

A Indústria Siderúrgica e o Impacto Chinês: Uma Ameaça Para a Economia Verde ou Um Caminho Para Uma Nova Trajetória Institucional?

Autores: **Michel Augusto Santana da Paixão** é graduado em ciências econômicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e possui doutorado e mestrado em economia aplicada pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente é professor na Universidade Estadual de Londrina (UEL). **Oz Solon Chovghi Iazdi** Doutor em Ciências Econômicas - Teoria Econômica - pela Unicamp (2018). Possui Mestrado em Economia pela FGV-SP (2013) e bacharelado em Ciências Econômicas pela PUC-Campinas (2010). Atualmente é professor na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS) e seus interesses de pesquisa se concentram sobre os temas da economia institucional, economia ecológica e aspectos normativos e descritivos da justiça social, com foco em abordagens interdisciplinares. **Leandro Garcia Meyer** Possui graduação em Ciências Econômicas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e mestrado em Economia Aplicada na Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FEARP/USP). Doutor em Economia Aplicada pela ESALQ/USP, com Doutorado Sanduíche na Universidad Carlos III de Madrid (UC3M). Atualmente, leciona na Universidade Estadual de Londrina (UEL).

Resumo

A indústria siderúrgica se insere no âmbito da Economia Verde de duas formas antagônicas: trata-se de uma das indústrias com destacada emissão de CO₂ e é a principal fornecedora de insumos de caráter sustentável. Tal relação ambígua se torna ainda mais relevante com o intenso crescimento da produção de aço chinês a partir do século XXI. Assim, o objetivo deste artigo é analisar os elementos que compõem essa ambiguidade, com destaque para o impacto chinês. Os resultados indicam um crescimento com concentração geográfica do setor siderúrgico entre 2000 e 2018, acompanhado por um aumento das emissões de CO₂ e da pegada ecológica. Apesar disso, o artigo destaca algumas possibilidades de mudanças institucionais e tecnológicas de caráter mais sustentável

Palavras-chave: Gases do Efeito Estufa, indústria siderúrgica, Economia Verde, mudança institucional, China.

Abstract

The steel industry falls within the scope of the Green Economy through two antagonistic ways: it is one of the biggest CO₂ emitting industries and, at the same time, it is the main supplier of sustainable

inputs. Such an ambiguous relationship becomes even more relevant with the intense Chinese steel production growth observed in the 21st century. Thus, the objective of this paper is to analyze how the global steel industry fits into the context of Green Economy, take into account the Chinese impact. The results indicate both an increase in production and in geographical concentration of the steel sector, as well as a rise in CO₂ emissions and ecological footprint. Nonetheless, the paper also highlights some possibilities for institutional and technological changes.

Keywords: Greenhouse Gases, steel industry, Green Economy, institutional change, China.

JEL: L61; O33; Q57.

1 Introdução

O aumento da produção industrial, iniciado com a Revolução Industrial nos séculos XVIII e XIX, proporcionou uma elevação substancial do nível de consumo devido ao crescente acesso das classes sociais de menor renda ao mercado consumidor. Porém, esse aumento também contribuiu para o surgimento de desequilíbrios ambientais, levando a humanidade a repensar paradigmas de consumo com vistas a preservar o meio ambiente e a própria permanência da vida na Terra.

Um dos segmentos propulsores do desenvolvimento e crescimento econômico do mundo moderno e contemporâneo, tal como se conhece hoje, é a indústria siderúrgica, que tem o seu início nos Estados Unidos da América (EUA) com o industrial Andrew Carnegie. Segundo Reis (2010), o setor siderúrgico é importante para a economia pelo fato de fornecer insumos para a infraestrutura, especificamente para segmentos considerados agentes de desenvolvimento econômico, como a construção civil, eletroeletrônicos, bens de capital e indústria automobilística. Com o crescimento econômico, a industrialização e o processo de urbanização mundial, a demanda por aço cresceu e vem crescendo a cada ano.

De acordo com Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory (2013), a indústria siderúrgica é a mais intensiva em energia no mundo. Além disso, a indústria siderúrgica utiliza o carvão como principal fonte de matéria prima para produção de aço, caracterizando-se, assim, como a maior indústria emissora de CO₂ no mundo. Segundo a Global Efficiency Intelligence (2017), a indústria do ferro e do aço respondem por 5% das emissões mundiais de CO₂ e por cerca de 27% das emissões do setor industrial global.

Dessa forma, esse setor se torna especialmente importante em decorrência da destacada relevância que a questão ambiental tem apresentado nas últimas décadas. Além disso, o considerável aumento da produção e consumo de aço da China neste mesmo período também aumenta a necessidade de entender melhor a dinâmica recente deste setor. Segundo a World Steel Association (2019), a China produziu 928 milhões de toneladas de aço em 2018 (51% da produção mundial), ao passo que, em 2008, sua produção era de 512 milhões de toneladas (38% da produção mundial na época), representando um crescimento de mais de 80% em dez anos. Considerando o mesmo período, a China passou de 7.375 megatoneladas de CO₂ emitidos em 2008 para 10.065 megatoneladas em 2018, permanecendo no posto de maior emissor de gás CO₂ do mundo. Para efeito de comparação, os EUA, segundo maior emissor, diminuíram sua produção de CO₂ de 5.928 megatoneladas para 5.416 megatoneladas no mesmo período (Global Carbon Atlas, 2019).

Dado este contexto, o presente artigo tem por objetivo analisar como a indústria siderúrgica mundial se insere no âmbito de uma economia de baixo consumo e emissão de carbono (Economia Verde), particularmente após o intenso crescimento da produção de aço chinês a partir da virada do século. Adicionalmente, o artigo também lança mão da abordagem institucionalista a fim de questionar se a possível ameaça a uma Economia Verde advinda da expansão da produção siderúrgica e do impacto chinês pode ser contrabalanceada por uma mudança de trajetória institucional e tecnológica. Levanta-se, portanto, o seguinte dilema: ao mesmo tempo em que a economia mundial tenta caminhar para a adoção de uma nova trajetória institucional que prevê uma

economia de baixa emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e que coloca a indústria siderúrgica em um papel de protagonismo frente à consolidação da Economia Verde dado o seu potencial de sustentabilidade ecológica, a indústria siderúrgica chinesa se torna, concomitantemente, a maior produtora de aço e a maior emissora de CO₂.

Assim, para além desta introdução, a seção 2 discute brevemente as relações gerais entre a indústria siderúrgica, a Economia Verde e a Economia Institucional. Posteriormente, a seção 3 busca caracterizar o setor siderúrgico mundial com base na revisão de literatura e na análise de dados setoriais obtidos por meio da consulta aos manuais disponíveis no sítio eletrônico da WSA denominados World Steel in Figures. Adicionalmente, aborda-se a questão da concentração setorial, sendo apresentados alguns resultados do cálculo da Razão de Concentração [CR(i)] dos dez maiores países produtores de aço no mundo de 2000 a 2018 e o cálculo do índice de Herfindahl-Hirschman Index (HHI), indicadores que permitem tanto caracterizar a estrutura geográfica de oferta do setor siderúrgico quanto indicar em que medida as mudanças institucionais dependem da atuação de cada país. A seção 4 mostra o patamar de emissão de CO₂ na indústria siderúrgica e insere o alerta de sustentabilidade realizado pela Economia Ecológica, particularmente através do indicador de pegada ambiental. A seção 5 apresenta um contraponto à seção anterior ao introduzir alguns indicadores de sustentabilidade do setor siderúrgico e discutir as possibilidades de mudanças na trajetória institucional, tanto sob uma ótica das leis, normas e convenções, quanto sob a ótica da tecnologia. Por fim, a seção 6 apresenta algumas considerações finais da pesquisa.

2 Indústria Siderúrgica, Economia Verde e Economia Institucional

O United Nations Environment Programme - UNEP (2011) define a Economia Verde como aquela capaz de melhorar o bem-estar humano e social, reduzindo, ao mesmo tempo, o risco de escassez de recursos ambientais. Consequentemente, a indústria siderúrgica tem um papel importante dentro da lógica da Economia Verde, uma vez que fornece insumos para a construção de inúmeros empreendimentos relacionados à economia sustentável em especial aqueles compreendidos no conjunto das energias renováveis, pois grande parte desses equipamentos utilizam aço em sua construção. Adicionalmente, deve-se destacar que o aço é 100% reciclável, tendo um ciclo de reutilização infinito (World Steel Association, 2020). Para o Instituto Aço Brasil (2013), o aço é parte da solução na transição para uma Economia Verde, pois se trata de um produto de alta resistência, durabilidade e flexibilidade.

Dentro da concepção da Economia Verde, também se inclui a busca por uma baixa utilização de carbono associada à redução da pobreza com inclusão social via acesso à renda e emprego. Isso se dará por intermédio de investimentos públicos e privados que reduzam tanto a pobreza quanto as emissões de carbono. A contribuição da indústria siderúrgica para a transformação desse paradigma econômico em direção a uma economia de baixa utilização de carbono está associada ao uso eficiente de matérias primas, reciclagem e reutilização de materiais. Logo, observa-se a consonância da siderurgia com a Economia Verde ao se apoiar: (a) nas estratégias de redução de emissão de carbono, em especial de CO₂; (b) na melhoria da eficiência energética; (c) na diminuição no uso de recursos naturais; (d) na reciclagem.

Em 2011, o UNEP estimou que seria necessária uma inversão anual inicial de cerca de 2% do PIB mundial (US\$ 1,35 trilhão) em dez “setores chave” para que se alcançasse uma economia de baixa utilização de carbono, gerando um crescimento sustentável¹. Embora pareça um paradoxo que uma indústria altamente emissora de GEE possua um importante papel na Economia Verde, a indústria siderúrgica vem passando por importantes transformações tecnológicas ao longo das últimas décadas, possibilitando a redução dessas emissões, segundo a World Steel Association (2020).

Em vista da participação que a produção de aço tem tanto sobre a emissão de gases do efeito estufa quanto sobre a possibilidade de sua redução, criou-se um novo paradigma setorial a partir do vultoso crescimento econômico chinês observado após as reformas implantadas por Deng Xiaoping em 1978: a taxa de crescimento média da economia chinesa entre 1979 e 2018 foi de 9,5% a.a.. No entanto, é no século XXI que sua indústria siderúrgica alcança uma escala de produção sem

¹ Os setores selecionados e o respectivo investimento necessário (em US\$ bilhões) foram: energético (360); transporte (190); turismo (135); imobiliário (134); gestão de resíduos (110); hídrico (110); pesca (110); agricultura (108); indústria (75); silvicultura (15). (UNEP, 2011).

precedentes, tornando-se responsável por mais de 50% da produção mundial de aço (World Steel Association, 2019). Como subproduto desse crescimento, a China também assumiu o posto de maior emissor absoluto de CO₂ na primeira década do século. Dessa forma, é pertinente questionar se o impacto chinês, especificamente no que diz respeito ao seu setor siderúrgico, configura-se como uma ameaça à constituição de uma Economia Verde.

Com base na teoria das instituições de Douglass North (1990), por meio da qual ele mostra que a evolução de uma sociedade está condicionada à evolução de suas instituições, observa-se que a concepção da Economia Verde pode representar um novo paradigma institucional no modo de pensamento da humanidade, alterando também as “regras do jogo” da produção industrial que se conhece. Segundo o autor, os agentes seguem determinadas regras, interagindo entre si e com o meio onde vivem, apresentando determinado comportamento. Logo, se as instituições são compostas por padrões de regras, leis ou normas, mudanças nas mesmas fazem com que os indivíduos mudem seu comportamento e a interação entre eles e o meio onde vivem.

Visto por esse ângulo, observa-se que existe uma necessidade de a indústria como um todo e, em especial, a indústria siderúrgica, adequar-se à lógica da Economia Verde. Isso representa uma importante mudança no ambiente institucional dessa indústria em âmbito mundial, uma vez que as organizações que compõem a mesma e que atuam como agentes econômicos deverão rever sua forma de atuação no meio ambiente².

A indústria siderúrgica já passou por importantes mudanças institucionais desde o seu surgimento no início do século XX, com as inovações e expansão da produção de aço até 1973, passando por um período de estagnação de 15 anos após o choque do petróleo e chegando às privatizações nos anos 1980, fruto do movimento liberalizante pelo qual passavam as economias nacionais na época. Dessa forma, a adoção de novos padrões tecnológicos, novos marcos legais e sistemas de regras de pensamento e comportamento socialmente compartilhados que priorizem o desenvolvimento sustentável abriu-se uma possibilidade para que a próxima grande mudança na trajetória institucional da indústria siderúrgica mundial seja sua inserção no paradigma de uma economia de baixa utilização de carbono.

3 Produção e Concentração da Indústria Siderúrgica

Segundo Reis (2010), a indústria siderúrgica possui um papel relevante como ofertante de bens intermediários a diversos setores da economia. Embora atualmente exista a disponibilidade de novos materiais, a indústria siderúrgica ainda figura como a principal fonte de insumos básicos para as indústrias, em especial, as de bens de consumo duráveis e bens de capital.

A produção do aço se intensificou após a invenção do processo siderúrgico Bessemer³. Conforme Malynowskyj (2000), a associação desse ao processo de redução de fósforo do aço, conhecido como processo Thomas, permitiu a produção, em larga escala, de um aço mais barato e mais resistente, reduzindo seus custos de produção.

Segundo Beddows (2005), desde a invenção do processo de Henry Bessemer em meados do século XIX, a indústria siderúrgica passou por um processo de intenso financiamento, iniciado nos EUA, quando J. P. Morgan comprou a Carnegie Steel, e fundou, no início do século XX, a U.S. Steel, criando a primeira empresa siderúrgica bilionária. O grande impulso da indústria siderúrgica ocorreu entre 1945 até 1973, quando a produção de aço teve crescimento médio de 6% ao ano, impulsionado também pelo *boom* econômico do pós-segunda Guerra Mundial. No entanto, com o advento da crise do petróleo em 1973, o setor siderúrgico estagnou e a produção de aço cresceu a uma média de 1% ao ano até 2000.

² Segundo Hodgson (2017, p.134), as próprias organizações podem ser consideradas um tipo de instituição especial que envolve “(a) critérios para estabelecer seus limites e para diferenciar seus membros dos não membros; (b) princípios de soberania sobre quem está no comando; (c) cadeias de comando delineando responsabilidades dentro da organização”. No entanto, o autor mostra que North está interessado em analisar as instituições através de uma abordagem mais macro, o que o permite tratar as organizações como agentes.

³ O processo de produção de aço Bessemer, consiste na conversão do ferro-gusa, em estado líquido, em aço, através da adição de oxigênio (O₂), reduzindo o excesso de carbono (C), silício (Si) e manganês (Mn).

Durante a década de 1980, a indústria siderúrgica mundial passou por um intenso processo de reestruturação influenciado por reformas econômicas e pelo processo de globalização das economias. Essa reestruturação se deu através de privatizações, uma vez que este era considerado o ponto de partida para as mudanças que continuaram ao longo de toda a década de 1990 (ANDRADE, 2001).

Com base em Andrade (2001), Beddows (2005) e Poso (2007), pode-se dividir a indústria siderúrgica mundial em três estágios: o primeiro de crescimento, compreendendo 1945-1973; o segundo de estagnação, entre 1973-1988; e o terceiro de reestruturação, 1988-2000. A respeito deste último período, a Tabela 1 aborda as principais mudanças durante o processo de reestruturação do setor siderúrgico mundial.

Tabela 1: Principais mudanças na reestruturação da indústria siderúrgica mundial (1988-2000).

1 – Concentração de mercados, via fusões, aquisições e fechamento de unidades
2 – Aumento da escala de produção
3 – Especialização na produção de produtos especiais
4 – Ênfase na qualidade
5 – Ênfase na questão ambiental
6 – Pesquisa e desenvolvimento
7 – Continuidade nos processos de produção
8 – Novos modelos de administração
9 – Internacionalização das empresas
10 – Deslocamento geográfico da produção e do consumo dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento
11 – Expansão da produção e do consumo nos países asiáticos
12 – Formação de grandes blocos regionais

Fonte: Elaboração própria com base em Reis (2010)

A Figura 1 mostra a evolução da produção de aço no mundo e na China, com base no estudo da World Steel Association intitulado World Steel in Figures (2002-2019). Os dados apresentados na figura revelam que; após o período de reestruturação, a produção de aço apresentou tendência crescente, com média de crescimento de 4,3% entre 2000 e 2018. Em 2000, foram produzidos 850 milhões de toneladas de aço no mundo, saltando para 1.433 milhões de toneladas em 2010, atingindo, em 2018, 1.808 milhões de toneladas. A produção da China, por sua vez, passou de 127 milhões de toneladas em 2000 para 928 milhões em 2018. Nota-se, com isso, que o crescimento da produção de aço nas duas últimas décadas ocorreu para atender à crescente demanda dos países em desenvolvimento, em especial daqueles que compõem o bloco denominado BRICS⁴, com destaque para o impulso inicial chinês.

⁴ O termo BRICS foi formulado por Jim O’Neil, em 2001, em referência aos países que compõe esse bloco (Brasil, Rússia, Índia e China), introduzindo mais tarde (2011) a África do Sul.

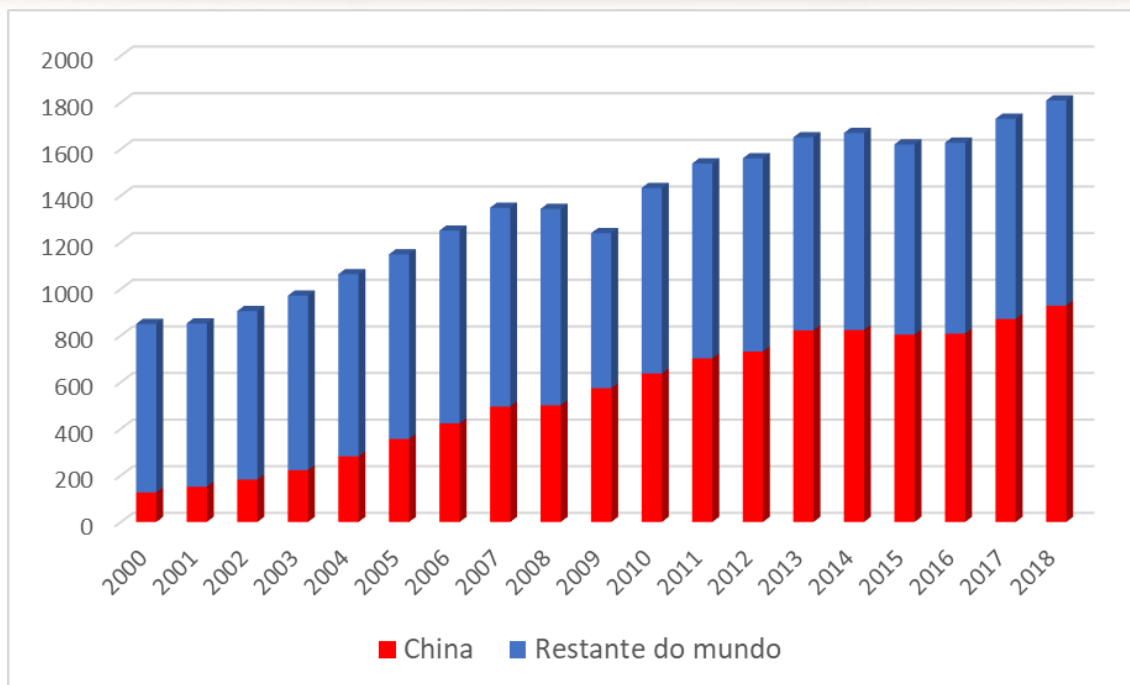


Figura 1: Produção de aço no mundo e na China entre 2000-2018 (em milhões de toneladas)
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da World Steel Association (2002-2019).

A Tabela 2 mostra a evolução da taxa média de crescimento da produção de aço dividida em períodos que vão de 2000 até 2018. É possível observar o elevado crescimento da produção chinesa, apresentando valores muito superiores à média mundial, ainda que refletindo um movimento de desaceleração para o período. Também é interessante ressaltar que, enquanto houve uma queda de 21,1% da produção de aço no restante do mundo, em 2009, como um efeito direto da crise do *subprime*, a China apresentou um crescimento de 14,8% nesse mesmo ano, evidenciando uma demanda fortemente sustentada pelo seu próprio mercado interno. Tal impulso parece ter perdido parte de seu dinamismo, visto que, já em 2015, ocorreu uma queda da produção total de aço de 3,5% no restante do mundo, dessa vez também acompanhada por uma queda de 2,3% na China, o que justifica uma redução sensível na taxa de produção chinesa para o período 2010-2015 (4,8%).

Tabela 2: Evolução do crescimento da produção de aço na China e no restante do mundo entre 2000 e 2018

Período	Taxa média de crescimento da produção na China (%)	Taxa média de crescimento da produção no restante do mundo (%)
2000-2005	22,9	1,8
2005-2010	12,3	0,1
2010-2015	4,8	0,5
2015-2018	4,9	2,5

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de World Steel Association (2002-2019).

A Tabela 3 mostra os dados da evolução da produção de aço entre 2000 e 2018, considerando os dez maiores países produtores em 2018. Destaca-se, novamente, a indiscutível hegemonia chinesa na produção de aço em todo o período. Outro fator que merece destaque é a presença das principais economias mundiais como produtoras de aço (EUA, China, Japão e Alemanha), evidenciando a grande importância da indústria siderúrgica no desenvolvimento econômico. No entanto, o fator que mais corrobora tal relação é o crescimento da produção de aço em economias que apresentam um processo de desenvolvimento mais recente, principalmente

aqueles pertencentes ao BRICS. Esse crescimento ocorre à revelia de uma queda na produção siderúrgica absoluta das economias mais maduras, como EUA, Japão, Alemanha e Itália. O Brasil, ainda que apareça como o nono produtor mundial de aço em 2018, não acompanhou o crescimento realizado pelos países mais dinâmicos, tendo sua participação na produção mundial de aço caído de 3,3% em 2000 para 1,9% em 2018.

Tabela 3: Os dez maiores países produtores de aço no mundo entre 2000-2018 (em milhões de toneladas)

	Pais	2000	2005	2010	2015	2018	
a	China	27	55	37	04	28	9
	Índia	7	1	8	9	07	1
o	Japão	06	13	10	05	04	1
	EUA	02	5	1	9	7	8
ia do Sul	Coré	3	4	4	5	7	7
	Rússia	9	5	6	6	7	7
ia	Alemanha	6	4	4	4	4	4
	Turquia	4	1	2	2	3	3
uia	Brasil	8	2	3	3	3	3
	Itália	7	9	6	2	5	2

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da World Steel Association (2002-2019).

Em função deste aumento da produção de aço chinês, o grau de concentração do setor também aumentou consideravelmente, como mostra o cálculo do CR(i) e do índice de Herfindahl-Hirschman (HHI). O CR(i) mede a Razão de Concentração de mercados e/ou produção dos i países. Quanto maior for o valor do CR(i) (em %), maior a concentração do mercado e/ou da produção. Dessa forma, o CR10, indicador calculado neste artigo, apresenta a soma da participação dos dez maiores países produtores de aço no mundo. Já o cálculo do **HHI** é realizado com base na participação (s) de cada país i e elevado ao quadrado, somando, no final, a participação das N firmas do mercado: $HHI = \sum_{i=1}^N s_i^2$. Assim, um **HHI** menor que 1.000 indica baixa concentração de mercado, de 1.000 a 1.800, concentração média, e acima de 1.800 concentração elevada (BEIRAL, 2011).

Ao calcular a Razão de Concentração dos dez maiores países produtores de aço no mundo (CR10) para o período de 2000 a 2018, nota-se que o CR10 era igual a 70,4%, em 2000, passando para 81,2% em 2010 e aumentando ainda para 83,5% em 2018, o que evidencia uma elevada concentração geográfica. A China, por si só, atingiu o patamar de 51,3% da produção mundial de aço em 2018.

A evolução do HHI pode ser observada na figura 2. Nota-se um índice igual a 674 em 2000, indicando uma concentração geográfica baixa na produção do aço. Apenas quatro anos depois, o índice chega a 1.009, indicando uma concentração geográfica média. Em 2009, o índice chega a 2.335, ultrapassando a barreira dos 1.800, limite que, por convenção, indica uma concentração elevada. Finalmente, observa-se que há uma desaceleração da taxa de crescimento da concentração a partir de 2013, ainda que, em 2018, o HHI tenha atingido um valor igual a 2.773, o maior nível para o período analisado.

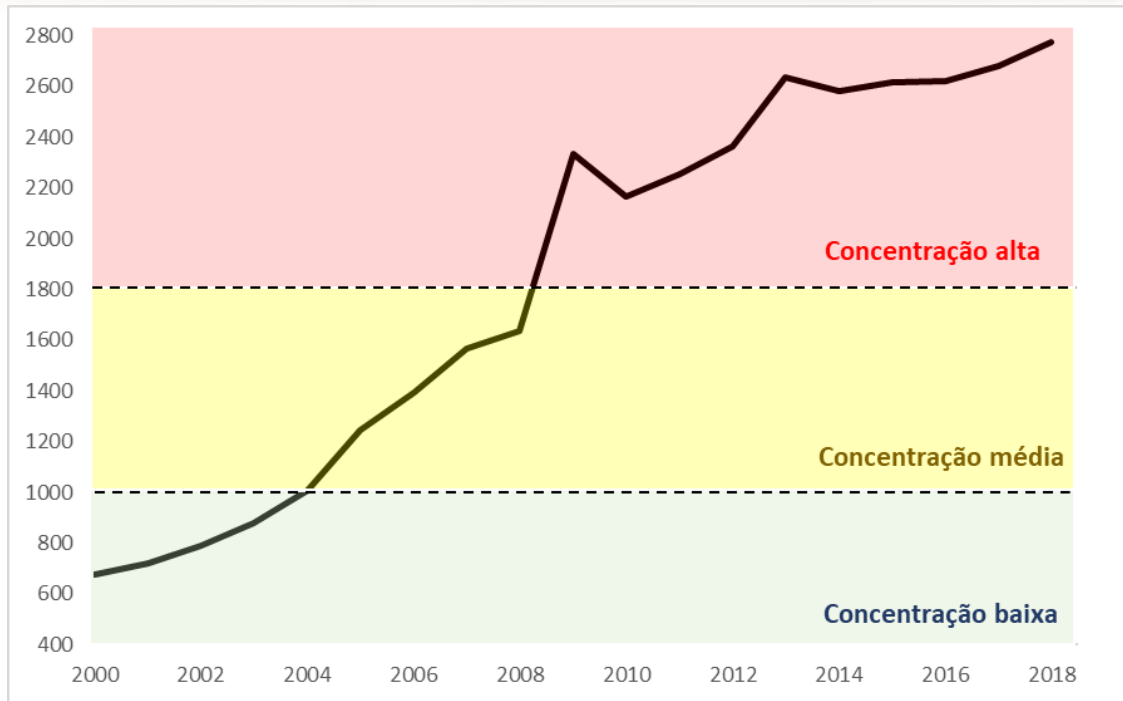


Figura 2: Evolução do HHI para o período de 2000-2018.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da World Steel Association (2002-2019).

Diante dessas evidências, pode-se afirmar que, em adição aos três estágios da indústria siderúrgica descritos por Andrade (2001), Beddows (2005) e Poso (2007) – crescimento (1945–1973), estagnação (1973–1988) e reestruturação (1988–2000), deve-se incluir um novo estágio de crescimento com concentração para o período de 2000 a 2018.

4 A Indústria Siderúrgica e o Impacto Chinês: Ameaça à Economia Verde?

4.1 Emissão de CO₂ e o Dilema Chinês

Embora se reconheça que a indústria siderúrgica tenha um papel de destaque dentro da lógica da Economia Verde e tenha a China como o maior produtor mundial de aço, observa-se, atualmente, que esse país acabou se consolidando também como o maior emissor de GEE.

Segundo Gilfillan et al. (2019), UNFCCC (2019) e BP (2019), a China, em 2006, consolidou-se como o maior emissor de gás CO₂, principal gás responsável pelo efeito estufa. Nesse ano, as emissões totais de CO₂ desse país atingiram a marca de 6,4 bilhões de toneladas. A Figura 3 mostra a evolução temporal da emissão de CO₂ para um grupo selecionado de países. Observa-se que há uma mudança abrupta na taxa de crescimento da emissão de CO₂ na China após a virada do século, o que acompanha seu ritmo de crescimento para o mesmo período. Os EUA, apesar de estarem na segunda posição, apresentaram uma emissão total de CO₂ em 2018 de 5.416 toneladas, apenas um pouco superior à metade da emissão chinesa, que atingiu 10.064 para esse mesmo ano, sendo responsável por cerca de 27% da emissão global.

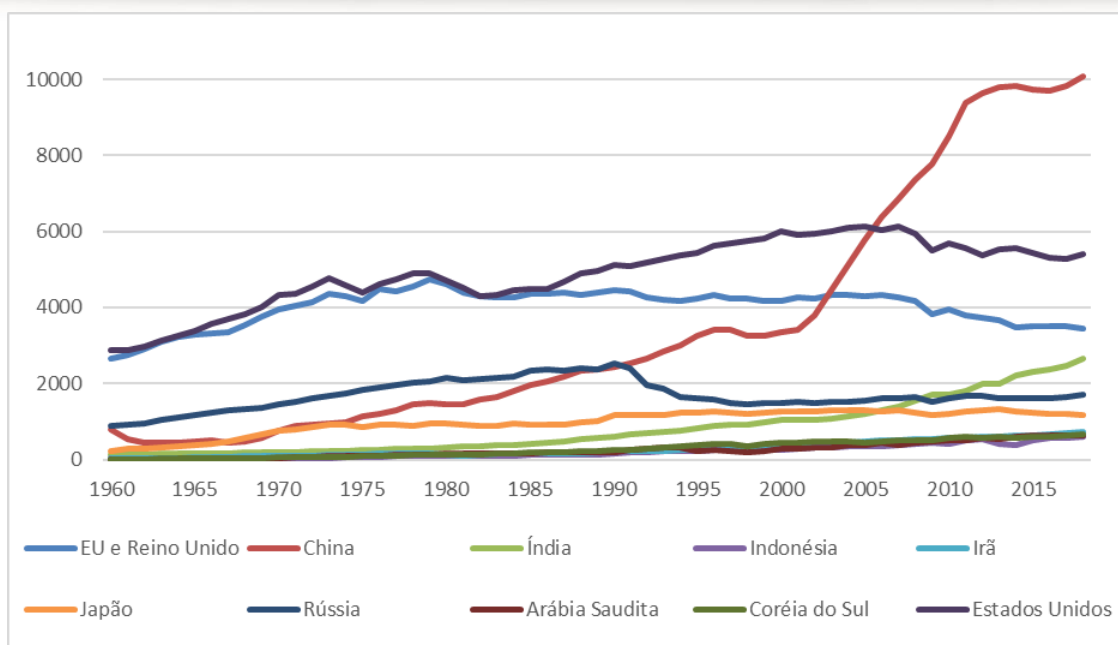


Figura 3: Emissão de CO₂ entre 1960 e 2018 (em milhões de toneladas)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados de Gilfillian et al. (2019), UNFCCC (2019) e BP (2019).

Ao se levar em consideração a população dos países, nota-se que, enquanto a China passa de uma emissão per capita de 2,65 toneladas de CO₂ em 2000 para 7,27 toneladas em 2018, os Estados Unidos passam de 21,76 toneladas de CO₂ emitidos por habitante em 2000 para 16,45 em 2018, na contramão do rápido crescimento chinês, e ficando ainda atrás de Austrália (16,90 toneladas) e Arábia Saudita (19,28 toneladas).

Grande parte da emissão de CO₂ da China vem de suas usinas termelétricas, produtoras de energia que utilizam o carvão, enquanto que a outra parte vem justamente da produção de aço que também tem como principal matéria prima o carvão. Segundo Hasanbeigi e Springer (2019), as indústrias do aço e do ferro são responsáveis por 24% das emissões industriais de CO₂ no mundo, sendo que a indústria siderúrgica chinesa possui a maior intensidade de emissão de energia e de CO₂ dentre os 15 países analisados no estudo⁵. Os autores apontam que a principal razão dessa elevada intensidade é a baixa proporção de utilização do forno elétrico a arco na produção de aço na China, visto que esse é um processo de produção que usa menos energia para produzir uma tonelada de aço do que o Processo Linz-Donawitz (ou Conversor a Oxigênio).

Assim, o perfil da indústria siderúrgica chinesa resulta em um paradoxo, uma vez que, ao mesmo tempo em que a indústria siderúrgica mundial tem um papel importante na Economia Verde e, sendo a China a maior produtora de aço, essa também se consolida como a maior emissora de CO₂.

4.2 O Alerta da Economia Ecológica

Diante das evidências sobre os impactos ambientais advindos da indústria siderúrgica e, em particular, do crescimento da produção de aço chinês, torna-se essencial colocar em pauta o alerta da Economia Ecológica (EE). Ainda que a perspectiva da EE possa ser identificada no pensamento de autores já no final do século XIX (Franco, 2018), é possível traçar sua origem enquanto uma vertente bem definida da economia política à década de 1980. Segundo Van den Bergh (2001), o cerne da EE pode ser associado à busca de um desenvolvimento sustentável, ou seja, à busca por uma equidade intra e intergeracional. Entende-se que a economia é um subsistema de um ecossistema local e global mais amplo, que impõe limites ao crescimento econômico. Em termos metodológicos, a EE utiliza indicadores físicos (e.g. matéria, energia) e um sistema de análise

⁵ Os países incluídos no estudo de Hasanbeigi e Springer (2019) são: China, Índia, Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul, Rússia, Alemanha, Turquia, Brasil, México, Canadá, Itália, França, Espanha e Polônia.

abrangente e interdisciplinar. A EE se coloca em uma posição crítica à Economia Ambiental de fundamentação ortodoxa, pois, enquanto esta tem como preocupação central buscar arranjos e alocações eficientes em um contexto de externalidades ambientais, a EE reconhece que há um problema mais premente: definir a escala física ótima ou o próprio tamanho da economia em face dos limites biofísicos terrestres. Nesse sentido, a ideia de “coevolução” se torna essencial, já que reflete a influência mútua dos sistemas econômico e ambiental.

O conceito de capital natural também se torna central na análise de sustentabilidade da EE. De acordo com Wackernagel e Rees (1997), o capital natural deve ser entendido como o estoque físico requerido para produzir os bens e serviços biofísicos que uma economia extrai dos fluxos globais para se sustentar, sem que isso comprometa a produção futura. Para Christensen (1989), tal concepção está ausente da análise marginalista da produção, dado que ela ignora uma interdependência biofísica entre os fatores empregados na produção⁶.

Através dessa abordagem da EE, é possível visualizar indicadores que informam o quão sustentável é o nível de consumo ou de produção dos agentes econômicos. Um dos indicadores mais relevantes e que tem sido foco de intenso debate na literatura é a “pegada ecológica”. Segundo Wackernagel e Rees (1997), a pegada ecológica pode ser entendida como a área agregada de terra e água em várias categorias ecológicas que os agentes de uma determinada economia utilizam para produzir os recursos que consomem e absorver os resíduos que são gerados continuamente a partir de determinada tecnologia. A pegada ecológica representa, assim, uma representação do capital natural da economia. Embora Zhang et al. (2017) apresentem diversos aprimoramentos sobre o cálculo da pegada ecológica e Iazdi e Pedroso (2020) compilem algumas críticas realizadas ao indicador, ele busca, por princípio, categorizar os recursos naturais renováveis em um conjunto de seis tipos de áreas: terras cultiváveis, florestas, pastagens, áreas de pesca, áreas construídas e áreas de captação de carbono. Para essas áreas, quanto mais recursos naturais forem consumidos e resíduos de carbono forem gerados, maior é o tamanho da pegada. No lado da oferta, a “biocapacidade” é o indicador da área produtiva real ponderada pela bioprodutividade relativa global. O “hectare global” (gha) é a unidade de medida dos dois indicadores⁷. A quantidade de recursos demandados e de resíduos gerados (pegada ecológica) não deve exceder a capacidade de oferta (biocapacidade), pois isso definiria um *déficit* ecológico.

A Figura 4 mostra a evolução da pegada ecológica chinesa para o período de 1961 a 2016, dividida por tipo de terreno. Segundo os dados do Global Footprint Network (2019), a biocapacidade da China em 2016 foi de 1,37 bilhões de gha. Como a pegada ecológica chinesa em 2016 foi de 5,19 bilhões de gha, conforme é possível constatar na Figura 4, nota-se que há um *déficit* ecológico de 3,82 bilhões de gha em 2016, o que representa 46% do *déficit* gerado pelo planeta todo para o mesmo ano. Ao se observar a distribuição da pegada por tipo de terreno, é visível o aumento relativo da área necessária para captação de carbono, o que corrobora para o aumento do padrão de emissão de CO₂ da China mostrado anteriormente na Figura 3.

⁶ Por exemplo, da perspectiva biofísica, não é possível realizar uma análise do aumento da produção advinda da introdução de um trabalhador a mais e que considere tudo o mais constante. Tal trabalhador requer, necessariamente, a utilização de mais matéria e energia para trabalhar, o que invalida a concepção marginalista em sua essência.

⁷ Para mais detalhes sobre a metodologia de cálculo dos indicadores e seus aprimoramentos, ver Zhang et al. (2017).

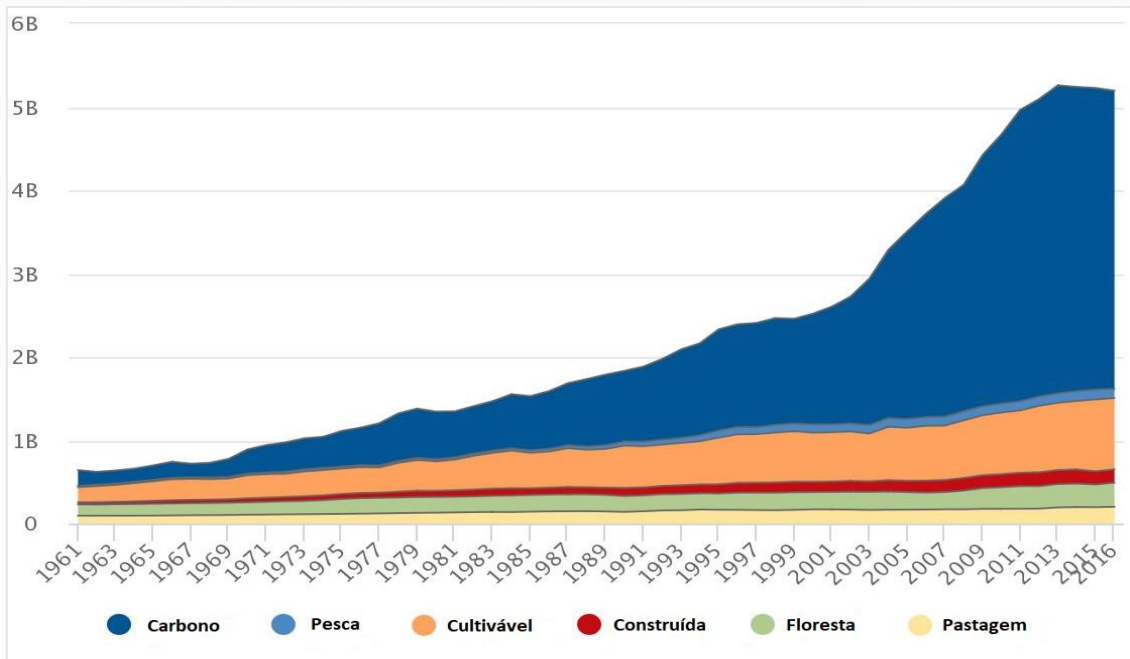


Figura 4: Pegada ecológica e biocapacidade para a China (em bilhões de hectares globais)
Fonte: Adaptado de Global Footprint Network (2019).

Diante desse tipo de evidência, não é possível ignorar o alerta que a EE faz a respeito dos limites do crescimento econômico enquanto um processo sustentável. A elevação da produção de aço na China na virada do século e o conseqüente aumento da emissão de CO₂ requerem, portanto, um olhar atento sobre a possibilidade de se alcançar uma mudança de trajetória institucional e tecnológica que seja capaz de compatibilizar o crescimento e a melhoria do bem-estar com a concepção de uma Economia Verde.

5. Sustentabilidade e Mudança Institucional: Rumo à Economia Verde?

5.1 Medidas de Sustentabilidade da Indústria Siderúrgica

Nesta seção são apresentadas algumas medidas tomadas por parte da indústria siderúrgica mundial no intuito de se adequarem à realidade ambiental na lógica da Economia Verde. Inicia-se pelas ações para a contenção de emissões de GEE.

Segundo a Global Efficiency Intelligence (2017) e a World Steel Association (2020), o dióxido de carbono (CO₂) representa aproximadamente 93% das emissões de GEE na indústria siderúrgica mundial e 5% do total de CO₂ emitido no planeta.

O indicador 1 da Tabela 4 tem seu cálculo baseado na intensidade de CO₂ para as duas rotas de produção de aço comumente utilizadas – o forno de conversão a oxigênio e o forno elétrico a arco, sendo que o indicador é ponderado com base na participação relativa de cada uma dessas rotas na produção total. O indicador mostra que as emissões de CO₂ aumentaram de 1,6 tonelada por tonelada de aço produzido em 2003 para 1,85 em 2018. Ainda assim, para a World Steel Association (2020), os avanços tecnológicos ao longo dos últimos 25 anos proporcionam reduções substanciais de CO₂, permitindo, ao mesmo tempo, uma elevação na produção de aço. Esses avanços incluem: melhoria nos processos de produção; aumento na taxa de reciclagem do aço; aumento na reciclagem e utilização de produtos advindos da produção de aço; automação de processos com extenso controle dos processos siderúrgicos. Para a World Steel Association (2020), métodos modernos de produção de aço estão cada vez mais perto de atingir emissão mínima de CO₂ por tonelada de aço produzido. Algumas melhorias vêm sendo tomadas a médio prazo por meio de transferência e difusão de tecnologias, o que levará a uma significativa diferença na intensidade de CO₂ emitido a longo prazo.

Tabela 4: Indicadores de sustentabilidade da indústria siderúrgica mundial entre 2003-2018.

Indicadores de sustentabilidade ambiental	Unidade de medida	2003	2008	2013	2018
1 - GEE	Tonelada de CO ₂ emitido/tonelada de aço produzido	1,6	1,8	1,8	1,85
2 - Intensidade de energia	Giga Joule consumido/tonelada de aço produzido (GJ/t)	19	20,4	19,9	20,2
3 - Eficiência no uso de materiais	% de subproduto reutilizado	97,1	98,0	96,4	96,3
4 - Sistemas de Gestão Ambiental (SGA)	% de funcionários e prestadores de serviços em instalações com SGA registrado	86,4	86,6	90,2	95,8

Fonte: World Steel Association (2020).

O indicador 2 da Tabela 4 mensura a energia consumida em relação a uma tonelada de aço produzida e possui uma ponderação de cálculo idêntica ao indicador 1. Os resultados evidenciam que, durante o período analisado, não houve redução da energia consumida por tonelada de aço. Ainda assim, a World Steel Association (2020) estima que o consumo de energia por tonelada de aço foi reduzido em 61% desde a década de 1960, quando se tinha um consumo de 50 GJ/t, o que contribuiu também para a redução da intensidade de CO₂.

O indicador 3 mostra o percentual de subproduto da produção siderúrgica reutilizado ou convertido em coprodutos. A eficiência no uso de materiais é elevada, apresentando um indicador médio de 97,2% para o período.

Com relação ao indicador 4, observa-se que, no período analisado, houve uma elevação do percentual de funcionários e prestadores de serviços que trabalham em instalações com certificações de Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) ou a certificação ISO 14001. O SGA busca a melhoria contínua do desempenho ambiental das companhias siderúrgicas, permitindo a implementação de políticas ambientais adequadas ao meio ambiente, que sejam condizentes com a realidade da empresa, estabelecendo tanto as metas e objetivos ambientais como a fiscalização e revisão das metas estabelecidas, o que propicia um ganho de sua capacidade de adaptação a eventuais mudanças. Já a ISO 14001 é um conjunto de normas internacionais que tem por objetivo fornecer elementos para uma gestão ambiental efetiva, podendo ser integrada a outros requisitos de gestão. O elevado índice observado para 2018 (95,8%) mostra que há uma percepção generalizada da necessidade que as empresas têm em estar de acordo com as conformidades ambientais legais para se atuar nesse mercado.

Segundo a World Steel Association (2020), estabeleceu-se, em 2008, uma base de dados referente à coleta de dados de emissões de GEE entre as indústrias siderúrgicas no mundo, em especial emissões de CO₂. A coleta de dados referentes às emissões de CO₂ abrange todos os setores dentro da indústria siderúrgica que influenciam as emissões de CO₂ e de consumo de energia. Após a coleta desses dados, a WSA realiza sua análise e prepara um relatório para as empresas a ela associadas. Esse relatório permite às empresas observar e monitorar como cada uma de suas plantas se comporta em termos de emissões, comparando-a com suas concorrentes em todo o mundo. Isso possibilita às companhias siderúrgicas tomar decisões em direção a práticas mais sustentáveis.

5.2 Mudanças Institucionais e Tecnológicas

Em vista das preocupações que surgem a respeito da sustentabilidade das práticas de produção, algumas concepções e teorias se destacam no sentido de fornecer elementos para uma

análise de mudanças institucionais e tecnológicas, como é o caso das contribuições da Economia Institucional, particularmente de Douglass North. De acordo com Fiani (2002), North desenvolveu suas ideias ao longo de um período que vai do início dos anos 1970 ao final dos anos 1990. Para Gala (2003), North mostrou, como o crescimento de longo prazo ou a evolução histórica de uma sociedade está condicionada a formação e evolução de suas instituições. O autor afirma ainda que North “transita da análise de história econômica para estudos mais voltados à evolução de arranjos institucionais a partir de seu trabalho *Sources of Productivity Change in Ocean Shipping, 1600-1850*” (GALA, 2003, p.89).

North (1990) reconhece que as instituições no presente condicionam os rumos e mudanças futuras nos desenvolvimentos institucionais. Segundo esse mesmo autor, mudanças tecnológicas e institucionais são as chaves básicas para a evolução econômica da sociedade. A partir deste ponto, North (1990) desenvolve o conceito de “*path dependence*”, que relaciona a presença de rendimentos crescentes a partir da escolha de um padrão tecnológico. Esses rendimentos crescentes “levam a uma situação de *lock-in*”⁸, isto é, uma situação em que um dado padrão tecnológico se generaliza e se consolida, fazendo com que a mudança de padrão se torne extremamente difícil. Nesse sentido, Erickson et al. (2015) destacam que algumas tecnologias podem ser custosas para a adesão, mas relativamente baratas para o uso. Além disso, uma vez implementadas, há uma tendência de que a evolução política e econômica tenda a reforçar o seu uso na medida em que as empresas do setor se consolidem e que os demais setores se relacionem de forma mais significativa com a indústria em questão. Por consequência, isso leva ao fenômeno de “*path dependence*”, ou seja, ao fato de as possibilidades de escolha no presente serem estritamente condicionadas às escolhas passadas (FIANI, 2002, p.50).

Dessa forma, é possível que novas tecnologias mais produtivas e que sejam mais alinhadas com o paradigma da Economia Verde não sejam implementadas em decorrência da consolidação das indústrias tradicionais, adiando ou mesmo anulando os mecanismos de inovação. Ao transportar essas ideias para a indústria siderúrgica, observa-se essa dificuldade na transição para a Economia Verde, uma vez que as bases industriais estão fundadas em um padrão poluidor. A própria China se configura como maior emissora de GEE e, ao mesmo tempo, maior produtora de aço do mundo.

Para North (1990), o processo de “*path dependence*” também se verifica em relação às instituições. Fiani (2002) diz que, para compreender este conceito no estudo das instituições, deve-se considerar os fatores causadores de “*path dependence*” em tecnologias, e que acabam gerando uma situação de “*lock-in*”. Essas causas, segundo Fiani (2002), seriam: (1) custos fixos significativos, provocando uma redução expressiva dos custos à medida que a produção aumenta; (2) efeitos de aprendizagem; (3) efeitos de coordenação, derivados da cooperação entre agentes que enfrentam o mesmo tipo de situação; e (4) expectativas adaptativas. Dessa forma:

“instituições novas enfrentam elevados *set-up costs*, verificam-se efeitos de aprendizagem, derivados do conjunto de oportunidades oferecido pelo quadro institucional estabelecido, juntamente com efeitos de coordenação através de contratos com outras instituições e investimentos induzidos em atividades complementares e, finalmente, expectativas adaptativas, na medida em que o aumento do número dos contratos baseados em uma determinada instituição reduz as incertezas quanto ao futuro daquela instituição (North, 1990 *apud* Fiani, 2002, p.95).

Como consequência do que foi exposto acima, se a Economia Verde representa uma nova instituição, a mesma enfrentará esses “custos de ajuste”, ou “*set-up costs*”, dada a conformação atual da economia mundial. Já para o caso da indústria siderúrgica, esses custos estão ligados à própria evolução tecnológica da mesma, no sentido de se adequar a essa nova lógica de produção. Outro ponto relevante no que concerne às mudanças institucionais para adaptar a indústria siderúrgica à Economia Verde são os efeitos de coordenação, que são derivados da cooperação entre agentes que enfrentam o mesmo tipo de situação. Neste caso, pensa-se na indústria siderúrgica mundial como um todo, ou seja, um setor que compartilha e coordena práticas, normas, convenções, hábitos e regras.

⁸ Representa um “aprisionamento” tecnológico, tornando um país e/ou cliente dependente de uma tecnologia, produto ou serviço, impedindo o mesmo de realizar uma troca sem a implicação de custos substanciais. Para uma abordagem formal do fenômeno, ver Arthur (1989).

Outro fator importante, segundo North (1990), que contribui para a relevância institucional é que os acordos institucionais devem emanar do Estado, o qual reconhece a necessidade de reformas institucionais que o leve a tomar essas decisões. Em relação à lógica da Economia Verde, observa-se que essas iniciativas partem realmente de governos que, por intermédio da ONU, estabelecem acordos de redução de emissões de GEE, os quais levam à materialização de novas propostas, representando, assim, uma mudança institucional.

A justificativa de North (1990) para que as reformas institucionais partam dos governos está no fato de que seria muito custoso para os agentes privados tomarem essas decisões. Dessa forma, cabe ao Estado criar um ambiente institucional favorável à indústria siderúrgica, para que a mesma se adeque à lógica da Economia Verde. Nesse sentido, uma das principais maneiras de lidar com os problemas do “*path dependence*” e de “*lock-in*” é por meio de políticas públicas. Nesse sentido, Erickson et al. (2015) desenvolveram uma abordagem que busca identificar o grau em que tais fatores podem comprometer a adoção de novas tecnologias, fornecendo um ferramental de análise deste problema que pode elucidar a forma de condução das políticas públicas com fins de superá-los.

Frente a esse contexto, é possível observar um esforço por parte do setor em desenvolver novas tecnologias de produção do aço que sejam menos emissoras de GEE, como, por exemplo, a utilização de hidrogênio na redução de minério de ferro, citado por Rodrigues et al. (2011). Segundo os autores, esse processo é uma alternativa para a redução de emissões de GEE. Também se observa que a adoção de práticas de gestão ambiental pode contornar os efeitos de “*path dependence*” e de “*lock-in*”, sem necessariamente haver uma adoção de novas tecnologias que podem elevar os custos de produção. O trabalho de Cavalcanti (2012) presta-se exatamente a isso, isto é, apresentar práticas de gestão ambiental para a minimização de emissões de GEE, como a reciclagem do aço. Cavalcanti (2012) também cita tecnologias menos poluidoras, como a de recuperação de calor (*Heat Recovery*), a injeção de pó de carvão (*Pulverized Coal Injection – PCI*), Redução Direta – RD, Fusão Redutora (COREX) e a recuperação de gases emitidos no processo que são utilizados para a própria produção do aço.

Vale lembrar também que, segundo Hasanbeigi e Springer (2019), a adoção de determinada tecnologia de produção do aço mais eficiente em termos de emissões de GEE depende de fatores como a qualidade da matéria prima utilizada, a fonte de energia que as siderúrgicas utilizam, os custos de produção e as facilidades de acesso a novas tecnologias, bem como o ambiente regulatório. Por exemplo, a China vem adotando tecnologias como a PCI e a de recuperação de calor por parte da sua indústria siderúrgica. Vale recordar também que essa adoção vem sendo realizada através de incentivos governamentais daquele país (HASANBEIGI E SPRINGER, 2019). Uma outra possibilidade de redução das emissões de CO₂ na indústria siderúrgica chinesa seria a fomentação de uma política pública de incentivo à substituição do Processo Linz-Donawitz pela utilização do forno elétrico a arco. Essa é uma das formas mais rápidas de quebrar um *lock-in* tecnológico, ainda que possa ocasionar custos fiscais iniciais, tanto por conta de subsídios de produção quanto por custos de fiscalização. Em todo caso, a concentração da produção de aço e da emissão de CO₂ na China pode facilitar o papel de coordenação dos agentes para uma mudança de trajetória, visto que eles compartilham de instituições similares.

6. Considerações Finais

Diante do debate acerca da Economia Verde e da produção mundial de aço, nota-se um elevado crescimento da indústria siderúrgica chinesa, o que gera preocupações no que se refere às emissões de GEE. Neste contexto, os dados revelam que a participação da produção chinesa na produção mundial de aço saltou de aproximadamente 15% para 51,3% entre 2000 a 2018. Isso se reflete nos indicadores de concentração CR10 e HHI, em que o primeiro passou de 70,4% para 83,5% e o segundo de 674 para 2.773, considerando o mesmo período de análise. A mesma evolução se observa para a emissão de CO₂. Considerando o indicador de pegada ecológica, nota-se uma latente ameaça no que tange à biocapacidade terrestre.

Entretanto, este cenário também apresenta a possibilidade de uma mudança na trajetória institucional e tecnológica quanto ao paradigma siderúrgico vigente. Isso é observado a partir dos novos processos produtivos que vêm sendo empregados no setor. Exemplos disso são a tecnologia de recuperação de calor, processo de injeção de pó de carvão, mecanismos de Redução Direta e de Fusão Redutora, além da recuperação de gases emitidos no processo que são utilizados para a própria produção do aço. A implementação de tais inovações, porém, são limitadas pelos fenômenos do *lock-in* tecnológico, que impõe custos substanciais a adesão dessas inovações, e do

path dependence. Ainda assim, o protagonismo alcançado pela China no setor siderúrgico pode facilitar a adoção de políticas de mudança institucional e tecnológica que dependam da coordenação dos agentes, visto que eles compartilham de hábitos, normas, convenções e práticas de produção mais homogêneas do que seria caso a distribuição geográfica do setor siderúrgico fosse mais dispersa.

Perante o dilema entre crescimento e sustentabilidade, o presente artigo discutiu como a indústria siderúrgica foi afetada pelo advento do crescimento econômico chinês. A relação ambígua deste fenômeno com a Economia Verde confere grande complexidade a esta questão, mormente a relação entre a maior concentração da produção de aço e a superação dos entraves para a adoção de novas tecnologias, bem como seus efeitos sobre a emissão de CO₂.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, M. L. A. **Impactos da privatização no setor siderúrgico. Boletim de Gerência Setorial de Mineração e Metalurgia – BNDES**. Rio de Janeiro, 2001. 12 p. Disponível em: < http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/relato_1.pdf >. Acesso em: 20 fev. 2020.
- ARTHUR, B. **Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-in by Historical Events**. *The Economic Journal*, v.99, p.116-131, 1989.
- BEDDOWS, R. **A new dawn for steel?** *Millenium Steel*, London, p.26-30, 2005. Disponível em: < <http://www.millennium-steel.com/articles/pdf/2005/pp26-30%20MS05.pdf> > Acesso em: 2 mar. 2020.
- BEIRAL, P. R. S. **O mercado brasileiro de etanol: concentração e poder de mercado sob a ótica da Nova Organização Industrial Empírica**. 2011. 108 p. Dissertação de Mestrado (Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo. 2011.
- BP. **Statistical Review of World Energy**. 2019. Disponível em: < <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> >. Acesso em: 26 mar. 2020.
- CAVALCANTI, P. **Gestão Ambiental na Indústria Siderúrgica: Aspectos Relacionados às Emissões Atmosféricas**. 2012. 54 p. Monografia (Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.
- CHRISTENSEN, P. **Historical Roots for Ecological Economics: Biophysical Versus Allocative Approaches**. *Ecological Economics*, v.1, p.17-36, 1989.
- ERICKSON, P. et al. **Assessing carbon lock-in**. *Environmental Research Letters*, v.10, n.8, p. 084023, 2015.
- ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELY NATIONAL LABORATORY. **Emerging Energy-efficiency and Carbon Dioxide Emissions-reduction Technologies for the Iron and Steel Industry**. HASANBEIGI, A.; PRICE, L.; ARENS, M. Berkely, 2013. 116 p. Disponível em: < <http://china.lbl.gov/sites/all/files/6106e-steel-tech.pdf> >. Acesso em: 16 fev. 2020.
- FIANI, R. **Crescimento econômico e liberdades: a economia política de Douglass North**. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 11, n. 1(18), p. 45-62, jan./jun. 2002.

FRANCO, M. **Searching for a Scientific Paradigm in Ecological Economics: The History of Ecological Economic Thought, 1880s-1930s**. Ecological Economics, v.153, p.195-203, 2018.

GALA, P. **A Teoria Institucional de Douglass North**. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 23, n. 2(90), p. 89-105, abr./jun. 2003.

GILFILLAN, D.; MARLAND, G.; BODEN, T.; ANDRES, R. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO2 Emissions**. 2019. Disponível em: < <https://energy.appstate.edu/research/work-areas/cdiac-appstate> >. Acesso em 26 mar. 2020.

GLOBAL CARBON ATLAS. **CO2 emissions**. 2019. Disponível em < <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions> >. Acesso em: 21 fev. 2020.

GLOBAL EFFICIENCY INTELLIGENCE. **Infographic: the iron and steel industry's energy use and emissions**. HASANBEIGI, A. 2017. Disponível em: < <https://www.globalefficiencyintel.com/new-blog/2017/nfographic-steel-industry-energy-emissions> >. Acesso em: 21 fev. 2020.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Explore data**. 2019. Disponível em: < http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.121941323.154034502.1583253972-1415280572.1583253972#/exploreData >. Acesso em: 04 mar. 2020.

HASANBEIGI, A. e SPRINGER, C. **How Clean is the U.S. Steel Industry? An International Benchmarking of Energy and CO2 Intensities**. São Francisco CA: Global Efficiency Intelligence, 2019.

HODGSON, G. **O que são instituições?** In: SALLES, A.; PESSALI, H.; FERNÁNDEZ, R. (Orgs.) Economia Institucional: fundamentos teóricos e históricos. São Paulo: Editora Unesp, 2017.

IAZDI, O. S. e PEDROSO, F. A. **Pegada Ecológica e a Manutenção do Capital Natural: Limites Para o Crescimento Econômico?** Revista Iberoamericana de Economia Ecológica, v.32, p.102-119, 2020.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **A Indústria do Aço no Brasil**. Encontro da Indústria para a Sustentabilidade. Brasília, 2013, 53 p. Disponível em: < http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/livro_cni.pdf >. Acesso em: 17 mar. 2020.

MALYNOWSKYJ, A. **Fabricação de aço líquido em conversor a oxigênio**. Cubatão: COSIPA, 2000. 68p.

NORTH, D. **Institutions, Institutional Change and Economic performance**. Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

POSO, A. T. **O Processo de Reestruturação da Siderurgia Mundial. O caso da Companhia Siderúrgica Nacional**. 2007. 205 p. Dissertação de Mestrado (Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo, São Paulo. 2007.

REIS, J.D. dos. **A concentração do mercado siderúrgico brasileiro e a perda de bem-estar**. 2010. 137 p. Tese de Doutorado (Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo. 2010.

RODRIGUES, G. F.; JUNCA, E.; TELLES, V. B.; ESPINOSA, D. C. R. **Redução das emissões de gases de efeito estufa através do uso de hidrogênio na siderurgia**, n. 21, p. 48-53, 2011.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Perceptual and Structural Barriers to Investing in Natural Capital: Economics From an Ecological Footprint Perspective**. Ecological Economics, v.20, p.3-24, 1997.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2002.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2003.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2004.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2005.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2006.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2007.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2008.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2009.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2010.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2011.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2012.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2013.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2014.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2015.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2016.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2017.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2018.

_____. **World Steel in figures**. Bruxelas, 2019.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **SUSTAINABILITY INDICATORS**. BRUXELAS, 2020, 6 P.

DISPONÍVEL EM: < [HTTPS://WWW.WORLDSTEEL.ORG/EN/DAM/JCR:296DF0E7-6182-4574-BBC9F8F8BEAC12D4E/SUSTAINABILITY%2520INDICATORS%25202003%2520TO%25202018%2520AND%2520PARTICIPATION.PDF](https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:296df0e7-6182-4574-bbc9f8f8beac12d4e/sustainability%2520INDICATORS%25202003%2520TO%25202018%2520AND%2520PARTICIPATION.PDF) > ACESSO EM: 01 MAR. 2020.

UNFCCC. National Inventory Submissions 2019. **United Nations Framework Convention on Climate Change**. Disponível em < <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2019> >. Acesso em: 26 mar 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Green Economy Report: Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication França**, 2011. Disponível em: < <https://sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=400&nr=126&menu=35> >. Acesso em: 17 mar. 2020.

VAN DEN BERGH, J. **Ecological Economics: Themes, Approaches, and Differences With Environmental Economics**. Regional Environmental Change, v.2, p.13-23, 2001.

ZHANG, L.; DZAKPASU, M.; CHEN, R.; WANG, X. **Validity and Utility of Ecological Footprint Accounting: A State-of-the-art Review**. Sustainable Cities and Society, v.32, p.411-416, 2017.