa prática traz

² entidade civil sem fins lucrativos que congrega as principais empresas produtoras de aço do país e tem a missão de fomentar a competitividade e a sustentabilidade do setor. Ao longo de 55 anos, vem contribuindo para o desenvolvimento sustentável e o bem-estar social do país. [...] Mantido em 2018 por 10 grupos empresariais e 29 usinas (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019)

uma maior transparência na observância da evolução do setor siderúrgico no Brasil e no mundo. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019).

Em janeiro de 2019 houve uma retração das importações em relação ao mesmo período no ano anterior, “[...] alcançaram 177 mil toneladas e US\$ 212 milhões, resultando em uma queda de 18,4% em quantum e de 12,0% em valor na comparação com janeiro de 2018.” (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2019). Entretanto a produção interna expandiu e trouxe resultado satisfatório no período. Segundo o Instituto Aço Brasil (2019): “a produção de aço bruto foi de 2,9 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,3% frente ao mesmo mês de 2018.”

No Brasil algumas empresas como a Gerdau S.A, a ArcelorMittal, Usiminas, Vallourec e outras como visto na Figura 02, que participam do incremento de toda a produção do aço nacionalmente, com expressividade internacional. Todas essas empresas compõem o potencial siderúrgico nacional, com tecnologia de vanguarda, adotada nos moldes da manufatura avançada.

Figura 02 – Produção de Aço no Brasil



Fonte: Portal da Indústria (2018)

Uma grande observância é levantada por VGresíduos (2018) que alerta que os resíduos oriundos da fabricação industrial é um processo normal e corriqueiro, entretanto observa que um grande exemplo são: “[...] as sobras de fabricação do aço. A questão para muitas empresas é como proceder com esses resíduos.”

VGresíduos (2018) traz ainda que as “sobras têm valor econômico e trazem ganhos ambientais [...]”, e isso gerou um novo conceito para as empresas do segmento do aço, com maior racionalização do uso destes recursos. Através de um estudo de impacto direto no setor e no âmbito nacional chamado *A indústria do Aço no Brasil* dialoga que esse movimento gera maior produtividade e competitividade para as empresas do setor, que incorporam preceitos do desenvolvimento sustentável. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2018)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Trata-se de pesquisa aplicada, que segundo Gil (2010), Gray (2010) são pesquisas voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica, está baseada em uma análise qualitativa adotando várias posturas e métodos, entre eles o uso de observações, entrevistas, questionários e análise de documentos.

Com viés descritivo-exploratório, envolve a pesquisa voltado ao levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado ou análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assume, em geral, pesquisas bibliográficas e Estudos de Caso (GIL, 2010, GRAY 2012).

Lastreia-se em uma revisão bibliográfica com investigação direta em literatura especializada e materiais coletados a partir de fontes primárias e secundárias para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica serão: livros, revistas especializadas, publicações e documentos como artigos, teses e dissertações, além da consulta nos bancos dados como Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), *ResearchGate* e Google Acadêmico. Em meio eletrônico de periódicos e sites específicos que tratam do tema central Indústria 4.0, conferindo um recorte temporal da pesquisa principal entre 2016 e 2019.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Percebe-se que apesar da indústria 4.0 ser recente, há uma tendência de readequação desta a um ambiente que requer mais práticas sustentáveis, seja a nível global ou em suas especificidades locais, principalmente nas organizações. um estudo comparativo entre China e Alemanha onde aponta que um dos norteadores para o alcance da dimensão sustentável é a aplicação direta do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU de número nove e doze que tratam da infraestrutura da indústria global e do consumo e produções mais responsáveis. (BEIER; NIEHOFF; ZIEMS; XUE, 2017, p. 127)

Outros aspectos no tratamento de resíduos são elencados no processo da manufatura avançada como por exemplo:

- o uso de tecnologias como a queima direta de energia (*Waste-to-energy – energia do resíduo*);
- a adoção de incineradores com alto controle de poluição (Modelo Oriental);
- a exportação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), muitas vezes vista como “tráfego de resíduos”, sendo prática que depende da lei de cada nação;
- uso de gaseificadores e também de dispositivos de coleta de resíduos a vácuo com tubulações subterrâneas (Modelos Europeus).

Há um incentivo por parte dos países na adequação ao novo molde, o Brasil por exemplo terá um investimento em torno de R\$ 10 bilhões para remodelar a indústria nacional no padrão 4.0, isso legará uma redução de custos industriais na casa de R\$ 73 bilhões. Investimento em educação também é propagado.

Com base em Azevedo (2017, p.53) a manufatura avançada traz os seguintes ganhos: “(1) Redução de custos; (2) Economia de energia; (3) Aumento da segurança; (4) Conservação ambiental; (5) Redução de erros; (6) Fim do desperdício; (7) Transparência nos negócios; e (8) Aumento da [...] personalização e escala sem precedentes.”

Essa discussão de Azevedo (2017, p.60) observa ainda que o setor secundário, o qual é portado a indústria do aço, é um setor da economia que “processa os produtos vindos das indústrias primárias transformando-os em produtos industrializados.”

É relevante fazer menção que o setor secundário, o qual o aço faz parte, com força veemente na indústria nacional, embora possua “conhecimento tecnológico agregado, consome muita energia e produz muitos resíduos” (Azevedo, 2017, p.60). Esse setor atrelado aos preceitos de indústria 4.0 e manufatura avançada preza pela interconectividade entre sistemas, a fábrica torna-se inteligente e flexível e permite uma sinergia entre fatores e cadeia produtiva de forma holística.

Dentre os resultados da indústria do aço em relação a sustentabilidade, conforme Portal da Indústria (2018), destaca-se no Quadro 03 a seguir:

Quadro 03 - Resultados sustentáveis das iniciativas da indústria siderúrgica nacional

| Ações sustentáveis | Descrição |
|--|--|
| 1. 1. Uso de Carvão Vegetal | Algumas empresas siderúrgicas usam carvão vegetal no processo de produção. O carvão vegetal é produzido a partir da madeira extraída de florestas plantadas por empresas do setor ou por terceiros. Mais da metade das florestas plantadas pelas empresas do setor são certificadas pelo Forest Stewardship Council (FSC) ou pelo Programa Brasileiro de Certificação Florestal (Cerflor). |
| 2. Emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) | As empresas associadas ao Instituto Aço Brasil ³ fazem inventários de emissões e estão desenvolvendo estudos para aumentar tanto da eficiência energética dos principais processos de produção como da reciclagem do aço e de outros produtos. |
| 3. Reuso de Água | Atualmente, o setor reutiliza 95% da água doce usada nos processos de produção. A maior parte da água utilizada nas usinas é empregada em sistemas de resfriamento sendo, em sua maioria, recirculada em circuitos fechados. |
| 4. Energia | O setor investe em geração própria de energia com o reaproveitamento do poder calorífico dos gases gerados no processo de produção em termelétricas. Algumas empresas também possuem usinas hidrelétricas. Em 2016, a geração própria respondeu por 49% do consumo. |
| 5. Resíduos e Coprodutos | Atualmente, cerca de 87% dos coprodutos das usinas - insumos utilizados em altos fornos e locais de conversão em aço e lamas dos sistemas de controle atmosférico - são reaproveitados no processo produtivo ou por terceiros. Em vez de serem descartados em aterros, esses materiais são usados como matérias-primas para pavimentação de estradas, corretivos de solo, fabricação de cimento, materiais cerâmicos e outros. |

Fonte: Portal da Indústria (2018)

5 CONCLUSÃO

Discussões sobre Indústria 4.0 são contemporâneas, logo, a velocidade com que ela evolui em conceito e aplicação demonstra a relevância do tema. Entrelaçar o molde da manufatura avançada, considerada uma adaptação da indústria 4.0 no Brasil e demonstrar seus avanços no tocante a conscientização ambiental dentro do parque

³ Aperam, ArcelorMittal Aços Longos, ArcelorMittal Sul Fluminense S.A. (Ex - Votorantim Siderurgia), ArcelorMittal Tubarão, CSN, CSP, Gerdau, SINOBRAS, Ternium Brasil (Ex-Thyssenkrupp CSA), Usiminas, Vallourec e Villares Metals.

industrial nacional orquestrado por movimentos globais sustentáveis e pela Agenda 2030 da ONU faz-se necessário.

A partir da pesquisa, foi percebido que há uma preocupação com base em diretrizes globais e locais, onde nações e organizações prezam por moldes do uso consciente dos resíduos, redução de questões como emissão de gases de efeito estufa, uso consciente dos recursos hídricos nas plantas fabris e racionalização do uso de insumos e energia.

Isso somente se deu a partir do uso de tecnologias e da maior capacitação da força produtiva. Um grande exemplo disso, é o parque nacional da indústria siderúrgica, que com todo o seu potencial produtivo e em sua evolução desde os primórdios do uso do aço até o uso da robótica, dos meios cyberfísicos, internet das coisas, serviços e sensores de forma autônoma, interagiu de forma inteligente e sustentável na gestão de resíduos e coprodutos siderúrgicos.

Apesar desse avanço, pesquisas na área não podem estagnar, pois o aço movimenta um mercado gigantesco doméstico e internacional, e seus subprodutos são empregados na produção de rodovias, paisagismo, fonte energética e insumos necessários para gerar novos produtos para outras indústrias dentro dos setores da Economia nacionais e internacionais.

REFERÊNCIAS

ABREU, Diego. **9 megatendências da inovação que vão transformar a indústria**. Agência de Notícias Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2017.

AZEVEDO, Marcelo T. de. *Transformação Digital na Indústria: Indústria 4.0 e a Rede de Água inteligente no Brasil*. (Tese de doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2017.

BEIER, Grischa. *Sustainable Impacts of Industry 4.0*. (2018)

BEIER, Grischa; NIEHOFF, S.; ZIEMS, Tilla; XUE, Bing. **Sustainability aspects of a digitalized industry – A comparative study from China and Germany**. T. et al. Int. J. of Precis. Eng. and Manuf.-Green Tech. (2017).

BERBEL, José Divanil Spósito. **Introdução à contabilidade e análise de custos: (simples & prático)**. São Paulo: Editora STS, 2017. Disponível em: <<http://www.berbel.pro.br/Livro%20-%20Ultima%20edicao.pdf>> Acesso em: 11 mar. 2019

CNI (Confederação Nacional da Indústria). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016

COSTA, Cesar da. **Indústria 4.0: o futuro da indústria nacional**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. São Paulo, 2017. POSGERE (ISSN 2526-4982), v. 1, n. 4, set.2017, p. 5-14.

CUNHA, Anderson Góis M. da; SILVA, Andrea F. Alves da; LEITE, Emanuel Ferreira; ALVES, José Luiz. *Catador de Resíduos Sólidos: Uma abordagem empreendedora e sustentável*. In: LEITE, Emanuel Ferreira.(Org.) **Lições de Empreendedorismo**. Recife: EDUPE, 2018.

DUTRÉNIT, Gabriela. **Innovación, recursos naturales y manufactura avanzada: nuevos dilemas de la industrialización en América Latina**. Disponível em: <<http://www.euskadi.eus/web01-a2reveko/es/k86aEkonomiazWar/ekonomiaz/abrirArticulo?idpubl=85®istro=7>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth**. (2015). Disponível em: <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2019.

FIRJAN. **Panorama de Inovação: Indústria 4.0**. Disponível em: <<https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>> Acesso em: 14 mar. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GORNI, Antonio Augusto. **A siderurgia e a indústria 4.0**. Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/Gorni_IH_Abr2018.pdf> Acesso em: 12 mar. 2019.

GRAY, David E. **Pesquisa no Mundo Real**. 2ª Edição Porto Alegre: Penso 2012.

INSTITUTO AÇO BRASIL. Dados estatísticos – Produção siderúrgica brasileira. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site2015/estatisticas.asp>> Acesso em: 14 mar. 2019.

_____. **História do aço**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/introducao_historia.html> Acesso em: 14 mar. 2019.

JESUS, Carlos Antônio Gonçalves de. **Minério de ferro e aço**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/3-1-2013-minerio-de-ferro-e-aco>> Acesso em: 13 fev. 2019.

LAURETH, Waleska Camargo. **Convergência tecnológica, educação e trabalho: do discurso social global aos desafios regionais**. Revista da ABET, v. 13, n. 2, jul. - dez. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/index.php/abet/article/viewFile/25677/13866>> Acesso em: 19 mar. 2018.

LYRA, Alexandre Campos. **Mensagem do Presidente (2018)**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>> Acesso em: 12 mar. 2019.

MAZZAFERRO, José Antônio Esmerio. **Indústria 4.0 e a Qualidade da Informação**. Soldag. insp. São Paulo, v. 23, n. 1, p. 1-2, mar. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242018000100001&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 13 mar. 2019.

ONU. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – Agenda 2030** (2019). Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>> Acesso em: 11 mar. 2019.

PASCOALOTTO, Adalberto de Souza. BUBLITZ, Michelle Dias. **Desafios do presente e do futuro para as relações de consumo ante indústria 4.0 e a economia colaborativa**. Rio Grande do Sul: PUCRS, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10923/11394>> Acesso em: 12 mar. 2019.

PINTO, Leonardo. **O desafio social e os dilemas ambientais na indústria 4.0**. (2017)

PORTAL DA INDÚSTRIA. Indústria do aço investiu R\$ 3,6 bilhões em ações de proteção ambiental em três anos (2018). Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industria-do-aco-investiu-r-36-bi-em-aco-es-de-protecao-ambiental-em-tres-anos/>> Acesso em: 14 fev. 2019.

SANTOS, Nilton Pereira dos. **A fábrica de ferro São João de Ipanema: economia e política nas últimas décadas do Segundo Reinado (1860-1889)**. 2009. Dissertação

(Mestrado em História Econômica) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/D.8.2009.tde-09122009-094712. Acesso em: 2019-03-15

SALTIÉL, R. M. F.; NUNES, F. **A indústria 4.0 e o sistema Hyundai de produção: suas interações e diferenças.** V SIMEP - Simpósio de Engenharia de Produção. Anais. Joinville: 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/317369702_Industria_40_e_Sistema_Hyundai_de_Producao_suas_interacoes_e_diferencas> Acesso em: 10 fev. 2019.

SCHUMPETER, Joseph A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia.** Rio de Janeiro: Editora Fundo de Cultura, 1961. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/intranet/ie/userintranet/hpp/arquivos/100820171042_SchumpeterCapitalismoSocialismoeDemocracia.pdf> Acesso em: 10 mar. 2019.

STEFANI, Eduardo et al. Aplicabilidade da Filosofia Lean na Indústria 4.0. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.3, p. 21335-21348, mar. 2021. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/25571/20354>> Acesso em: 15 mar. 2021.

VGRESÍDUOS. **Como as Indústrias estão lucrando com as sobras de fabricação do aço?** Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/lucro-sobras-de-fabricacao-de-aco/>> Acesso em: 14 mar. 2019.

WORLD BANK. **Waste Not, Want Not – Solid Waste at the Heart of Sustainable Development** (2016). Disponível em: <<http://www.worldbank.org/pt/news/feature/2016/03/03/waste-not-want-not---solid-waste-at-the-heart-of-sustainable-development>> Acesso em: 10 fev. 2019.