

O MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO NA FRONTEIRA (CBAM) DA UNIÃO EUROPEIA E SEUS POSSÍVEIS IMPACTOS SOBRE A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FERRO E AÇO

Isabela Fernandes de Oliveira (Universidade Federal do Rio de Janeiro)

Luan Santos (Universidade Federal do Rio de Janeiro)



A produção de aço é um dos processos mais energeticamente intensivos do mundo. Embora a siderurgia brasileira tenha uma participação significativa do uso de carvão renovável em seus processos de redução ela ainda é a maior emissora de CO₂ do setor industrial brasileiro. De todo o aço produzido no país, 40% são exportados, com 10,4% de suas exportações sendo destinadas para países da União Europeia. Com a implementação do Mecanismo de ajuste de carbono na fronteira (*Carbon Border Adjustment Mechanism*, ou CBAM) por parte da UE, portanto, 10,4% das exportações brasileiras passarão a estar sujeitas a um mecanismo de precificação de carbono, com preço da tonelada de CO₂ definido pelo EU ETS. O presente estudo tem como objetivo avaliar os impactos da adoção desse mecanismo por parte da UE sobre o setor siderúrgico brasileiro, através da apresentação de indicadores de vulnerabilidade do setor à precificação de carbono. Os indicadores apresentados analisam intensidade de emissões, exposição ao comércio exterior e impacto do preço de carbono sobre o valor agregado do segmento. Para isso, foram analisados os preços de US\$10,00/tCO₂, US\$25,00/tCO₂ e US\$50,00/tCO₂. Dos três preços utilizados nas simulações o preço de US\$50,00/tCO₂ apresentou-se como o mais provável. Como consequência, o setor deverá experimentar um impacto de, no mínimo, 15% do valor agregado de suas exportações para a UE em um cenário de redução de 45% das emissões do setor, podendo sofrer um impacto de até 28,5% de seu valor agregado caso nenhuma medida de redução seja tomada. É possível alcançar um fator de abatimento equivalente a 54% da intensidade de carbono da rota de produção com uso de carvão vegetal. O custo de abatimento para essa opção, entretanto, foi de US\$106,00/tCO₂. A opção mais custo-efetiva para a mitigação das emissões de GEE no setor é uma maior adoção de processos produtivos baseados no uso de carvão vegetal, atingindo o abatimento de 102,5MtCO₂ no período de 2010 a 2050.

Palavras-chave: CBAM, Mudanças climáticas, ferro e aço

1. Introdução

A produção de aço é um dos principais setores da indústria global, além de ser configurada como um dos processos mais energeticamente intensivos do mundo (WSA, 2014 *apud* PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018). Para cada tonelada de aço produzida no mundo 1,8 toneladas de carbono são emitidas em média, tornando a indústria de ferro e aço responsável por aproximadamente 6,7% do total das emissões globais de carbono (IEA, 2015 *apud* PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018). Assim, a indústria de ferro e aço é um dos setores chave para a questão global das mudanças climáticas (DE SOUZA; PACCA, 2021).

No Brasil, embora a forte presença das hidrelétricas na matriz energética tenha levado a um fator de emissão da indústria de ferro e aço 83% mais baixo do que a média global em 2018 (IEA, 2020 *apud* DE SOUZA; PACCA, 2021), o setor ainda é o maior emissor de CO₂ da indústria brasileira (MCTIC, 2016 *apud* PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018), com expectativa de aumento das emissões com a chegada de cenários econômicos mais favoráveis (DE SOUZA; PACCA, 2021). De toda a produção brasileira, 40% são exportados (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2019 *apud* DE SOUZA; PACCA, 2021), com 10,4% de suas exportações sendo destinadas para países da União Europeia (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021a).

A União Europeia anunciou, em dezembro de 2019, o seu *Green Deal*, que consiste em um pacote de medidas que traz, como uma de suas pautas centrais, o combate às mudanças climáticas. Dentre as medidas do *Green Deal* que têm como objetivo atingir a neutralidade climática até 2050 consta a proposta de um mecanismo de ajuste de carbono na fronteira (*Carbon Border Adjustment Mechanism*, ou CBAM) (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Com a adoção do CBAM importações de materiais básicos passarão a arcar com custos de carbono semelhantes aos de produtores europeus. Para a definição dos setores incluídos no mecanismo foram utilizados, a princípio, os critérios de relevância das emissões e exposição ao risco de fuga de carbono. Os materiais e produtos candidatos a serem incluídos no CBAM incluíram, entre outros, diversos artigos dos setores de ferro e aço (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Dessa maneira, o presente artigo tem como objetivo discutir os possíveis impactos da adoção do CBAM por parte da União Europeia sobre o setor brasileiro de ferro e aço. Na próxima seção serão apresentadas as principais motivações e desafios para a adoção de um CBAM e as principais características do CBAM proposto pela UE. Na seção 3, por sua vez, será descrito o processo metodológico de construção do trabalho. A seção 4 será destinada à discussão e análise dos possíveis impactos do CBAM da UE sobre o setor brasileiro de ferro e aço, através de uma apresentação das principais características do setor e de indicadores de vulnerabilidade do mesmo analisados à luz das características do CBAM. Na seção 5, por fim, serão apresentadas as considerações finais.

2. Mecanismos de ajuste de carbono na fronteira

Medidas unilaterais de combate às mudanças do clima podem ser vulneráveis à fuga de carbono e *free riding* (KUIK; HOFKES, 2010), sendo a fuga de carbono definida como um *offset* parcial das emissões reduzidas para outros países ou regiões que apresentem restrições ambientais menos rígidas (BEDNAR-FRIEDL; SCHINKO; STEININGER, 2012). A fuga de carbono pode acontecer por quatro canais ou ser motivada por quatro fenômenos decorrentes da precificação de carbono em uma jurisdição (DROEGE ET AL., 2009 *apud* COSBEY et al., 2019). Uma breve explicação desses quatro canais pode ser observada no quadro a seguir.

Quadro 1 – Canais de fuga de carbono

Canal	Descrição
Canal de competitividade	A precificação de carbono aumenta os custos dos produtos de origem da jurisdição responsável pela precificação, aumentando o consumo de produtos estrangeiros e levando a um aumento nas emissões fora da jurisdição
Canal do mercado de energia	Precificação leva a uma queda no consumo de combustíveis fósseis na região regulada, tendo como consequência uma queda no preço desses combustíveis e um aumento de consumo fora da região regulada
Canal da renda	Os custos relacionados ao abatimento de emissões e às mudanças relativas nos preços podem afetar a distribuição global de renda, resultando em mudanças nos padrões de consumo e, em teoria, afetando emissões estrangeiras
Canal do <i>spillover</i> tecnológico	Canal de fuga negativa. Precificação induz inovações verdes que podem ser adotadas por regiões não reguladas e induzir uma redução nas emissões.

Fonte: Adaptado de Cosbey et al. (2019)

O risco da fuga de carbono pode levar à adoção de medidas que tenham como objetivo evitar a fuga de carbono e a perda de competitividade e, nesse ínterim, uma política possível é a adoção de mecanismos de ajuste de carbono na fronteira (KUIK; HOFKES, 2010). O CBAM tem como objetivo reduzir a fuga de carbono que acontece pelo canal de competitividade, que se configura como o mais sensível politicamente (COSBEY et al., 2019).

Esses mecanismos podem ser implementados na forma de tarifas de importação, abatimento sobre itens de exportação ou a exigência de que os bens importados apresentem licenças de emissão referentes ao CO₂ emitido durante a produção do bem (KUIK; HOFKES, 2010), e têm como objetivo impor aos produtos importados os mesmos custos enfrentados pela produção local em relação ao preço do carbono ou aliviar o custo relativo a esse preço que incorre sobre os itens exportados (COSBEY et al., 2019).

O desenvolvimento e a implementação de um mecanismo dessa natureza se deparam, no entanto, com dois obstáculos, que consistem na determinação de uma fundamentação clara para as medidas, tais como uma avaliação precisa da fuga de carbono e da perda de competitividade que afetam o setor, e na definição de um preço justo a ser imposto sobre os produtos (KUIK; HOFKES, 2010).

Além desses obstáculos é preciso considerar, ainda, aspectos legais que afetem as possibilidades de

implementação de um mecanismo dessa natureza. Nesse contexto, o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, é crucial em negociações da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima, ou UNFCCC (do inglês *United Nations Framework Convention on Climate Change*), e a Organização Mundial do Comércio, ou WTO (do inglês *World Trade Organization*) impõe restrições a medidas comerciais.

Embora mecanismos dessa natureza sejam frequentemente apresentados como maneiras de apoiar países e jurisdições que realizem esforços unilaterais de redução de emissões, de acordo Bullock (2018) a aplicação de um CBAM não precisa se limitar a cenários de adoção unilateral de medidas, e esses mecanismos podem ser usados como um complemento a acordos climáticos multilaterais, tais como o Acorde de Paris.

Segundo o autor os mecanismos responsáveis por garantir o cumprimento do Acordo de Paris são baseados em persuasão moral e política, que não seriam efetivos em garantir o cumprimento das metas adotadas por um país que deliberadamente adote uma conduta não condizente com sua NDC. Nesse contexto, um CBAM adotado de maneira coordenada pelas demais partes consistiria em um complemento ao acordo (BULLOCK, 2018).

2.1. O CBAM da União Europeia

Anunciado em dezembro de 2019 o *Green Deal* europeu consiste em um pacote de medidas que têm como objetivo a preservação ambiental na Europa e traz, como uma de suas pautas centrais, o combate às mudanças climáticas. Dentre as medidas do *Green Deal* que têm como objetivo atingir a neutralidade climática até 2050 consta a proposta do CBAM, cujo regulamento foi divulgado em julho de 2021 como parte do pacote denominado "Fit for 55 Package" (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Dentro desse pacote o mercado de emissões da União Europeia, comumente referido como EU ETS, passará por revisões que incluem uma redução do número de licenças disponíveis, levando a um aumento do preço das emissões, e a revisão das medidas de prevenção de fuga de carbono (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Historicamente o risco de fuga de carbono era mitigado através da distribuição gratuita de licenças e da compensação pelo aumento dos custos com energia elétrica para setores sob alto risco de fuga de carbono. Essas medidas, entretanto, afetam os incentivos para que esses setores invistam no abatimento das suas emissões. Nesse contexto, o CBAM foi proposto como uma nova medida para proteger esses setores do risco de fuga de carbono, garantindo que o preço de produtos importados reflita de forma mais precisa seu conteúdo de carbono (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

O mecanismo da União Europeia almeja, ainda, incentivar a redução das emissões por parte de produtores estrangeiros. Com esse objetivo a UE pretende explorar possibilidades de diálogo e cooperação junto a países cujo comércio com a UE seja afetado pelo CBAM, de maneira a considerar as medidas de precificação que possam existir nesses países como uma alternativa a aplicação do

mecanismo de ajuste na fronteira em casos que eles garantam uma descarbonização mais efetiva do setor (MARCU; MEHLING; COSBEY, 2021).

Dentre os principais afetados pela implementação desse mecanismo constam administradores públicos, cidadãos da União Europeia, países em desenvolvimento e atores do setor privado, principalmente ligados à indústria. Importações de materiais básicos passarão a arcar com custos de carbono semelhantes aos de produtores europeus. Assim, os produtores precisarão arcar com o aumento do custo do carbono, além de custos relacionados a processos de documentação do processo, à verificação e monitoramento das emissões, à realização do pagamento em si, entre outros (MARCU; MEHLING; COSBEY, 2021).

Para que o CBAM imponha a produtos importados o mesmo custo ligado às emissões sofrido pelos produtores europeus, é necessário que somente emissões análogas às afetadas pelo EU ETS sejam contabilizadas. Assim, emissões de operações *upstream* foram consideradas irrelevantes. Para a definição dos setores incluídos no mecanismo foram utilizados, a princípio, os critérios de relevância das emissões e exposição ao risco de fuga de carbono, sendo o primeiro dividido entre a relevância das emissões diretas e a relevância das emissões indiretas. Os materiais e produtos candidatos a serem incluídos no CBAM incluíram diversos artigos dos setores de ferro e aço, cimento, alumínio, papel e celulose, fertilizantes, químicos orgânicos e inorgânicos e polímeros (MARCU; MEHLING; COSBEY, 2021).

Com o intuito de gerar uma igualdade de condições entre produtos concorrentes, o CBAM poderá afetar países distintos de formas diferentes. Caso ele não seja bem desenhado pode levar a um aumento em custos administrativos, uma escalada dos preços de produtos básicos e gerar conflitos em âmbito internacional. Para além disso, é preciso atentar ainda para os impactos que o mecanismo pode gerar para além das fronteiras da UE (EICKE et al., 2021)

Países cujas exportações para a UE representam uma parte relevante de suas economias correm o risco de experimentar a contração de diversos setores no caso da adoção do CBAM. A extensão do risco ao qual estão expostos depende não só da exposição desses países, mas também da capacidade que esses países têm ou não de se adaptar. É possível, nesse contexto, que países pertencentes ao Sul Global não sejam capazes de se descarbonizarem no ritmo necessário (EICKE et al., 2021).

Embora seja possível que o mecanismo seja compatível com as exigências do WTO, o CBAM proposto sofreu críticas e acusações de ser uma forma de “protecionismo verde” que pode transferir a responsabilidade da mitigação de emissões para países em desenvolvimento, ferindo o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas. O mecanismo pode representar, entretanto, um primeiro passo em direção à atribuição da responsabilidade pelas emissões ao consumidor, e não ao produtor, visto que o consumo dos 10% mais ricos gera aproximadamente metade das emissões globais. Esse equilíbrio dependerá, entretanto, de como o CBAM será construído e do seu impacto fora da UE (EICKE et al., 2021).

3. Metodologia

O presente trabalho fez uma pesquisa exploratória em relação aos possíveis impactos do mecanismo de ajuste de carbono na fronteira proposto pela União Europeia (UE) sobre o setor de ferro e aço brasileiro. Para isso, primeiro são apresentada uma revisão sobre o que são mecanismos de ajuste de carbono na fronteira e algumas das principais justificativas para que eles sejam adotados.

Uma vez desenhado esse contexto, são apresentadas as características específicas do mecanismo proposto pela UE. São apresentadas, então, as principais características do setor brasileiro de aço e ferro, incluindo sua intensidade de emissões, exposição ao mercado externo e impacto da precificação de carbono sobre a criação de valor do setor conforme avaliado por Santos et al. (2018).

O estudo de Santos et al. (2018) teve como objeto de estudo todo o setor de indústria brasileiro com o intuito de desenvolver indicadores quantitativos de vulnerabilidade à precificação de carbono. Os dados utilizados pelos autores para a caracterização dos setores foram obtidos a partir de informações da Confederação Nacional da Indústria, enquanto todos os dados referentes a emissões foram retirados do Terceiro Inventário Nacional de Emissões.

O primeiro dos indicadores, referente à intensidade de emissões, foi construído utilizando-se uma metodologia semelhante à da *California Air Resources Board* (CARB), embora tenham sido adotadas faixas mais restritas. Assim, a classificação adotada pelos autores pode ser observada no quadro a seguir.

Quadro 2 – Classificação de intensidade das emissões

Classificação	Faixa de intensidade (tCO ₂ /US\$.10 ⁶)
Baixo	Inferior a 1000
Médio	De 1000 a 2499
Alto	2500 ou maior

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018)

De maneira semelhante, os autores classificaram a relevância das exportações e, de forma mais ampla, do comércio exterior de acordo com a proporção da receita vinculada a esses mercados. Assim, ambos podem ser calculados a partir das fórmulas a seguir:

$$Exportação (\%) = \frac{Exportação (US\$)}{Exportação (US\$) + Importação (US\$)}$$

$$Comércio exterior (\%) = \frac{Exportação (US\$) + Importação (US\$)}{Renda Bruta (US\$)}$$

As classificações referentes aos níveis de exportação e relevância do comércio exterior podem ser observadas no quadro a seguir:

Quadro 3 – Exposição ao comércio exterior

Classificação	Faixa de intensidade (tCO ₂ /US\$.10 ⁶)
Baixo	<10%
Médio	De 10% a 24,9%
Alto	>25%

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018)

O impacto da precificação de carbono sobre o valor agregado do setor, por sua vez, expressa o peso relativo do custo do carbono sobre os rendimentos dos fatores de produção. Os autores estimaram esses impactos utilizando os valores das emissões do ano de 2010 para os preços de US\$10,00/tCO₂, US\$25,00/tCO₂ e US\$50,00/tCO₂ comumente adotada na literatura. Essa estimativa considerou a inexistência de medidas mitigatórias, de forma que o custo total da precificação seria absorvido pela indústria (SANTOS et al., 2018).

Foram realizadas, ainda, estimativas simulando essa mesma variação dos preços para diferentes níveis de redução em emissões absolutas, analisando assim os efeitos em termos de valor agregado da internalização do preço do carbono para o ano de 2010, onde as emissões precificadas correspondem ao total de emissões menos as emissões evitadas (SANTOS et al., 2018).

Por fim, à luz do que foi exposto são debatidos os possíveis impactos que podem incorrer sobre o setor de ferro e aço como consequência da adoção do mecanismo de ajuste de carbono na fronteira por parte da UE.

4. Análise e discussão

Com a implementação do CBAM por parte da UE importações de materiais básicos passarão a arcar com custos de carbono semelhantes aos de produtores europeus. Os setores que serão incluídos no mecanismo foram selecionados a partir de suas emissões e exposição ao risco de fuga de carbono e, dessa maneira, diversos produtos da indústria de ferro e aço constam entre os candidatos à inclusão (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Assim, a porção da produção da indústria de ferro e aço brasileira exportada para a UE passará a estar sujeita a um mecanismo de precificação de carbono, com preço da tonelada de CO₂ definido pelo EU ETS, visto que o intuito do CBAM é impor a produtos importados o mesmo custo ligado às emissões sofrido pelos produtores europeus (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

4.1. O setor brasileiro de ferro e aço

A cadeia de ferro e aço é caracterizada por grandes empresas que operam em todas as etapas do processo produtivo do aço, desde a transformação do minério em ferro primário até a produção de bens transformados. Devido às múltiplas aplicações do aço a indústria de ferro e aço apresenta grande relevância para o desenvolvimento econômico de um país (VIANA, 2017 *apud* BLANCO et al., 2018). No Brasil, a demanda por aço cresceu aproximadamente 4,5% por ano no período de 1970 a 2013 (MINISTÉRIO BRASILEIRO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 2020 *apud* DE SOUZA & PACCA, 2021).

A produção de ferro e aço no Brasil se encontra distribuída em dez estados, com grande concentração na região Sudeste (CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017) e em um número reduzido de empresas, com cinco delas respondendo por mais de 90% da produção de aço bruto (EPE, 2009).

O processo produtivo pode seguir, basicamente, duas rotas tecnológicas, onde a primeira usa

majoritariamente minério de ferro e somente uma pequena proporção de sucata metálica e a segunda usa basicamente a sucata. A primeira dessas rotas corresponde às usinas integradas, enquanto a segunda corresponde às usinas semi-integradas (CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017).

Usinas integradas produzem aço a partir do minério de ferro usando carvão como agente redutor nos altos fornos, e produzem as três fases básicas de produção que são a redução, o refino e a laminação (CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017). No Brasil parte das usinas integradas utilizam carvão vegetal em seus processos de redução, resultando em emissões reduzidas em comparação a usinas que fazem uso de carvão mineral (PINTO; SZKLO; RATHMANN, 2018). Essa substituição só é feita, entretanto, em altos fornos de menor capacidade (CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017).

Usinas semi-integradas, por sua vez, não possuem a etapa de redução, visto que utilizam sucata de aço e ferro gusa para alimentar as aciarias elétricas. Assim, operam somente as fases de refino e laminação, onde o refino é realizado via forno elétrico e arco EAF (CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2017).

A indústria de ferro e aço é a maior emissora de CO₂ do setor industrial brasileiro (MCTIC, 2016 *apud* PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018), com expectativa de aumento das emissões do setor com a chegada de cenários econômicos mais favoráveis (DE SOUZA; PACCA, 2021). O domínio de fonte hidroelétrica na matriz elétrica brasileira, entretanto, fez com que o fator de emissão da siderurgia nacional tenha sido 83% mais baixo que a média global no ano de 2018 (IEA, 2020 *apud* DE SOUZA; PACCA, 2021).

De todo o aço produzido no país, 40% são exportados, tornando o Brasil o sexto maior exportador de aço do mundo no ano de 2018 (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2019 *apud* DE SOUZA; PACCA, 2021). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de aço bruto da América Latina e o nono maior produtor do mundo, com 10,4% de suas exportações sendo destinadas para países da União Europeia (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021a).

4.2. Os impactos do preço de carbono sobre o setor de ferro e aço

Segundo Santos et al. (2018), a indústria brasileira de ferro e aço consiste em uma atividade de alta intensidade de emissões, com alta exposição ao comércio internacional, de acordo com o quadro a seguir.

Quadro 5 – Indicadores e classificação

	Intensidade de emissão	Exposição ao mercado internacional
Valor do indicador	5525	31%
Classificação	Alta	Alta

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018)

Assim, a adoção de um mecanismo de precificação de carbono geraria um impacto sobre o valor agregado do setor, e os autores avaliaram esse impacto percentual para diferentes preços da tonelada de CO₂ e para diferentes cenários de mitigação das emissões. Os resultados obtidos podem ser observados

no quadro a seguir:

Quadro 6 – Impacto percentual do custo de carbono sobre o valor agregado

Preço do CO ₂ (US\$/tCO ₂)	% Redução nas emissões do setor					
	0%	5%	15%	25%	35%	45%
10	5,70%	5,40%	4,80%	4,30%	3,70%	3,10%
25	14,30%	13,50%	12,10%	10,70%	9,30%	7,80%
50	28,50%	27,10%	24,20%	21,40%	18,50%	15,00%

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018)

Com a implementação do CBAM da União Europeia os produtos da indústria de ferro e aço brasileira que forem exportados para a região serão submetidos ao custo de carbono do ETS europeu (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021). O Brasil encontra-se, atualmente, entre os vinte principais exportadores de bens para a EU que serão cobertos pelo CBAM de forma geral, e entre os dez maiores exportadores de ferro e aço para a UE, responsável por 3,7% dessas exportações (KARDISH et al., 2021).

4.3. O EU ETS

Os preços do mercado europeu de licenças de emissão no período de janeiro de 2008 a dezembro de 2021 podem ser observados no gráfico a seguir:

Figura 1 – Histórico de preços EU ETS



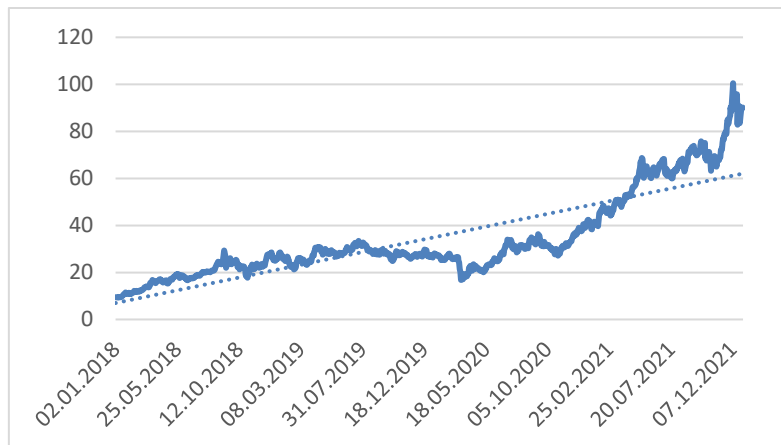
Fonte: ICAP, 2022

Desde a criação do EU ETS os preços variaram entre o valor mínimo de US\$3,49/tCO₂ e o máximo de US\$100,46/tCO₂, atingido em dezembro de 2021 (ICAP, 2022). Até o começo do ano de 2018 os preços permaneceram muito baixos com o número total de licenças em circulação crescendo continuamente até 2013. Para aumentar a resiliência do ETS e garantir o atingimento das metas de redução das emissões até o ano de 2030 foi implementada, em 2015, uma Reserva para Estabilidade do Mercado (MSR, do inglês *Market Stability Reserve*) que começaria a operar em 2019 (OSORIO et al., 2021).

O MSR controla os preços impedindo que o número de licenças disponíveis ultrapasse os limites superior e inferior definidos, transferindo as licenças para o MSR ou disponibilizando-as para o mercado, podendo ainda tirar licenças permanentemente de circulação. Dessa maneira, em 2018 a UE tornou o *cap* mais rígido com o objetivo de atingir uma redução de emissões de 40% até o ano de 2030

e, dado o novo objetivo de uma redução de 50% ou 55% até 2030, o número de licenças disponíveis provavelmente se tornará ainda mais reduzido, levando a um aumento dos preços (OSORIO et al., 2021). Desde a reforma em 2018 o preço no EU ETS teve valor mínimo de US\$9,27/tCO₂ e máximo de US\$100,47/tCO₂, com média de US\$34,52/tCO₂ no período (ICAP, 2022) e tendência de crescimento, como pode ser observado no gráfico a seguir:

Figura 2 – Preços e tendência do EU ETS no período de 2018 a 2021



Fonte: Elaborado com dados de ICAP, 2022

Estudos indicam, ainda, que para que seja garantido o atingimento das metas do Acordo de Paris o preço médio de emissões em mercados regulados de carbono deve subir para uma média estimada de US\$50,00/tCO₂ a US\$100,00/tCO₂ (BOSTON COSULTING GROUP; GLOBAL FINANCIAL MARKETS ASSOCIATION, 2021).

Dessa maneira, dos três preços utilizados nas simulações de impacto do custo de carbono sobre o valor agregado do setor de siderurgia por Santos et al. (2018), consideraremos o cenário em que o preço atinge o valor de US\$50,00/tCO₂ como o mais provável. Como consequência, as exportações do setor para a UE deverão experimentar um impacto de, no mínimo, 15% de seu valor agregado em um cenário de redução de 45% das emissões do setor, podendo sofrer até um impacto de 28,5% de seu valor agregado caso nenhuma medida de redução seja tomada.

4.3. Rotas e estratégias de mitigação para o setor

Em 8 de dezembro de 2020 o governo brasileiro apresentou a atualização de sua NDC de 2015, referindo-se a ela como a “Nova Primeira NDC”. O novo documento reafirmou a meta de redução de 37% das emissões de gases de efeito estufa até 2025 e oficializou a meta de redução de 43% para 2030. A linha de base de emissões sobre as quais esses percentuais são calculados, entretanto, foi revista de maneira que, em volumes absolutos, as metas representam um acréscimo de 0,5Gt-CO₂ em 2025 e 0,4GtCO₂ em 2030 (LA ROVERE; PROLO; BORGES, 2021).

O setor industrial permaneceu sem detalhes ou quantificações de metas de emissão na Nova Primeira NDC. No entanto, o relaxamento das políticas de controle do desmatamento observado nos últimos anos

está colocando as metas nacionais em risco (ROCHEDO et al., 2018 apud SANTOS; LUCENA; GARAFFA, 2019), e pode gerar pressão sobre outros setores (SANTOS; LUCENA; GARAFFA, 2019). A descarbonização do setor de ferro e aço exige mudanças substanciais nos processos de produção primária, seja redesenhando o alto forno com medidas como a inclusão de tecnologias de captura e estoque de carbono (ou CCS, do inglês carbon capture and storage) e usando carvão vegetal quando possível, ou substituindo o alto forno por tecnologias menos carbono intensivas como a redução direta a partir do uso de hidrogênio renovável. No entanto, embora no longo prazo seja provável que a descarbonização do setor de ferro e aço vá exigir que plantas antigas sejam fechadas e substituídas, no curto prazo o caminho mais provável é a conversão de plantas existentes (VOGL; OLSSON; NYKVIST, 2021).

Uma razão comumente apresentada para a dificuldade de abatimento no setor é a longa vida útil das plantas, tornando economicamente inviável a substituição em larga escala das tecnologias empregadas em um ritmo condizente com as demandas de mitigação de gases de efeito estufa do Acordo de Paris. Considerando-se, entretanto, os ciclos naturais de investimento do setor, os momentos entre campanhas, em que o alto forno para suas atividades para renovação de seu revestimento interno, podem ser interpretados como oportunidades para a substituição e reconfiguração de equipamentos estratégicos para a redução das emissões do setor (VOGL; OLSSON; NYKVIST, 2021).

Uma tecnologia promissora e compatível com diversas rotas tecnológicas é a utilização de fornos de arco elétrico (ou EAF, do inglês electric arc furnace) (VOGL; OLSSON; NYKVIST, 2021). Como no caso brasileiro a matriz elétrica tem predominância de hidroelétricas, seu fator de emissão foi 83% mais baixo que a média global em 2018 (MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2020 apud DE SOUZA; PACCA, 2021), tornando a rota tecnológica do EAF altamente eficaz. Apesar disso, a proporção reduzida de reciclagem de ferro e aço no Brasil representa um obstáculo à adoção da tecnologia em mais larga escala no país, que representou 14% do setor brasileiro no ano de 2017, ficando aquém da média global de 30% (DE SOUZA; PACCA, 2021).

Outra rota tecnológica a ser considerada é a produção de aço baseada na redução direta à base de hidrogênio (VOGL; OLSSON; NYKVIST, 2021). O conceito consiste em produzir ferro reduzido diretamente pelo hidrogênio e convertê-lo em aço em um EAF (VOGL; ÅHMAN; NILSSON, 2018). Aqui, novamente, o reduzido fator de emissões da matriz elétrica brasileira representa uma vantagem. O desenvolvimento tecnológico nos campos de estocagem e eletrólise de hidrogênio são, entretanto, cruciais para determinar a competitividade desse processo (VOGL; ÅHMAN; NILSSON, 2018).

Pinto, Szklo e Rathmann (2018) realizaram um estudo avaliando o potencial e os custos da mitigação de CO₂ na indústria brasileira de ferro e aço. O cenário de maior redução das emissões alcança um fator de abatimento equivalente a 54% da intensidade de carbono da rota de produção com uso de carvão vegetal, mas depende da adoção de altos-fornos com reciclagem de gás equipados com captura de carbono (TGRBF, do inglês Top Gas Recycle Blast Furnace), que é uma tecnologia disruptiva (PINTO,

SZKLO e RATHMANN, 2018).

Nesse cenário foi considerada uma penetração da tecnologia em 75% das novas plantas de siderurgia baseadas na rota de produção integrada com carvão vegetal proposta pelos autores até o ano de 2050, com a sua adoção se iniciando depois de 2025. O custo de abatimento para essa opção, entretanto, foi de US\$106,00/tCO₂. De acordo com os autores a opção mais custo-efetiva para a mitigação das emissões de GEE no setor é uma maior adoção de processos produtivos baseados no uso de carvão vegetal, atingindo o abatimento de 102,5MtCO₂ no período de 2010 a 2050 (PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018).

Assim, as emissões podem ser mitigadas favorecendo-se o uso de carvão renovável. O aumento do uso de carvão vegetal apresenta, entretanto, desafios próprios. O maior obstáculo refere-se a restrições técnicas para o uso do carvão vegetal em altos-fornos de grande porte, mas a quantidade limitada de carvão vegetal produzido a partir de florestas plantadas, as variações de preço e a disputa pelas terras para o cultivo e a distância entre as áreas de plantação e as zonas industriais também são dificultam a penetração do uso da biomassa no setor (PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018).

Ganhos de eficiência energética, a otimização da carga metálica, a reciclagem de coprodutos e o uso do carvão vegetal como bio redutor fazem parte da estratégia de curto prazo para a redução das emissões do setor. No médio prazo a estratégia conta com maior uso de sucata e gás natural no processo e, no longo prazo, o setor conta com a adoção de tecnologias disruptivas, embora para isso considere pré-requisitos o aumento na geração de energia eólica e solar, o incentivo a pesquisa e desenvolvimento em tecnologias de baixo carbono e a existência de opções de financiamento diferenciado para investimentos em tecnologias com menor intensidade de carbono (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021b).

5. Considerações finais

Embora o setor brasileiro de ferro e aço apresente características particulares, como a participação significativa do uso de carvão vegetal e o acesso a uma matriz elétrica majoritariamente renovável, (PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018), ele ainda é o maior emissor de CO₂ da indústria brasileira (MCTIC, 2016 *apud* PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018).

De todo o aço produzido no país, 40% são exportados, (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2019 *apud* DE SOUZA; PACCA, 2021), com 10,4% de suas exportações sendo destinadas para países da União Europeia (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2021a). Assim, o Brasil encontra-se, atualmente, entre os vinte principais exportadores de bens para a EU que serão cobertos pelo CBAM de forma geral, e entre os dez maiores exportadores de ferro e aço para a UE, responsável por 3,7% dessas exportações (KARDISH et al., 2021).

Com a implementação do CBAM por parte da UE a porção da produção da indústria de ferro e aço brasileira exportada para a região passará a estar sujeita a um mecanismo de precificação de carbono, com preço da tonelada de CO₂ definido pelo EU ETS (MARCUS; MEHLING; COSBEY, 2021).

Reformado em 2018 com o intuito de atingir metas mais ambiciosas, o EU ETS deve experimentar uma redução do número de licenças disponíveis, levando a um aumento dos preços (OSORIO et al., 2021). Assim, dos três preços utilizados nas simulações de impacto do custo de carbono sobre o valor agregado do setor de siderurgia por Santos et al. (2018), o preço de US\$50,00/tCO₂ apresenta-se como o mais provável. Como consequência, as exportações do setor para a UE deverão experimentar um impacto de, no mínimo, 15% de seu valor agregado em um cenário de redução de 45% das emissões do setor, podendo sofrer um impacto de até 28,5% de seu valor agregado caso nenhuma medida de redução seja tomada.

É possível alcançar um fator de abatimento equivalente a 54% da intensidade de carbono da rota de produção com uso de carvão vegetal. O custo de abatimento para essa opção, entretanto, seria de US\$106,00/tCO₂. A opção mais custo-efetiva dentre as consideradas para a mitigação das emissões de GEE no setor no curto prazo é, portanto, uma maior adoção de processos produtivos baseados no uso de carvão vegetal, atingindo o abatimento de 102,5MtCO₂ no período de 2010 a 2050 (PINTO, SZKLO e RATHMANN, 2018).

REFERÊNCIAS

- BEDNAR-FRIEDL, B.; SCHINKO, T.; STEININGER, K. W. The relevance of process emissions for carbon leakage: A comparison of unilateral climate policy options with and without border carbon adjustment. **Energy Economics**, v. 34, n. SUPPL.2, dez. 2012.
- BLANCO, M.; ESTATÍSTICO, O.; VILLEGAS, T. A. **Análise da Eficiência Energética em Segmentos Industriais Selecionados - Segmento Cadeia Siderúrgica**.
- BOSTON CONSULTING GROUP; GLOBAL FINANCIAL MARKETS ASSOCIATION. **Unlocking the Potential of Carbon Markets to Achieve Global Net Zero**
- BULLOCK, D. A. C. Combating climate recalcitrance: Carbon-related border tax adjustment in a new era of global climate governance. **Washington International Law Journal**, v. 27, n. 3, p. 609–644, 2018.
- CNI; INSTITUTO AÇO BRASIL. **A indústria do aço no Brasil**.
- COSBEY, A. et al. **Developing Guidance for Implementing Border Carbon Adjustments: Lessons, Cautions, and Research Needs from the Literature Review of Environmental Economics and Policy** Oxford University Press, 1 fev. 2019.
- DE SOUZA, J. F. T.; PACCA, S. A. Carbon reduction potential and costs through circular bioeconomy in the Brazilian steel industry. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 169, 1 jun. 2021.
- EICKE, L. et al. Pulling up the carbon ladder? Decarbonization, dependence, and third-country risks from the European carbon border adjustment mechanism. **Energy Research and Social Science**, v. 80, 1 out. 2021.
- EPE. **Nota técnica DEA 02/09 - Caracterização do uso da Energia no Setor Siderúrgico**. Rio de Janeiro.
- ICAP. **Allowance Price Explorer**. Disponível em: <<https://icapcarbonaction.com/en/ets-prices>>. Acesso em: 3 fev. 2022.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Anuário Estatístico 2021**.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Posicionamento - Mudanças Climáticas**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://acobrasil.org.br/site/noticia/posicionamento-mudancas-climaticas/>>. Acesso em: 3 fev. 2022b.
- KARDISH, C. et al. **Which countries are most exposed to the EU's proposed carbon tariffs?** Disponível em: <<https://resourcetrade.earth/publications/which-countries-are-most-exposed-to-the-eus-proposed-carbon-tariffs>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- KUIK, O.; HOFKES, M. Border adjustment for European emissions trading: Competitiveness and carbon leakage. **Energy Policy**, v. 38, n. 4, p. 1741–1748, abr. 2010.
- LA ROVERE, E. L.; PROLO, C. D.; BORGES, C. **Análise Científica e Jurídica da nova Contribuição Nacional Determinada (NDC) Brasileira ao Acordo de Paris**. Rio de Janeiro. Disponível em: <www.climaesociedade.org>.

- MARCU, A.; MEHLING, M.; COSBEY, A. **CBAM for the EU - A Policy Proposal**. Disponível em: <https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_21_3661>. Acesso em: 3 fev. 2022.
- OSORIO, S. et al. Reviewing the Market Stability Reserve in light of more ambitious EU ETS emission targets. **Energy Policy**, v. 158, 1 nov. 2021.
- PINTO, R. G. D.; SZKLO, A. S.; RATHMANN, R. CO2 emissions mitigation strategy in the Brazilian iron and steel sector—From structural to intensity effects. **Energy Policy**, v. 114, p. 380–393, 1 mar. 2018.
- SANTOS, L. et al. Impacts of carbon pricing on Brazilian industry: Domestic vulnerability and international trade exposure. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 7, 9 jul. 2018.
- SANTOS, L.; LUCENA, A. F. P.; GARAFFA, R. Would different methodologies for assessing carbon leakage exposure lead to different risk levels? A case study of the Brazilian industry. **Climate Policy**, v. 19, n. 9, p. 1102–1116, 2019.
- VOGL, V.; ÅHMAN, M.; NILSSON, L. J. Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 736–745, 1 dez. 2018.
- VOGL, V.; OLSSON, O.; NYKVIST, B. Phasing out the blast furnace to meet global climate targets. **Joule**, v. 5, n. 10, p. 2646–2662, 20 out. 2021.