

A indústria siderúrgica no Brasil

The steel industry in Brazil

La industria siderúrgica en Brasil

Recebido: 20/11/2022 | Revisado: 29/11/2022 | Aceitado: 30/11/2022 | Publicado: 09/12/2022

Ítalo Martins Nogueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0269-8997>

Universidade de Vassouras, Brasil

E-mail: italomrtsn@gmail.com

Moisés Teles Madureira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8937-062X>

Universidade de Vassouras, Brasil

E-mail: moises.madureira@hotmail.com

Resumo

A indústria siderúrgica do aço é um dos mercados mais sólidos no Brasil, e também é responsável por grande contribuição econômica no país. No entanto, as atividades relacionadas à produção do aço impactam diretamente nas questões socioambientais. Dessa forma, torna-se indispensável discutir o enfoque da sustentabilidade nesse meio, uma vez que, observa-se uma urgência em se tratando desse setor. Assim sendo, o objetivo geral deste trabalho consiste na elaboração de uma revisão bibliográfica sobre a indústria siderúrgica no Brasil, relacionando a cadeia produtiva de aço, processos de produção e a sustentabilidade nesse meio de uma revisão. A metodologia utilizada sustenta-se numa abordagem de cunho mais qualitativo, utilizando como recurso a análise de conteúdo de Bardin para analisar trabalhos encontrados através de dois descritores: cadeia produtiva do aço e produção de aço. Ao longo de desenvolvimento deste conteúdo constatou-se que a indústria siderúrgica tem um papel altamente relevante no cenário brasileiro e que novas e desafiadoras iniciativas estão em curso no sentido de compatibilizar a indústria siderúrgica com parâmetros ambientais aceitáveis, dentro de uma perspectiva de mitigação dos eventuais impactos, principalmente quanto ao controle de emissões de gases de efeito estufa. Por fim, conclui-se que os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados na medida em que os resultados revelam que a área da siderurgia, alinhada com as perspectivas ambientais de sustentabilidade, vem ganhando cada vez mais relevância e inserção nas agendas dos empreendimentos empresariais.

Palavras-chave: Indústria siderúrgica do aço; Processos de produção do aço; Sustentabilidade.

Abstract

The steel industry is one of the most solid markets in Brazil, it is also responsible for a large economic contribution in the country. However, activities related to steel production have a direct impact on socio-environmental issues. In this way, it is essential to discuss the sustainability approach in this environment, since there is an urgency in this sector. Therefore, the general objective of this work is the elaboration of a bibliographic review on the steel industry in Brazil, relating the steel production chain, the production processes and sustainability in the middle of a review. The methodology used is based on a more qualitative approach, using Bardin's content analysis as a resource to analyze works found through two descriptors: steel production chain and steel production. During the development of this content, it was found that the steel industry has a highly relevant role in the Brazilian scenario and that new and challenging initiatives are underway to make the steel industry compatible with acceptable environmental parameters, within a perspective of mitigating possible impacts, mainly regarding the control of greenhouse gas emissions. Finally, it is concluded that the objectives proposed in this work were achieved as the results reveal that the steel industry, aligned with the environmental perspectives of sustainability, has been gaining more relevance and insertion in the agendas of business ventures.

Keywords: Steel steel industry; Steel production processes; Sustainability.

Resumen

La industria siderúrgica es uno de los mercados más fuertes de Brasil y también es responsable de una gran contribución económica al país. Sin embargo, las actividades relacionadas con la producción de acero tienen un impacto directo en las cuestiones socioambientales. De esta forma, se vuelve fundamental discutir el enfoque de la sustentabilidad en este entorno, ya que existe una urgencia cuando se trata de este sector. Por lo tanto, el objetivo general de este trabajo consiste en la elaboración de una revisión bibliográfica sobre la industria siderúrgica en Brasil, relacionando la cadena productiva del acero, los procesos productivos y la sustentabilidad en este ambiente de revisión. La metodología utilizada se basa en un enfoque más cualitativo, utilizando el análisis de contenido de Bardin como recurso para analizar obras encontradas a través de dos descriptores: cadena de producción de acero y producción de acero. A lo largo del desarrollo

de este contenido, se constató que la industria siderúrgica juega un papel muy relevante en el escenario brasileño y que están en marcha nuevas y desafiantes iniciativas para compatibilizar la industria siderúrgica con parámetros ambientales aceptables, en la perspectiva de mitigar cualquier posibles impactos, principalmente en lo que se refiere al control de las emisiones de gases de efecto invernadero. Finalmente, se concluye que los objetivos propuestos en este trabajo fueron alcanzados ya que los resultados revelan que la industria siderúrgica, alineada con las perspectivas ambientales de la sustentabilidad, ha ido ganando cada vez más relevancia e inclusión en las agendas de los emprendimientos empresariales.

Palabras clave: Industria siderúrgica; Procesos de producción de acero; Sustentabilidad.

1. Introdução

No Brasil, a indústria siderúrgica possui uma grande contribuição para manutenção do mercado de trabalho, bem como para o resultado do Produto Interno Bruto - PIB. A produção de aço é uma atividade que possui grandes demandas e que vem fortalecendo o mercado há muitos anos. Estima-se que a produção de aço bruto da indústria siderúrgica brasileira atingiu 31,1 milhões de toneladas em 2020, o que representou 1,7% da produção mundial, colocando o país na 9ª posição como maior produtor deste tipo de commodity (IAB, 2021).

Para Viana (2021), a pandemia de COVID-19 foi responsável por uma queda de 4,5% da produção nacional no período entre os anos de 2020 e 2021. Entretanto, apesar da queda, o mercado apresenta sinais de retomada tendendo a atingir níveis de produção semelhantes aos anteriores da pandemia.

A produção de aço tem conexões e reflexos diretos na área ambiental, o que chama atenção pelas pressões geradas no sentido de reduzir os impactos dessa atividade sobre o meio ambiente (Viana, 2021). De acordo com Mello et al (2008) a indústria siderúrgica, por requerer o uso de carvão vegetal e energia elétrica é responsável por um dos maiores consumos de energia do mundo.

O desenvolvimento sustentável é um dos principais desafios da indústria siderúrgica, e no que se refere à sustentabilidade, trata-se da garantia de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. Entende-se então, que o desenvolvimento de conhecimento e de tecnologia contribui para o crescimento econômico e também para solucionar os riscos e danos que esse crescimento traz à sustentabilidade de nossas relações sociais e do meio ambiente (Raposo, 2018).

O presente trabalho, tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica sobre a indústria siderúrgica no Brasil, consistindo na realização de levantamentos sobre a cadeia produtiva de aço, os processos de produção de aço e a sustentabilidade no sistema produtivo do aço, buscando destacar a importância dessa matéria prima no cenário econômico brasileiro e prospectar que tipos de ações estão sendo desenvolvidas para mitigar impactos ambientais.

2. Metodologia

Esta pesquisa partiu da concepção de pesquisa exploratória de natureza qualitativa, pois buscou aprimorar ideias e intuições sobre o problema de pesquisa com a finalidade de torná-lo explícito e formular hipóteses a respeito da problemática do objeto de estudo (Gil, 2002). Em relação ao levantamento de dados, pode ser considerada uma pesquisa bibliográfica (Sousa et. al. 2021), pois analisou obras já publicadas.

Esse trabalho também se caracteriza pelo aprimoramento de ideias a respeito da indústria siderúrgica no Brasil, utilizando como instrumento para a coleta de dados o levantamento de referenciais teóricos em plataformas contendo teses, dissertações e artigos em revistas e anais de eventos sobre a indústria siderúrgica no Brasil e, por esse motivo, também pode ser classificada como um levantamento (Gil, 2002).

Esse levantamento objetivou realizar uma revisão bibliográfica histórica sobre o cenário das indústrias siderúrgicas no Brasil, articulando o enfoque da cadeia produtiva do aço, processo de produção do aço e a sustentabilidade. Inicialmente, foi

realizada uma busca na plataforma de catálogo de Teses e Dissertações do portal da CAPES, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e em outras plataformas digitais científicas, como SciELO e Science Direct para fundamentar o aporte teórico sobre a indústria siderúrgica.

3. Revisão Teórica

3.1 A cadeia produtiva do aço

No contexto mundial, a indústria siderúrgica teve seu impulso de produção durante o século 20, principalmente no período pós-guerra entre 1945-1979. Após esse período, o que marcou a produção de aço na indústria siderúrgica foram as inúmeras inovações tecnológicas em processos e produtos que solidificaram a demanda de produção de matérias primas (Costa, 2002).

O processo de produção do aço possui várias etapas, Nesse sentido, é importante ressaltar o conhecimento da tecnologia que está embarcada na produção de aço, bem como dar enfoque sobre a questão da sustentabilidade no meio da indústria siderúrgica.

Costa et al (2007) refere-se a duas rotas tecnológicas para tratar as matérias primas que levam à obtenção do aço. A primeira consiste no emprego de de fornos a oxigênio (BOF) e a segunda no emprego de fornos elétricos (EAF). A primeira rota, mais representativa no Brasil, corresponde a 80% da produção nacional de aço bruto e a segunda rota, responsável por 60% de todo aço que é produzido no mundo.

As principais matérias primas utilizadas nesses processos são: minérios de ferro, calcário ou coque e a sucata. A produção pode ser viabilizada pelo uso de fornos industriais (elétricos ou a oxigênio). Os fornos elétricos utilizam a sucata como matéria prima, e os fornos a oxigênio utilizam o ferro gusa. Cada um desses processos demanda a utilização de outros insumos com diferentes custos e estima-se que as usinas integradas com altos fornos (EAF) possuem maiores custos e maiores consumos energéticos (Costa, 2002).

De maneira geral, o processo de produção completo do aço envolve três etapas: redução do minério de ferro em ferro-gusa, refino do ferro-gusa em aço e laminação. Na configuração da cadeia siderúrgica é importante ressaltar que a dinâmica do setor de produção de aço está diretamente ligada ao comportamento dos setores que demandam os produtos siderúrgicos e também daqueles que produzem os insumos para a indústria siderúrgica (Viana, 2019).

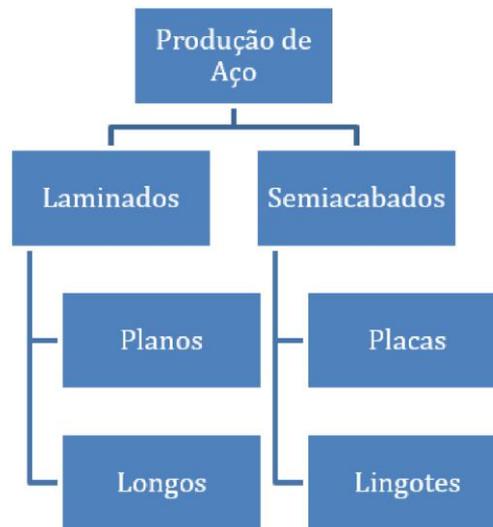
O mercado consumidor das indústrias siderúrgicas e demandantes de seus produtos e subprodutos é composto por outras indústrias como a da construção civil, automobilística, ferroviária, naval, cimenteira, de produção de eletrodomésticos e de equipamentos e máquinas, que utilizam o aço como matéria prima. O aço é um produto considerado homogêneo podendo existir em diversos tipos e formas, o que torna grande sua aplicabilidade, cada qual exigindo uma composição que demande uma de suas diversas características (Cade, 2022).

Na Construção Civil o aço é utilizado por conta da sua durabilidade e flexibilidade, contribuindo com um menor prazo para concluir as obras e o melhor aproveitamento dos materiais. A indústria automotiva é a segunda maior demandante de produtos de aço e é impulsionadora do desenvolvimento de novas tecnologias e novos tipos de aço com o objetivo de reduzir o peso dos veículos e aumentar a segurança dos passageiros e para se obter materiais de resistência mecânica elevada, excelente ductilidade e resistência à corrosão (Usiminas, 2022).

3.2 Processos de produção do aço

Os produtos finais resultantes da produção do aço no Brasil, tanto para consumo interno como para consumo externo, estão geralmente atrelados a 2 categorias: Produtos laminados e produtos semi-acabados, sinteticamente ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - Visão esquemática da divisão dos produtos resultantes da produção do aço.



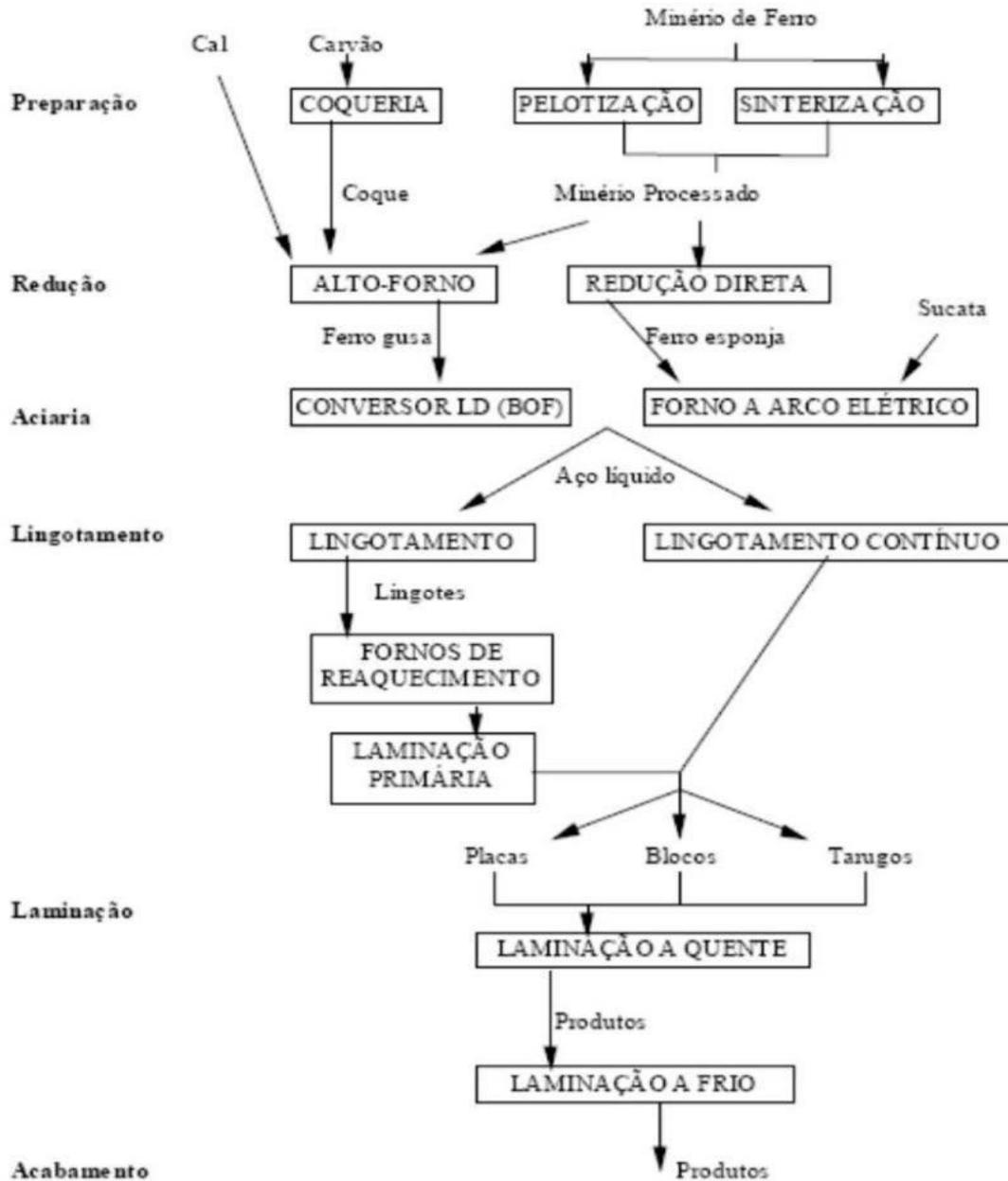
Fonte: Adaptado de IAB (2022).

Entre Janeiro e Setembro de 2022, a produção das 2 categorias de produtos alcançou a marca de 15.358 mil toneladas, sendo que a produção de laminados representou 98% desse total (IAB, 2022).

O aço é uma liga de ferro e carbono cujas matérias primas são o minério de ferro e o carvão mineral ou vegetal (Mello et al. 2008). Intrinsecamente, o minério de ferro e o carvão mineral (ou vegetal) contém menos de 2% de carbono e pequenas quantidades de outros elementos, tais como silício, manganês, fósforo e enxofre, que juntos não podem exceder a 1% da composição total do produto (Mello et al. 2008; Costa et al. 2007).

A partir da noção básica anteriormente apresentada sobre a produção do aço, Costa (2002) destaca as duas rotas habituais utilizadas no processo produtivo do aço. Cada usina utiliza as rotas tecnológicas que satisfazem as suas necessidades, a qual ele sintetizou no esquema abaixo (Figura 2).

Figura 2 - Processo de Produção do Aço.



Fonte: Extraído de Costa (2002).

De acordo com Costa (2002), através desses processos identifica-se a complexidade do mercado siderúrgico tanto do ponto de vista técnico, como do ponto de vista das questões relacionadas aos impactos que sua produção ocasiona no meio ambiente, incluindo as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para Costa (2007), quanto à infraestrutura física, as usinas siderúrgicas se dividem basicamente em: as usinas integradas e as semi-integradas. As usinas integradas funcionam com base em três fases: redução, refino e laminação, sendo que nas usinas integradas clássicas utiliza-se o carvão mineral. Já as usinas semi-integradas operam em duas fases: o refino e a laminação.

Os trabalhos de Liubartas et al. (2015) e de Costa (2002) convergem no sentido de que as usinas partem seus processos do ferro gusa, ferro esponja ou da sucata metálica, que são adquiridos de terceiros para transformá-los em aço. Na obtenção do ferro gusa é utilizado principalmente o carvão vegetal, sendo que o carvão mineral tem sido uma alternativa bastante utilizada (Sálvio & Medina, 2008).

Seguindo o processo a partir do minério de ferro, ocorre um processo chamado pelletização (conforme Figura 2). Devido a questões técnicas funcionais, esse processo se inicia utilizando pequenas quantidades de minério de ferro no forno, que são aglomeradas quantidades de minério para integrar pequenas bolas ou pelotas. As pelotas passam pela moagem a quente ou a moagem úmida, a depender do tipo de técnica que se queira aplicar na usina (Costa, 2002).

No processo de sinterização, o minério de ferro é preparado com materiais complementares para que possa ganhar, entre outras características, a resistência mecânica.

Já no processo de coqueria, após o carregamento do carvão, ele é misturado e aquecido a 1000 °C utilizando combustíveis gasosos, para liberar toda umidade presente nesse aquecimento. Em seguida, ocorre o descarregamento para o apagamento e o processo de separação centrífuga em um sistema de bateria de ciclones.

Nesse processo, devido à utilização de gases para a carbonização, uma parte desses pode ser reaproveitada pelas usinas como combustível próprio para uso na coqueria (Costa, 2002).

Na redução do minério de ferro em ferro gusa no alto-forno são misturados o coque e o sínter de minério de ferro (minério processado). Essa etapa demanda um alto gasto energético, que obtém ao final o ferro gusa líquido. Este pode ser retirado para seguir nas etapas de aciarias.

Sálvio e Medina (2008) relatam que o alto-forno não atende às novas exigências ambientais e podem ser substituídos progressivamente por processos alternativos ou complementares, como os de redução direta.

Na etapa de redução direta ocorre a produção de ferro primário sólido a partir do minério de ferro e um agente redutor. Esse produto é chamado de ferro esponja, que é o mais utilizado em virtude da baixa frequência de sucata de qualidade (Costa, 2002).

Na etapa de aciaria, as usinas podem optar por duas rotas tecnológicas, que também são predominantes no mundo: o conversor a oxigênio – LD (BOF) e o forno elétrico a arco. Como discutido anteriormente, o conversor a oxigênio é utilizado em usinas integradas a carvão mineral ou vegetal e o segundo em usinas semi-integradas, que utilizam sucata como carga metálica, que será oxidada logo depois para reduzir a concentração de carbono (Costa, 2002).

De acordo com o IAB (2021) as aciarias utilizando a técnica de converter a oxigênio, é responsável pela maior parte da produção nacional dos últimos 5 anos, enquanto que, as que utilizam forno elétrico a arco, são as minoritárias.

Na etapa que utiliza aciarias elétricas existe uma diversidade de técnicas operacionais, fornos e suas configurações, produtos e insumos. A carga metálica é colocada no forno (de corrente alternada ou contínua) e os eletrodos de carbonos são organizados para ocorrer a formação do arco elétrico e começar a fusão. Após a fusão, a carga também é oxidada para reduzir o teor de carbono e eliminar impurezas e aí se tem o aço líquido (Costa, 2002).

O lingotamento e a laminação estão entre as últimas etapas da produção de aço. No lingotamento, o aço líquido é resfriado e fica em forma de lingotes, e em seguida é levado para as lingoteiras para depois seguir para a primeira etapa de laminação, (podendo ainda ocorrer o lingotamento contínuo e laminação direta). O lingotamento contínuo é considerado mais eficiente para tratar grandes quantidades de aço líquido, em cujo processo destaca-se a máquina de curva e dá a capacidade de dobramento e desdobramento quando o produto ainda está se solidificando (Ribeiro, 2014).

Após o aço líquido ser colocado em moldes, ele é retirado lentamente de dentro do molde e em seguida ocorre a laminação. A laminação é um processo que também segue por várias etapas e dá origem a produtos diversos. As distintas qualidades atribuídas ao aço e suas formas geométricas são levadas em consideração para indicar a finalidade de uso (por

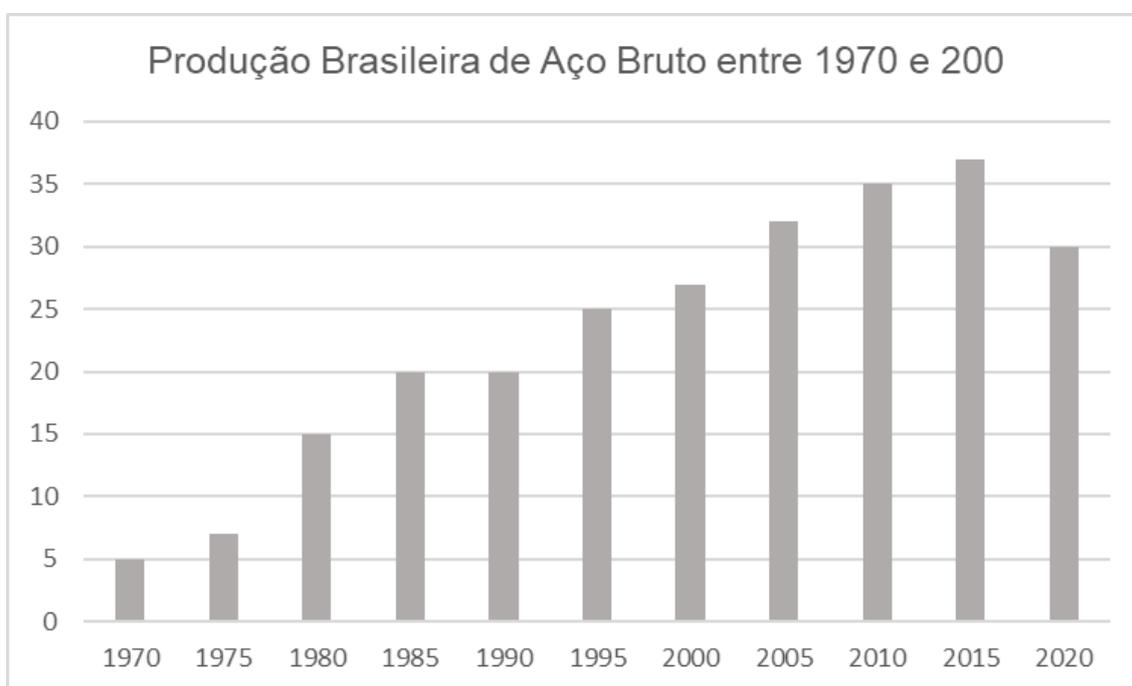
exemplo: o aço carbono, os aços ligados ou especiais, os aços de construção mecânica e os aços de ferramentas. Na segunda é que se tem os semi-acabados, que vem do lingotamento contínuo, os produtos planos e os produtos longos (Ribeiro, 2014).

O aço ao ser deformado mecanicamente é transformado em produtos siderúrgicos que são utilizados pela indústria de transformação, como as chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados e barras (Costa et. al. 2007).

Todos eles são empregados em muitas áreas, a depender da linha de produção que a empresa opta por vender. No que se refere ao mercado nacional de aço, recentemente a produção tem se apresentado de forma flutuante, sendo caracterizado por alternâncias entre momentos de picos e momentos de baixas em relação aos níveis de volume de produção.

O gráfico da Figura 3 apresenta uma série de registros de volume de produção de aço bruto no Brasil, entre os anos 2015 e 2020.

Figura 3 - Produção Brasileira de Aço Bruto em 10^3 t entre 1970 e 2000.



Fonte: Adaptado de IAB (2021).

Observa-se do gráfico que a produção de aço no país é um mercado bastante sólido, apresentando uma série de volumes de produção em evolução crescente, excetuando o ano de 2020. A Tabela 1 mostra a distribuição dos produtos siderúrgicos brasileiros entre os anos de 2016 e 2020.

Tabela 1 - Produção siderúrgica Brasileira (10³ t) .

Produção	2016	2017	2018	2019	2020
Aço bruto	31.642	34.778	35.407	32.569	31.415
Laminados	22.517	24.168	23.950	23.950	23.111
Planos	22.517	15.165	14.708	14.708	13.659
Longos	13.669	9.003	9.439	9.242	9.452
Semiacabados	8.848	11.639	11.971	10.824	9.101
Placas	10.698	10.016	10.454	9.583	8.551
Lingotes	1.801	1.623	1517	1.241	550
Ferro-Gusa	26.345	28.572	28.655	26.280	24.628

Fonte: Adaptado de IAB (2021).

Os produtos mais exportados no ano de 2020 no Brasil foram os semiacabados, que inclui placas, lingotes, blocos e tarugos. O Brasil é o maior produtor de aço da América Latina. As empresas brasileiras desse campo estão concentradas principalmente na região sudeste. Segundo o Instituto de Aço Brasil, o setor siderúrgico é representado por 15 empresas privadas, que operam 28 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros. A tabela abaixo informa as principais empresas brasileiras de produção de aço bruto e os dados relativos às suas produções entre 2016 e 2020.

Tabela 2 - Empresas Brasileiras produtoras de aço/ produção em 10³ t.

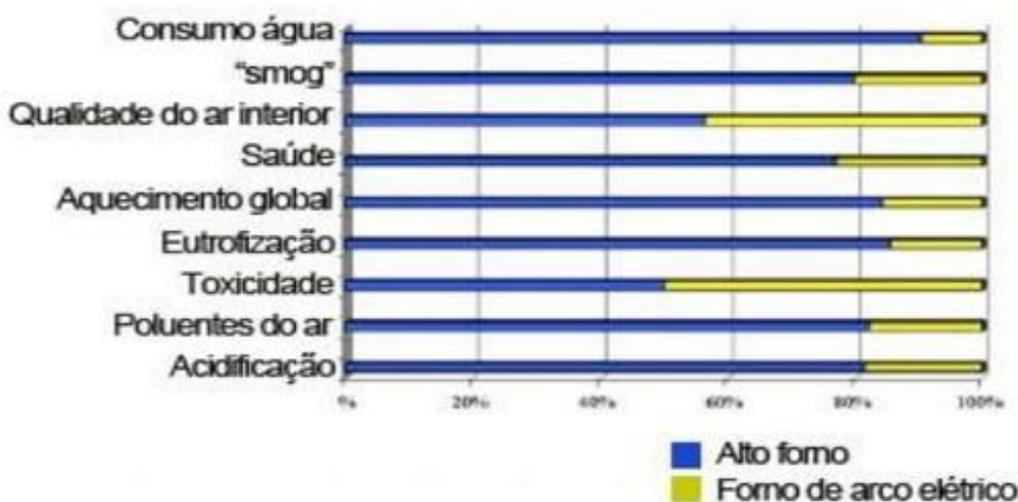
Empresa	2016	2017	2018	2019	2020
Aço Verde do Brasil	157	144	279	338	321
Aperam	754	716	709	688	696
Arcelor Mital Aços Longos	3.106	2.891	3.135	2.870	3.007
Arcelor Mital Sul Fluminense	959	1.032	1.010	720	737
Arcelor Mital Tubarão	7.052	7.198	7.043	6.268	4.973
CSN	3.179	4.426	4.199	3.043	3.810
CSP	1.063	2.455	2.978	2.866	2.743
Gerdau	6.831	6.955	6.654	6.301	6.220
SIMEC	210	284	480	671	988
Sinobras	374	389	345	345	330
Ternium Brasil	4.229	4.497	4.606	4.379	4.138
Usiminas	3.143	3.102	3.086	3.264	2.760

Fonte: Adaptado de IAB (2021).

3.3 Sustentabilidade na cadeia produtiva do aço

A Figura 4 ilustra o nível de impacto ambiental, sobre alguns parâmetros, gerados pela atividade de produção do aço.

Figura 4 - Impacto ambiental Alto-forno X Arco elétrico.



Fonte: Extraído de Gervásio (2012).

A sustentabilidade ambiental é um conceito bastante difundido no século XXI. Conforme surgem novas tecnologias e novos meios de produção na indústria siderúrgica, surgem também os impactos ambientais, que acabam relacionando outros contextos, como os sociais (Vaz, 2010)

Nesse sentido, a produção de aço é um cenário para discussões sobre os diferentes insumos utilizados nesse meio, pois envolve a emissão de produtos e efluentes gasosos que resultam em diversos resíduos. A utilização quantitativa desses insumos e o gasto energético desde a preparação até o acabamento dos produtos finais são pontos de bastante discussão em termos de sustentabilidade e impactos ambientais.

Altwegg, et al., (2004) afirmam que os três pilares da sustentabilidade são: os impactos no meio ambiente, a economia e a sociedade. Nesse sentido, salientam que a sustentabilidade social é afetada pela sustentabilidade econômica e ambiental, como uma relação de interdependência.

Essa relação está ligada ao estudo de Gudukeya et. al. (2019), no qual se constata que a instabilidade econômica afetou a sustentabilidade de modo geral. O estudo conclui que para aumentar as chances de sustentabilidade na indústria é necessário melhorar alguns pontos, entre eles destacam-se: 1) nível de investimento local e estrangeiro, 2) políticas formadas em consulta com a indústria, 3) empréstimos amigáveis ao investidor e 4) investimento em fabricação.

Em relação à emissão de gases do efeito estufa a literatura aponta que a rota tecnológica que utiliza fornos a arco elétrico de sucata é mínima em comparação com outras tecnologias e a produção de aço pela rota de alto forno é o percurso que mais emite CO₂, por outro lado, existe o lado benéfico, no sentido de que os produtos de aço normalmente possuem longa vida, são utilizadas por muitos anos até que sejam substituídos (Niedheesh & Kumar, 2019).

Zhang et al. (2019) aponta para caminhos capazes de diminuir a emissão de CO₂ na produção de aço, tal como aumentar a compra de consumo de sucata, melhorar o rendimento do produto com a finalidade de reduzir o uso de sucata autoproduzida, melhorar a eficiência da usina, utilizar mais energia externa, substituir o gás de alto-forno por opções mais ecológicas e a recuperação de calor residual.

Niedheesh e Kumar (2019) acrescentam ainda a troca de recursos pelas indústrias, corroborando com as propostas de

Zhang et. al. (2019) no sentido de reduzir os resíduos e as emissões.

Atualmente, são crescentes as discussões sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), cuja abordagem trata de 17 objetivos ou desafios que a Organização das Nações Unidas – ONU (2018) pretende alcançar visando atender a chamada Agenda 2030. A indústria siderúrgica está inserida em alguns desses objetivos, tais como o objetivo 9, que traz aspectos relacionados à indústria, inovação e infraestrutura. Por sua vez, no objetivo 12, levanta-se o contexto do consumo e produção responsáveis. No entanto, em outros objetivos observa-se a articulação da indústria com a sustentabilidade de modo geral.

Dessa forma, retoma-se a discussão da importância da sustentabilidade, da necessidade das indústrias criarem possibilidades para construção de meios de produção mais limpos e sustentáveis, uma vez que, é urgente que atitudes dessa natureza sejam concretizadas no âmbito industrial.

A evolução da indústria siderúrgica teve muitos avanços para o setor e para a sociedade de modo geral. O aperfeiçoamento de técnicas, meios de produção e melhoria da qualidade dos produtos contribuiu para que esse setor tivesse a visibilidade que tem principalmente no que diz respeito à importância nacional em relação à economia, pois é um setor que, além de possuir faturamento financeiro elevado, é estratégico na medida em que a base da indústria nacional não pode dispensar a aplicação de aço, em termos de investimentos e novas instalações produtivas (Garcez, 2019).

Diante desses avanços, percebe-se que conforme as tecnologias foram avançando, também foram extensos os impactos causados nesse meio. Entre o uso de carvão e da sucata, a utilização de sucata na cadeia produtiva do aço ainda caminha a passos lentos, devido à limitação relacionada à qualidade deste insumo. Além disso, o uso de carvão tem impactos ambientais mais persistentes no meio ambiente.

O setor siderúrgico tem mostrado que existem rotas tecnológicas capazes de mitigar os impactos ambientais, mas é necessário estudar essas adequações de modo que, a produção de aço da indústria não seja afetada negativamente. Os fornos elétricos utilizados na aciaria foram grandes avanços nesse sentido, mas não em relação à produção, pois não é tão alto quanto nos conversores LD, por exemplo. Nesse sentido, o cenário atual mostra, justamente, a necessidade de aprofundar meios que retomam tanto as concepções de sustentabilidade na indústria siderúrgica, e ainda assim, garanta o nível de produção que normalmente se tem em rotas que demandam maior gasto operacional e energético.

O Brasil, por suas características em termos de irradiância solar e ocorrência de ventos, detém condições de vantagem praticamente incomparáveis com relação ao resto do mundo no sentido de produzir energia de fontes limpas.

A Matriz energética do país é amplamente diversificada, como reporta a Agência Internacional de Energia (IEA) em 2019, através do Quadro 1.

Quadro 1 – Produção de Energia do Brasil (2019).

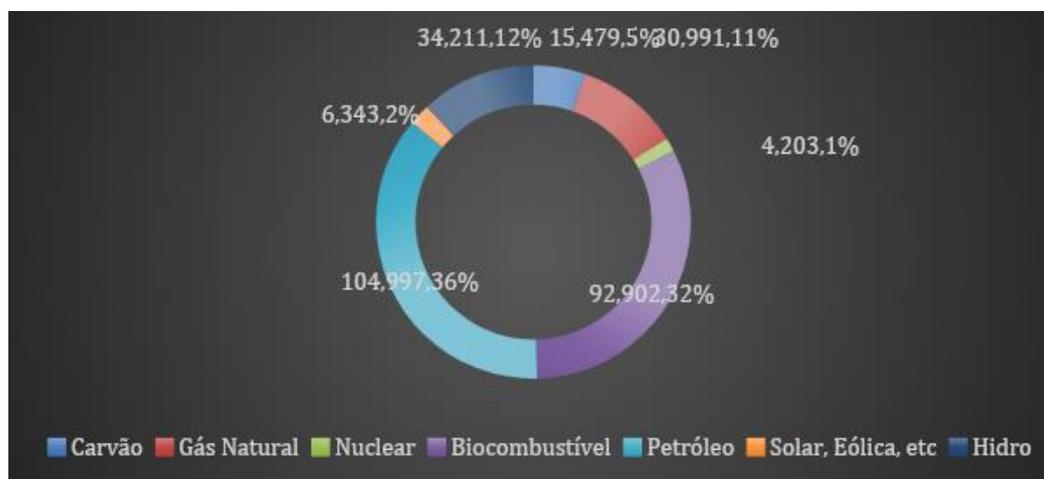
Fonte de energia	Energia gerada (*ktoe)
Carvão	15.479
Gás Natural	30.991
Nuclear	4.203
Biocombustível	92.902
Petróleo	104.997
Solar, Eólica, etc	6.343
Hidro	34.211

Dado: *ktoe = quilotonelada de óleo equivalente;
1ktoe = 42 gigajoules

Fonte: Adaptado de IEA (2019).

Pela ilustração da Figura 5, observa-se graficamente o comportamento da Matriz Energética Brasileira.

Figura 5 – Matriz Energética Brasileira.



Fonte: Adaptado de IEA (2019).

Sendo assim, o panorama atual mostra que a sustentabilidade acaba ganhando espaço como parâmetro dentro do meio siderúrgico, visando à adequação das rotas tecnológicas por tecnologias e meios de produção mais limpos.

4. Discussão

Tal como já citado, percebe-se os diferentes processamentos ao longo da cadeia produtiva do aço, que até o acabamento diferem em algumas questões, muitas vezes intrínsecas às empresas desse ramo, como a empresa Gerdau, que trabalha com produtos como tarugos, placas, blocos, fio-máquina, vergalhões, barras, perfis, arames, treliças, telas soldadas, pregos, entre outros (Costa, et. al. 2007). Dessa forma, é possível compreender a abrangência do produto final e como cada empresa se beneficia na produção do aço.

Em relação ao forno de arco elétrico e alto forno, a literatura expõe diversos impactos e diferentes demandas energéticas entre esses processos, mas fica bem evidente que o alto forno utiliza muito mais energia e tem mais impacto ambiental na produção de uma tonelada de aço (ver Figura 4). Logo, faz sentido que sejam substituídos com o passar dos anos para atender as exigências ambientais.

É perceptível a importância do aço no mercado, mas para compreender a importância desse produto, essa pesquisa julgou necessário descrever suas características.

No estudo de Gudukeya et. al. (2019) percebeu-se que mesmo em um contexto de instabilidade econômica, grande parte das empresas mantinham mecanismos para cuidar do meio ambiente, a qual apontaram os seguintes: adequar os processos para que utilizem menos energia, máquinas ecologicamente corretas e fundições que minimizem as emissões

Esse estudo permite trazer a reflexão de que, se um país nas condições econômicas relatadas consegue agir conforme os padrões da sustentabilidade, em países com a economia estável como o Brasil, é possível e cabível que as empresas se adequem aos parâmetros de sustentabilidade siderúrgica. Além disso, a importância de procurar mecanismos de sustentabilidade que se adequem a realidade da indústria que combine com as exigências técnicas para sustentabilidade.

A realidade atual apresenta o Brasil como um dos países mais competitivos em termos de produção de energia, tendo em vista sua diversificada e praticamente incomparável matriz energética. Esse fator de vantagem pode ser aproveitado pela indústria siderúrgica no sentido de aliviar a demanda sobre as fontes hidrelétricas e termelétricas, aumentando o grau de

viabilidade ambiental da produção de aço.

O aquecimento global é um assunto que, inevitavelmente, deve ser debatido ao falar de sustentabilidade na indústria siderúrgica do aço. Na cadeia produtiva do aço são emitidos gases que também contribuem para o efeito estufa. Ao falar de aquecimento global é importante trazer o contexto para o presente, pois normalmente são sempre levados para o futuro, problemas ambientais futuros, quando na verdade já acontecem hoje, como afirma Costa (2002) “As grandes tragédias ambientais já ocorrem hoje, não precisam de uma data para ocorrer”.

5. Conclusão

A evolução da indústria siderúrgica trouxe muitos avanços para esse setor e para a sociedade de modo geral. O aperfeiçoamento de técnicas, meios de produção e melhoria da qualidade dos produtos contribuiu para que esse setor tenha a visibilidade que tem principalmente no que diz respeito à importância nacional em relação à economia, pois é um setor que possui faturamento altíssimo.

Apesar do comportamento oscilante registrado nos últimos anos, a indústria siderúrgica brasileira é bastante sólida. Conforme apresentado, a produção se concentra principalmente nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Ceará e São Paulo. A produção do aço nesses estados está relacionada principalmente aos lingotes, aos produtos de lingotamento contínuo e ao aço para fundição. Não há dúvida de que a ampliação da base nacional industrial é acompanhada da produção e fornecimento de aço. Fábricas, equipamentos, tubulações e acessórios, construção civil estão entre os exemplos de aplicação direta do aço.

Fazendo um pequeno recorte do mercado nacional em termos de demanda de aço, para se ter uma razoável dimensão da importância desse produto, pode-se abordar uma parte da área de Óleo e Gás, cujos projetos de desenvolvimento de produção de petróleo exigem investimentos em possantes plataformas de petróleo, que definitivamente consomem aço para suas construções. Tal fato leva à conclusão de que o aço figura entre as principais commodities dos tempos atuais do país.

O setor siderúrgico ainda tem um longo caminho a percorrer na sustentabilidade, principalmente no que tange ao reaproveitamento dos resíduos provenientes de seus processos, mas já tem-se notado uma importante evolução. A sustentabilidade deve ser trabalhada unindo os fatores econômicos, sociais e ambientais, visando à adequação das rotas tecnológicas por tecnologias e meios de produção mais limpos para as futuras gerações.

Agradecimentos

Agradecemos a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização e sucesso deste artigo.

Referências

- Altegg, D., Roth, I., & Scheller, A. (2003). *Monitoring Sustainable Development MONET: Final Report-Methods and Results*. Neuchatel, Cade. (2002). *Conselho Administrativo de Defesa Econômica. Indústria Siderúrgica*. Cadernos do Cade.
- Costa, M. M. (2002). *Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Pós-graduação em Engenharia, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Costa, V. L., Escorsim, S., & Costa, D. L. (2007). Processo produtivo e produção de aço: a inserção do Grupo Gerdau S.A. no cenário mundial. In: *Anais do Congresso Internacional de Administração, Ponta Grossa*. 1, p.1-7.
- Garcez, V. O. (2019). *Sustentabilidade e ética na gestão hídrica de Volta Redonda*. Dissertação (Pós-graduação em Tecnologia Ambiental) – Escola de Engenharia Metalúrgica Industrial de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro.
- Gervásio & Maria Helena. (2012) *A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas*. [S. ed.] Artigo técnico.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. Ed. Atlas.

Instituto aço Brasill. (2021) - *IAB. Estatísticas da Siderurgia 4º Trimestre 2020*.

Instituto aço Brasill. (2022) - *IAB. História do aço*.

Liubartas, D., Barros e Silva, E. A. S., Santos, E. A. M. dos., Silva, J. E. da., & Formigoni, A. (2015). A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas, *INOVAE – Journal of Engineering and Technology Innovation*.

Mello, A. A. A., Racle, R., Vaz, S. L., & Caigawa, S. M. (2008). Competitividade e sustentabilidade ambiental da siderurgia brasileira. In: *Seminário Mitigação de Gases de Efeito Estufa: a experiência empresarial setorial e regional no Brasil*. 1, 31-51.

Nidheesh, P. V., & Kumar R, M. S. (2019) An overview of environmental sustainability in cement and steel production. *Journal of Cleaner Production*.

ONU. (2022). *Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2018*. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

Raposo, D. R. (2018). *Indústria 4.0: realidade, mudanças e oportunidades*. (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

Ribeiro, B. A. B. (2014). *Desenvolvimento de uma Metodologia para Análise do Processo de Vazamento de Aço Líquido da Panela de Aço para o Distribuidor no Processo de Lingotamento Contínuo*. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais.

Sálvio, F. E. C., & Medina, H. V. de. (2008) Produção Sustentável de Aço no Brasil. In: *Anais da XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM/MCT, Rio de Janeiro*.

Sousa, A. S., Oliveira, S. O., & Alves, L. H. (2021) A pesquisa bibliográfica: *princípios e fundamentos*.

Viana, F. L. E. (2019). *Indústria Siderúrgica*. Caderno Setorial ETENE.

Viana, F. L. E. (2021). *Indústria Siderúrgica*. Caderno Setorial ETENE.

Zhang, Qi., Li, Y., Xu, J., & Jia, G. (2018). *Carbon element flow analysis and CO2 emission reduction in iron and steel works*. *Journal of Cleaner Production*.

Usiminas. (2022). *Os principais mercados consumidores do Aço*. Blog da Usiminas. <https://www.usiminas.com/blog/mercado/os-principais-mercados-consumidores-de-aco>.

Vaz, S. L. (2010). *A siderurgia brasileira a carvão vegetal: um estudo de arranjos verticais*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.