

Estudo de Baixo Carbono para a Indústria Siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030

1ª edição atualizada

Sumário Executivo



Governo do Estado de São Paulo
Secretaria do Meio Ambiente
CETESB – Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo
BID – Banco Interamericano
de Desenvolvimento
São Paulo, 2018



Estudo de Baixo Carbono para a Indústria Siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030

1ª edição atualizada

Sumário Executivo

Governo do Estado de São Paulo

Secretaria do Meio Ambiente

CETESB – Companhia Ambiental
do Estado de São Paulo

BID – Banco Interamericano
de Desenvolvimento

São Paulo, 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CETESB – Biblioteca, SP, Brasil)

C418e CETESB (São Paulo)

Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no estado de São Paulo de 2014 a 2030 [recurso eletrônico] : sumário executivo / CETESB ; Apoio Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) ; Elaboração Bruna Patrícia de Oliveira, Jhonathan Fernandes Torres de Souza ; Coordenação executiva Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer ; Coordenação técnica Sérgio Almeida Pacca ; Colaboradores Bruna Chyoshi... [et al.]. – 1.ed. atual. – São Paulo : CETESB, 2018.
1 arquivo de texto (22 p.) : il. color., PDF ; 4,2 MB.

Elaborado a partir do texto de mesmo título dos autores: FREITAS, José Milton de; VOGELAAR, René; VOGELAAR, Renato. Projeto BR-T1262: apoio ao desenvolvimento de estudos de mitigação para o estado de São Paulo.

Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>

ISBN 978-85-9467-024-3

1. Aquecimento global 2. Baixo carbono 3. Efeito estufa – gases - cenário 4. Mudanças climáticas 5. Siderurgia – indústria 6. Tecnologia química 7. São Paulo (Est.) I. Oliveira, Bruna Patrícia de. II. Souza, Jhonathan Fernandes Torres de. III. Título.

CDD (21. ed. Esp.) 363.738 748 161

CDU (2. ed. Port.) 504.7:669.1 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada CRB 8.4422

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Avenida Professor Frederico Hermann Jr., 345
Alto de Pinheiros CEP 05459-900 São Paulo SP
Tel.: (11) 3133 3000
<http://www.cetesb.sp.gov.br>

© CETESB 2018

É permitida a reprodução total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.
Direitos reservados de distribuição.



GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Governador Márcio França

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE

Secretário Eduardo Trani

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Diretor Presidente Carlos Roberto dos Santos

Diretoria de Gestão Corporativa Waldir Agnelo

**Diretoria de Controle
e Licenciamento Ambiental** Geraldo do Amaral Filho

**Diretoria de Avaliação
de Impacto Ambiental** Ana Cristina Pasini da Costa

**Diretoria de Engenharia
e Qualidade Ambiental** Eduardo Luis Serpa

Presidência

Carlos Roberto dos Santos

Departamento de Cooperação Institucional e Internacional

Fátima Aparecida Carrara

Divisão de Mudanças Climáticas

Maria Fernanda Pelizzon Garcia

Ficha técnica

Elaboração

Bruna Patrícia de Oliveira

Jhonathan Fernandes Torres de Souza

José Milton de Freitas

René Vogelaar

Renato Vogelaar

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Jussara de Lima Carvalho

Margarida Maria Kioko Terada

Rafael Fontoura Modolo

Neuza Maria Maciel

Sonia Teresinha Barbosa

Maria Fernanda Pelizzon Garcia

Coordenação Executiva

Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer

Marta Emerich

Oswaldo dos Santos Lucon

Renan Pelegrine

Coordenação Técnica

Sérgio Almeida Pacca

Wilson Issao Shiguemoto

Colaboradores

Bruna Chyoshi

Carlos Alberto Sequeira Paiva

Daniel Soler Huet

Eduardo Shimabokuro

Projeto Gráfico e Diagramação

Brainstorm – Arte em Comunicação

Foto da capa

Acervo BID

Documento elaborado a partir do *Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030*, de autoria de José Milton de Freitas, René Vogelaar e Renato Vogelaar.

Estudo realizado com recursos do Projeto BR T-1262: “Apoio ao desenvolvimento de estudos de mitigação para o Estado de São Paulo” proveniente da parceria entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento e a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

As opiniões e conclusões expressas nesta publicação são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a posição da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e do BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento, de sua Diretoria Executiva, ou dos países que eles representam.

O Banco Mundial, através do seu programa de assistência técnica, ESMAP, apoiou o desenvolvimento deste estudo com a ferramenta Curva MAC e as informações que foram necessárias para sua utilização. A versão mais recente da referida ferramenta encontra-se no link <http://esmap.org/mactool> (acesso em 01/03/2017)

Lista de abreviaturas e siglas

BECP	Preço de Equilíbrio de Carbono (<i>Break-Even Carbon Price</i>)
BC	Baixo Carbono
BenchMark-TIR	Taxa de Atratividade
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CAPEX	Investimentos (<i>Capital Expenditures</i>)
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CC	Corrente Contínua
CBC	Cenário Baixo Carbono
CR	Cenário de Referência
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program
SP	Estado de São Paulo
FEA	Fornos Elétricos a Arco
GEE	Gás ou Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IABr	Instituto Aço Brasil
IETD	Industrial Efficiency Technology Database
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change)
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
PIB	Produto Interno Bruto
MAC	Custo Marginal de Abatimento (<i>Marginal Abatement Cost</i>)
MDEA	Metildietanolamina
Oxy Blast – TGR	Alto Forno a Oxigênio com Turbina de Recuperação dos Gases de Topo (Oxygen Blast Furnace with Top Gas Recycling Blast Furnace)
TGR	Turbina de Recuperação dos Gases de Topo (<i>Top Gas Recycling</i>)
TGRBF	Turbina de Recuperação dos Gases de Topo do Alto Forno (<i>Top Gas Recycling Blast Furnace</i>)
TIR	Taxa Interna de Retorno
WSA	World Steel Association
OPEX	Despesas de Operação (<i>Operational Expenses</i>)

Lista de símbolos

CO monóxido de carbono

CO₂ dióxido de carbono

Gg gigagrama

GJ gigaJoule

t tonelada

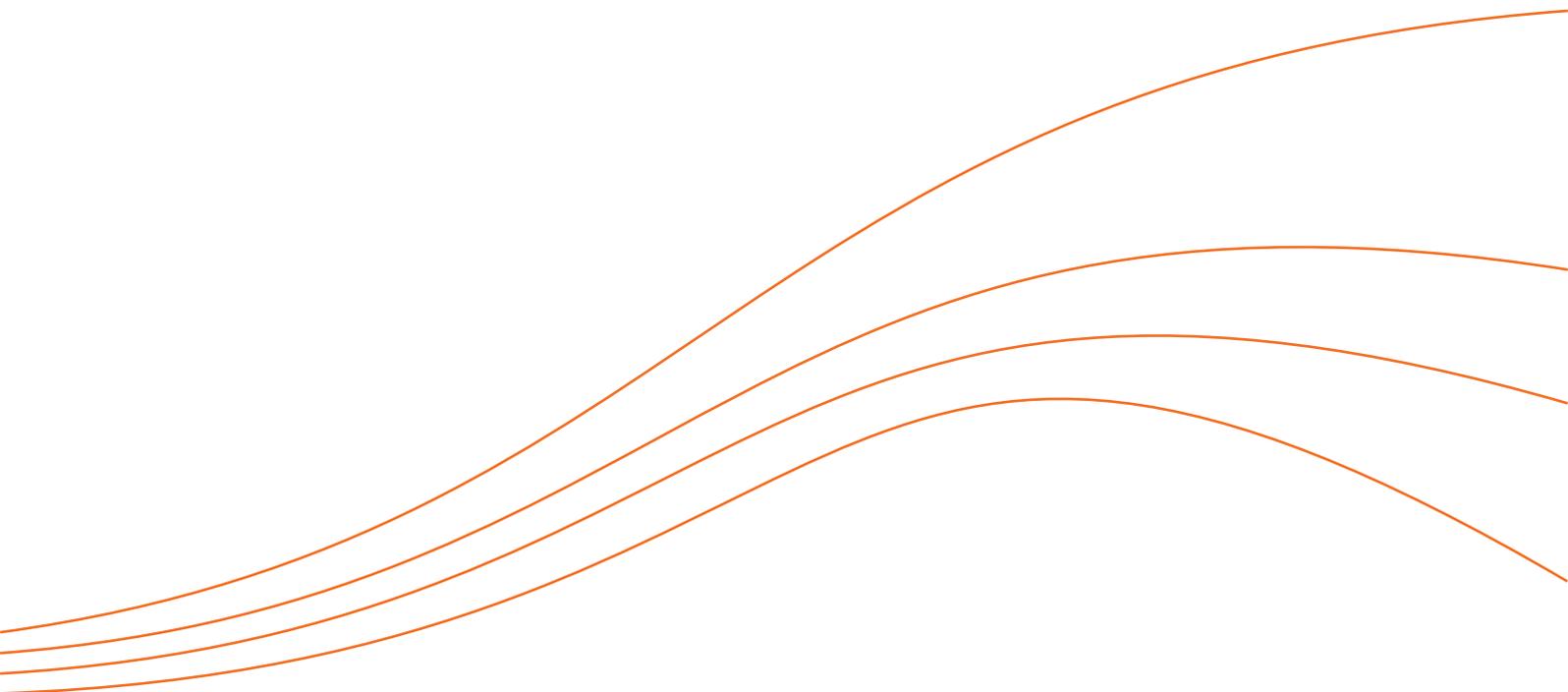
M mega

GWh gigawatt-hora

kWh quilowatt-hora



Sumário executivo



O presente sumário foi baseado no “Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030”, o qual construiu cenários de referência e de baixo carbono considerando emissões de GEE de processo e do consumo de energia e a avaliação de alternativas de mitigação. No estudo foram apresentados o Custo Marginal de Abatimento (*Marginal Abatement Cost* – MAC) das tecnologias e o preço de equilíbrio de carbono (*Break-Even carbon price* – BECP). As reduções de emissões proporcionadas ao longo do período analisado por cada opção tecnológica foram consolidadas em um gráfico de cunha (*Wedge Graph*).

As emissões futuras de GEE são o produto de sistemas dinâmicos muito complexos, determinados por forças motrizes tais como crescimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudança tecnológica, cuja evolução é altamente incerta. No entanto, os cenários são imagens alternativas de como o futuro poderá se desdobrar e são uma ferramenta adequada para analisar como as forças motrizes podem influenciar no resultado de emissões futuras, assim como avaliar as incertezas associadas, não apresentando relação com a probabilidade de ocorrência dos mesmos (IPCC, 2000a).

Os cenários colaboram na identificação das possíveis ameaças, avaliam as competências organizacionais e exercitam o pensamento global para desenvolver alianças e ações estratégicas, proporcionando a elaboração de análises alternativas. Portanto, não se trata apenas de prospecção, mas da construção de um futuro possível, auxiliando a construir as mudanças desejadas para o futuro (WRIGHT, 2008 apud MENDONÇA, 2011). Os cenários no presente estudo foram construídos baseados na análise de dados históricos, nas informações apresenta-

das em publicações do setor e em informações atribuídas pelos autores.

No contexto mundial da indústria siderúrgica o Brasil é responsável por 2,1% da produção de aço bruto. Apesar desta participação percentual bastante reduzida, o Brasil é o 9º maior produtor de aço, totalizando uma produção de 34,2 milhões de toneladas em 2013, segundo dados fornecidos pelo Instituto do Aço Brasil (IABr, 2013). Considerando a América Latina, o Brasil é o maior produtor com 52,2% da produção. O parque industrial brasileiro é composto de 27 usinas, pertencentes a nove grupos empresariais, sendo que 93,6% da produção é oriunda da Região Sudeste. A produção de aço no Estado de São Paulo (SP) corresponde a 16 % da produção total brasileira no ano de 2013 (IABr, 2013). O Estado de São Paulo possui 6 unidades produtivas: cinco que utilizam fornos elétricos a arco (FEA) e uma usina integrada (com alto-forno) (IABr, 2013).

O segmento da indústria metalúrgica no Estado de São Paulo, em 2005, que englobou o setor de produção siderúrgica e de alumínio, contribuiu com 9.467 GgCO₂e, correspondente a 34,2% das emissões de GEE no Setor de Processos Industriais no inventário estadual (CETESB, 2013).

O processo de produção de ferro-gusa é a etapa que mais consome energia em usinas integradas, em grande medida devido ao uso do coque como agente redutor na transformação do minério de ferro em ferro-gusa¹. As usinas semi-integradas não têm a etapa de redução, consequentemente, consomem carbono para fins de ajustes metalúrgicos energéticos (IABr, 2012). Na siderurgia o carbono está presente nos combustíveis utilizados para geração de energia, que no caso de usinas integradas, desempenha seu papel como agente redutor do minério de ferro. Posteriormente uma fração deste carbono é

1. No processo siderúrgico as outras fontes de carbono, além do carvão/coque também são utilizadas, óleo diesel, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) e gás natural.

incorporada aos produtos, a outra parte após a combustão é emitida na forma de CO₂.

O objetivo deste estudo foi avaliar os custos e o potencial de mitigação de GEE de tecnologias para a indústria no Estado de São Paulo, onde o setor de siderurgia é parte integrante.

ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

A construção dos cenários seguiu o roteiro metodológico apresentado na Figura 1, onde consta um levantamento inicial de dados, o estabelecimento de premissas e a realização de projeções. Posteriormente seguiu-se com a realização dos cenários de referência (CR) e baixo carbono (CBC) e a apresentação dos resultados de mitigação, MAC e BECP.

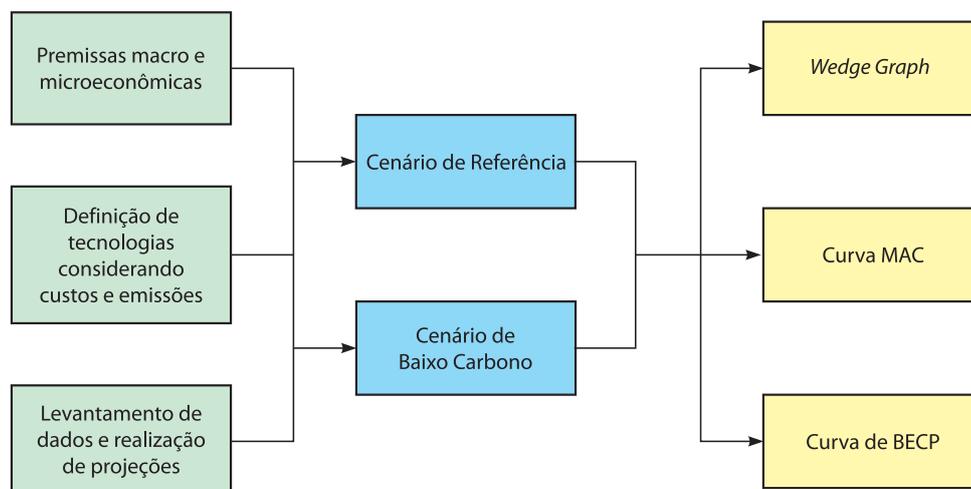
As estimativas de emissões de GEE foram realizadas empregando-se o método apresentado nos guias do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) no *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Greenhouse Gas Inventories Programme, Energy, Vo-*

lume 2 e o Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006, 2000b). As estimativas consideraram os dados de atividade, como produção, combustível, energia elétrica consumida e os respectivos fatores de emissão.

Para a construção das curvas de MAC e BECP² empregou-se a MACTool. De acordo com o *Energy Sector Management Assistance Program* (ESMAP, 2016), trata-se de uma ferramenta desenvolvida pelo Banco Mundial que permite avaliar o investimento necessário para um crescimento de baixo carbono, podendo ser utilizada para testar as possibilidades setoriais e as respectivas respostas aos preços (ESMAP, 2016; FAY, et al., 2015).

Para aferir quantitativamente a contribuição de cada tecnologia na redução das emissões de GEE, elaborou-se curvas que apresentaram cunhas de mitigação (*Wedge Graph*), referentes à comparação entre o CR e o CBC com a implantação das respectivas tecnologias. Com esta informação foi possível visualizar a contribuição de cada tecnologia para a mitigação de GEE.

Figura 1 – Etapas do desenvolvimento do estudo



Fonte: Pacca et al. (2017).

2. O preço de equilíbrio de carbono indica o incentivo econômico que os agentes econômicos estabelecem como necessário para que a medida de mitigação estudada se torne atraente, quando comparada à referência (GOUVELLO et al., 2010).

RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados no período de 2014 a 2030 para a evolução da produção siderúrgica no estado, a evolução do consumo de energia, a evolução das emissões do cenário de referência e baixo carbono, a evolução dos investimentos, as emissões evitadas por cada medida nos cenários, o MAC e o BECP das tecnologias.

A evolução da produção siderúrgica no Estado de São Paulo

Um dos possíveis modelos para se estabelecer um critério para estimar a demanda futura de produtos siderúrgicos é através da análise da série histórica onde se estabelece a correlação entre o consumo de produtos siderúrgicos e a evolução do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil. Historicamente há uma correlação positiva entre o PIB e o consumo aparente de aço no país variando entre 1,5 a 2,0 o crescimento do PIB. Foi considerado que a indústria responde a uma taxa 1,5 vez maior do que a taxa anual do PIB brasileiro.

Em relação ao CR, embora tenha sido desligado o alto-forno localizado na baixada santista em 2015³, considerou-se no desenvolvimento do estudo a manutenção do funcionamento em todo o período. Ressalte-se que o ano de referência do estudo é 2014. No Estudo de Baixo Carbono para a Indústria Siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030 foi apresentada também, como um cenário exploratório⁴, a hipótese, que considera o desligamento do forno no período de 2016 a 2021.

Até o final de 2015, o estado possuía 6 unidades de produção de aço pertencentes a 4 gru-

pos econômicos. Destas unidades instaladas, somente uma unidade produzia aço bruto através da redução do minério de ferro (alto-forno). As outras 5 unidades instaladas no estado produziam aço a partir de gusa e sucata em fornos elétricos. No final de 2015 mais uma unidade com forno elétrico entrou em operação. Trata-se de uma empresa com uma unidade de produção na cidade de Pindamonhangaba, no Estado de São Paulo. Na Tabela 1 são apresentados os dados de produção de aço, projetados para São Paulo até o ano de 2030.

Os dados e produção apresentados na Tabela 1 foram empregados para o estabelecimento dos dois cenários, o CR e o CBC.

Tabela 1 – Projeção da produção de aço no Estado de São Paulo

Ano	PIB*	Produção – usina integrada	Produção – usina semi-integrada	Aço bruto
		(10 ³ t/ano)	(10 ³ t/ano)	(10 ³ t/ano)
2014 R	0,50%	3.048	1.752	4.800
2015 E	-1,50%	2.874	1.862	4.736
2016 E	1,00%	2.745	1.858	4.603
2017 E	1,50%	2.807	1.900	4.706
2018 E	2,00%	2.891	1.957	4.847
2019 E	2,00%	2.978	2.015	4.993
2020 E	2,30%	3.080	2.564	5.644
2021 E	2,50%	3.196	2.660	5.856
2022 E	2,50%	3.316	2.760	6.076
2023 E	2,50%	3.440	2.863	6.303
2024 E	2,50%	3.569	2.971	6.540
2025 E	2,50%	3.703	3.082	6.785
2026 E	2,50%	3.842	3.198	7.039
2027 E	2,50%	3.986	3.318	7.303
2028 E	2,50%	4.135	3.429	7.565
2029 E	2,50%	4.275	3.526	7.801
2030 E	2,50%	4.275	3.560	7.835

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: * PIB nominal do estado em 2014 e cenário até 2030.

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

- O ano base do estudo é 2014, portanto para efeito do cenário estudado, foi considerada a possibilidade de emissão da USIMINAS no período de desenvolvimento do estudo, que é de 2014 a 2030.
- Cenários exploratórios: exploram possíveis futuros. Eles enfatizam direções e não especificam um final desejado predeterminado para o desenvolvimento (DIXON, 2011).

No cenário de referência, estima-se que a produção aumentará de 4.800 10³ t/ano em 2014⁵ para 7.835 10³ t/ano em 2030, representando um aumento de 63% de 2030 em relação a 2014, ou seja, uma média aproximada de 3,06% ao ano. Comparando o mesmo período, a produção em usina semi-integrada, observa-se um crescimento de 103% e, para usinas integradas, um crescimento de 40%⁶.

A evolução do consumo de energia

Na Tabela 2 está apresentada a projeção do consumo de energia elétrica e do consumo de combustível (gás natural, gás de coqueria e gás de alto-forno) no cenário de referência.

Em relação às medidas de baixo carbono, como apresentado no Quadro 1, foram consideradas o alto-forno com Turbina de

Tabela 2 – Consumo de energia no CR

Ano	Energia elétrica			Consumo de combustível		
	Rota semi-integrada	Rota integrada	Total	Rota semi-integrada	Rota integrada	Total
	(GWh)			(GJ)		
2014 R	876	323	1.199	9.993.583	10.219.030	20.230.609
2015 E	931	305	1.236	10.621.810	9.636.545	20.274.675
2016 E	929	291	1.220	10.597.019	9.202.901	19.815.258
2017 E	950	298	1.247	10.835.452	9.409.966	20.261.102
2018 E	978	306	1.285	11.160.515	9.692.265	20.868.934
2019 E	1.008	316	1.323	11.495.331	9.983.033	21.495.004
2020 E	1.282	327	1.609	14.625.258	10.327.447	24.968.434
2021 E	1.330	339	1.669	15.173.705	10.714.727	25.904.750
2022 E	1.380	351	1.731	15.742.719	11.116.529	26.876.177
2023 E	1.432	365	1.796	16.333.071	11.533.399	27.884.035
2024 E	1.485	378	1.864	16.945.561	11.965.901	28.929.685
2025 E	1.541	393	1.934	17.581.020	12.414.623	30.014.550
2026 E	1.599	407	2.006	18.240.308	12.880.171	31.140.094
2027 E	1.659	422	2.081	18.924.320	13.363.177	32.307.847
2028 E	1.715	438	2.153	19.560.976	13.864.296	33.446.427
2029 E	1.763	453	2.216	20.114.242	14.332.793	34.468.961
2030 E	1.780	453	2.233	20.308.655	14.332.793	34.663.268

Fonte: Freitas; Vogelaar, René; Vogelaar, Renato, (2017), com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.
Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado.

Quadro 1 – Tecnologias empregadas no CBC

Integrada	Semi Integrada	
TGRBF - MDEA	Pré-aquecimento	Transformador de corrente contínua (CC)
Alto-forno com Turbina de Recuperação dos Gases de Topo do alto-forno. Esta tecnologia captura os gases de exaustão do Alto-Forno (TGRBF), segrega o CO ₂ do CO. O CO é reinjetado no forno com oxigênio reduzindo o consumo de coque. O CO ₂ capturado é removido por um processo de absorção química com o uso do solvente Metildietanolamina (MDEA) / Piperazina.	No sistema Consteel o carregamento de sucata é feito de forma contínua. O sistema é composto basicamente de duas seções: uma de carregamento outra de pré-aquecimento. O carregamento da sucata é feito em esteiras que estão dentro do túnel do sistema de despoeiramento. Os gases de exaustão do FEA passam pelo túnel de pré-aquecimento a uma temperatura regular acima de 900°C pré-aquecem a carga de sucata até uma temperatura na superfície superior a 600°C, com uma temperatura média na faixa de 300°C a 400°C, dependendo do tipo da sucata	O transformador de corrente contínua evita perdas durante a transmissão da eletricidade

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) baseado em European Commission (2014) e Memoli *et al* (2009).

- O início do período de análise é 2014 e portanto todas as premissas consideradas no cenário de referência estão baseadas naquele ano.
- O estudo é de caráter exploratório e o setor poderá construir outros cenários.

Recuperação dos Gases no Topo do Alto Forno (*Top Gas Recycling BlastFurnace TGRBF MDEA*), nesta tecnologia a absorção do CO₂ se dá por absorção química através do solvente Metildietanolamina Piperazina (MDEA) , o Consteel que considera o pré-aquecimento da matéria prima e o transformador de corrente continua (CC). As medidas que apresentam relação com energia são o Constell e o CC. Na

Tabela 3 são apresentados o consumo de energia elétrica e o consumo de combustível, no CBC.

No cenário de baixo carbono, em decorrência das medidas de pré-aquecimento e corrente contínua aplicadas às plantas integradas, observa-se uma diminuição do consumo de eletricidade correspondente a 6% do consumo previsto no CR em 2030.

Tabela 3 – Consumo de energia no CBC

Ano	Energia elétrica			Consumo de combustível		
	Rota semi-integrada	Rota integrada	Total	Rota semi-integrada	Rota integrada	Total
	(GWh)			(GJ)		
2014R	876	323	1.199	9.993.583	10.219.030	20.230.609
2015E	931	305	1.236	10.621.810	9.636.545	20.274.675
2016E	929	291	1.220	10.597.019	9.202.901	19.815.258
2017E	933	298	1.231	10.835.452	9.409.966	20.261.102
2018E	961	306	1.267	11.160.515	9.692.265	20.868.934
2019E	990	316	1.306	11.495.331	9.983.033	21.495.004
2020E	1.222	327	1.549	14.625.258	10.327.447	24.968.434
2021E	1.268	339	1.607	15.173.705	10.714.727	25.904.750
2022E	1.294	351	1.645	15.742.719	11.116.529	26.876.177
2023E	1.342	365	1.707	16.333.071	11.533.399	27.884.035
2024E	1.393	378	1.771	16.945.561	11.965.901	28.929.685
2025E	1.422	393	1.815	17.581.020	12.414.623	30.014.550
2026E	1.476	407	1.883	18.240.308	12.880.171	31.140.094
2027E	1.515	422	1.937	18.924.320	13.363.177	32.307.847
2028E	1.565	438	2.003	19.560.976	13.864.296	33.446.427
2029E	1.609	453	2.062	20.114.242	14.332.793	34.468.961
2030E	1.625	453	2.078	20.308.655	14.332.793	34.663.268

Fonte: Freitas; Vogelaar, René; Vogelaar, Renato, (2017), com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado.

A evolução das emissões do cenário de referência e baixo carbono

As estimativas do CR foram elaboradas considerando as plantas semi-integradas e integradas, sendo as emissões totais do CR, a soma das emissões das duas rotas apresentadas na Tabela 4 e na Tabela 5.

Na Tabela 4 são apresentadas as emissões de GEE pela rota semi-integrada no CR.

De acordo com a Tabela 4, no CR as emissões provenientes das plantas semi-integradas

apresentam um aumento de 103% em 2030 em relação a 2014.

A Tabela 5 apresenta as estimativas de emissões para a rota integrada no CR. O processo de redução que ocorre no alto-forno é a principal fonte de CO₂. Como nas usinas integradas há cogeração de energia, as emissões relacionadas à energia elétrica são baixas.

De acordo com a Tabela 5, no CR as emissões provenientes das plantas integradas apresentam um aumento de cerca de 40% em 2030 em relação a 2014.

Tabela 4 – Estimativa de emissão para plantas semi-integradas no CR

Ano	Processo	Combustível	Energia elétrica*	Total
				(GgCO ₂)
2014R	140	561	0,6	701
2015E	149	596	0,6	745
2016E	149	594	0,6	744
2017E	152	608	0,7	760
2018E	157	626	0,7	783
2019E	161	645	0,7	807
2020E	205	820	0,9	1.026
2021E	213	851	0,9	1.065
2022E	221	883	0,9	1.105
2023E	229	916	1,0	1.146
2024E	238	951	1,0	1.189
2025E	247	986	1,0	1.234
2026E	256	1.023	1,1	1.280
2027E	265	1.062	1,1	1.328
2028E	274	1.097	1,2	1.373
2029E	282	1.128	1,2	1.412
2030E	285	1.139	1,2	1.425

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: * Os fatores de emissão empregados nas estimativas foram: eletricidade (para rota integrada) 0,1355 tCO₂/MWh BRASIL (2015); eletricidade (para rota semi-integrada); 0,5884 tCO₂/MWh BRASIL (2015); gás natural 0,0561 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de coqueria 0,0447 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de alto-forno 0,2600 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); processo (rota integrada) 1,46 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006); processo (rota semi-integrada) 0,08 tCO₂/t_{aco} (MAKS et. al, 2006).

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

Tabela 5 – Estimativa de emissão para plantas integradas no CR

Ano	Integrada processo	Integrada combustível	Integrada eletricidade	Total
				(GgCO ₂)
2014R	4.450	1.274	44	5.768
2015E	4.196	1.201	41	5.439
2016E	4.008	1.147	39	5.194
2017E	4.098	1.173	40	5.311
2018E	4.221	1.208	42	5.471
2019E	4.347	1.245	43	5.635
2020E	4.497	1.288	44	5.829
2021E	4.666	1.336	46	6.048
2022E	4.841	1.386	48	6.274
2023E	5.022	1.438	49	6.510
2024E	5.211	1.492	51	6.754
2025E	5.406	1.548	53	7.007
2026E	5.609	1.606	55	7.270
2027E	5.819	1.666	57	7.543
2028E	6.037	1.729	59	7.825
2029E	6.242	1.787	61	8.090
2030E	6.242	1.787	61	8.090

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: Os fatores de emissão empregados nas estimativas foram: eletricidade (para rota integrada) 0,1355 tCO₂/MWh BRASIL (2015); eletricidade (para rota semi-integrada); 0,5884 tCO₂/MWh BRASIL (2015); gás natural 0,0561 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de coqueria 0,0447 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de alto-forno 0,2600 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); processo (rota integrada) 1,46 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006); processo (rota semi-integrada) 0,08 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006).

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

A Tabela 6 apresenta o cenário de penetração por tecnologia em termos percentuais, considerando a relação da capacidade instalada em cada rota. Observa-se que, para a rota integrada, como se trata apenas de uma usina, a tecnologia de BC atinge 100% de sua penetração. Já na rota semi-integrada, as duas tecnologias de BC são implantadas concomitantemente.

Tabela 6 – Penetração em relação à capacidade instalada das plantas no Estado de São Paulo

Ano	Integrada	Semi-integrada	
	TGRBF - MDEA	Pré-aquecimento	Transformador corrente contínua
	(%)		
2014 R	0	0,0	0,0
2015 E	0	0,0	0,0
2016 E	0	0,0	0,0
2017 E	0	15,9	0,0
2018 E	0	15,9	0,0
2019 E	0	15,9	0,0
2020 E	0	51,5	0,0
2021 E	0	51,5	0,0
2022 E	0	55,1	26,4
2023 E	0	55,1	26,4
2024 E	0	55,1	26,4
2025 E	100	55,1	55,5
2026 E	100	55,1	55,5
2027 E	100	55,1	74,0
2028 E	100	55,1	74,0
2029 E	100	55,1	74,0
2030 E	100	55,1	74,0

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017).

Nota: Os fatores de emissão empregados nas estimativas foram: eletricidade (para rota integrada) 0,1355 tCO₂/MWh BRASIL (2015); eletricidade (para rota semi-integrada):0,5884 tCO₂/MWh BRASIL (2015); gás natural 0,0561 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de coqueria 0,0447 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de alto-forno 0,2600 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); processo (rota integrada) 1,46 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006); processo (rota semi-integrada) 0,08 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006).

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

Na Tabela 7 são apresentadas as emissões de GEE pela rota semi-integrada no CBC.

Em relação à rota semi-integrada no CBC, comparando-se ao CR, não se observam mudanças significativas nas emissões de processo e combustível. Analisando a evolução dos consumos no CBC em relação à energia elétrica, em 2030 é previsto um aumento de 82% em relação a 2014.

Tabela 7 – Estimativa de emissão para plantas semi-integradas no CBC

Ano	Processo	Combustível	Energia elétrica	Total
	(GgCO ₂)			
2014 R	140	561	0,6	701
2015 E	149	596	0,6	745
2016 E	149	594	0,6	744
2017 E	152	608	0,6	760
2018 E	157	626	0,7	783
2019 E	161	645	0,7	807
2020 E	205	820	0,8	1.026
2021 E	213	851	0,9	1.065
2022 E	221	883	0,9	1.105
2023 E	229	916	0,9	1.146
2024 E	238	951	0,9	1.189
2025 E	247	986	1,0	1.234
2026 E	256	1.023	1,0	1.280
2027 E	265	1.062	1,0	1.328
2028 E	274	1.097	1,1	1.373
2029 E	282	1.128	1,1	1.412
2030 E	285	1.139	1,1	1.425

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: Os fatores de emissão empregados nas estimativas foram: eletricidade (para rota integrada) 0,1355 tCO₂/MWh BRASIL (2015); eletricidade (para rota semi-integrada):0,5884 tCO₂/MWh BRASIL (2015); gás natural 0,0561 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de coqueria 0,0447 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de alto-forno 0,2600 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); processo (rota integrada) 1,46 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006); processo (rota semi-integrada) 0,08 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006).

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

A Tabela 8 apresenta as estimativas de emissões para a rota integrada no CBC.

Em relação à rota integrada no CBC, em comparação ao CR, não se observam mudanças significativas nas emissões de combustível e eletricidade. Analisando a evolução dos consumos no CBC, em relação ao processo em 2030 é previsto uma diminuição de 37% em relação à 2014. Em relação às emissões totais é previsto uma diminuição de 19% das emissões em 2030 em relação a 2014.

Tabela 8 – Estimativa de emissão para plantas integradas no CBC

Ano	Integrada processo	Integrada combustível	Integrada eletricidade	Total
	(GgCO ₂)			
2014 R	4.450	1.274	44	5.768
2015 E	4.196	1.201	41	5.439
2016 E	4.008	1.147	39	5.194
2017 E	4.098	1.173	40	5.311
2018 E	4.221	1.208	42	5.471
2019 E	4.347	1.245	43	5.635
2020 E	4.497	1.288	44	5.829
2021 E	4.666	1.336	46	6.048
2022 E	4.841	1.386	48	6.274
2023 E	5.022	1.438	49	6.510
2024 E	5.211	1.492	51	6.754
2025 E	2.433	1.548	53	4.034
2026 E	2.524	1.606	55	4.185
2027 E	2.619	1.666	57	4.342
2028 E	2.717	1.729	59	4.505
2029 E	2.809	1.787	61	4.657
2030 E	2.809	1.787	61	4.657

Fonte: Freitas; Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: Os fatores de emissão empregados nas estimativas foram: eletricidade (para rota integrada) 0,1355 tCO₂/MWh BRASIL (2015); eletricidade (para rota semi-integrada) 0,5884 tCO₂/MWh BRASIL (2015); gás natural 0,0561 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de coqueria 0,0447 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); gás de alto-forno 0,2600 tCO₂/GJ (USEPA, 2009); processo (rota integrada) 1,46 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006); processo (rota semi-integrada) 0,08 tCO₂/t_{aco} (MARKS et. al, 2006).

Legenda: R – Dado Real; E – Dado Estimado

Custos de investimento e operação

A seguir, na Tabela 9, são apresentados os Investimentos (*Capital Expenditures* – CAPEX) e as despesas de operação (*Operational Expenses* – OPEX) necessários às tecnologias.

O CAPEX para a planta TGRBF-MDEA da Rota Integrada com capacidade de produzir anualmente 4,0 milhões de toneladas/ano de bobinas quentes é estimado em US\$ 1.219/taço. O custo total estimado para a instalação é de US\$ 4.877 milhões de dólares. A capacidade instalada de uma planta é de 4 milhões, dessa forma, o CAPEX, considerando esta capacidade, foi de US\$ 1.219/tbq (não se considerando os custos a estrutura de transporte e armazenamento). O OPEX foi estimado em US\$ 330/tbq.

O CAPEX para uma planta com Sistema de Pré-Aquecimento em Rota Semi-Integrada, foi estimado em 583 milhões de dólares. A capacidade instalada de uma planta é de 1 milhão de toneladas, dessa forma, o CAPEX, considerando esta capacidade, foi de US\$ 583/t_{vergalhão}. O OPEX foi estimado em US\$ 362/t_{vergalhão}.

Tabela 9 – CAPEX e OPEX

	Tecnologia	CAPEX	OPEX
		(US\$ milhões)	
Rota integrada	Planta – CR	4.124	324 (US\$/tbq)
	Planta CBC com – TGRBF-MDEA	4.877	330 (US\$/tbq)
Rota semi-integrada	Planta – CR	576	362 (US\$/t _{vergalhão})
	Planta CBC com pré-aquecimento – Consteel	583	362 (US\$/t _{vergalhão})
	Planta CBC com transformador de corrente contínua (CC)	584	362 (US\$/t _{vergalhão})

Fonte: Freitas, Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Nota: No baixo carbono para as estimativas foi considerado apenas o valor incremental de cada tecnologia associada à planta e acrescido um fator de implantação de 1,6 para integrada e 1,4 para semi-integrada, dado a necessidade de adaptação da planta já existente. Trata-se de um critério da modelagem, os segmentos da indústria podem eventualmente divergir.

O CAPEX para a planta com Fornos de corrente contínua em Rota Semi-Integrada segundo a pesquisa realizada *Industrial Efficiency Technology Database – Electric Arc Furnace – Technologies & Measures* (IETD, 2016) foi estimado em um custo total de instalação de US\$ 584 milhões. A capacidade instalada de uma planta é de 1 milhão de toneladas, dessa forma, o CAPEX, considerando esta capacidade, foi de US\$ 584/t_{vergalhão}. O OPEX foi estimado em US\$ 362/t_{vergalhão}.

Emissões evitadas por cada medida nos cenários

A Tabela 10 apresenta as emissões evitadas com a implantação do CBC, considerando como CR à hipótese de funcionamento do alto-forno da Usiminas para todo o período.

O total de emissões evitadas seria de 20.141 GgCO₂, sendo que a medida de pré-aquecimento foi responsável por 3,0%, corrente contínua por 1,3% e o TGRBF-MDEA por 95,7%.

No Gráfico 1 são apresentadas as contribuições em relação às emissões evitadas de cada medida ou tecnologia considerada no estudo.

Tabela 10 – Emissões evitadas

Ano	CR	CBC	Siderurgia pré-aquecimento	Siderurgia-corrente contínua	TGRBF-MDEA
	(GgCO ₂)				
2014	7.078	7.078	—	—	—
2015	6.830	6.830	—	—	—
2016	6.581	6.581	—	—	—
2017	6.728	6.717	12	—	—
2018	6.929	6.917	12	—	—
2019	7.136	7.124	12	—	—
2020	7.737	7.696	41	—	—
2021	8.026	7.984	43	—	—
2022	8.326	8.267	47	12	—
2023	8.637	8.576	49	12	—
2024	8.960	8.897	51	12	—
2025	9.294	6.267	52	28	2.946
2026	9.642	6.501	54	29	3.057
2027	10.002	6.733	56	41	3.171
2028	10.366	6.975	58	43	3.290
2029	10.701	7.195	60	44	3.401
2030	10.725	7.219	60	44	3.401

Fonte: Freitas, Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Desativação do alto-forno da Usiminas

O alto-forno da planta da Usiminas localizado em Cubatão foi desativado em novembro de 2015, devido a uma retração forte de demanda de aço no mercado interno, aliado as estatísticas do World Steel Association (WSA, 2016), onde fica evidente o excesso de oferta mundial de aço. Em função destes fatores a unidade da Usiminas em Cubatão está operando somente com o setor de laminação. Há alguns indicativos sobre a reativação deste alto-forno, mas se o mesmo permanecer desativado até 2030, considerando sua capacidade máxima de 4.500 milhões de toneladas, estima-se que serão evitadas cerca de 103.850 GgCO₂ (valor que poderá ser recalculado em função da alteração da capacidade instalada).

Custo marginal de abatimento e o preço de equilíbrio de carbono das tecnologias

A Tabela 11 apresenta os resultados das oportunidades de mitigação na área de processo (TGRBF-MDEA) e energia (Transformador de Corrente Contínua e Pré-Aquecimento de Sucata).

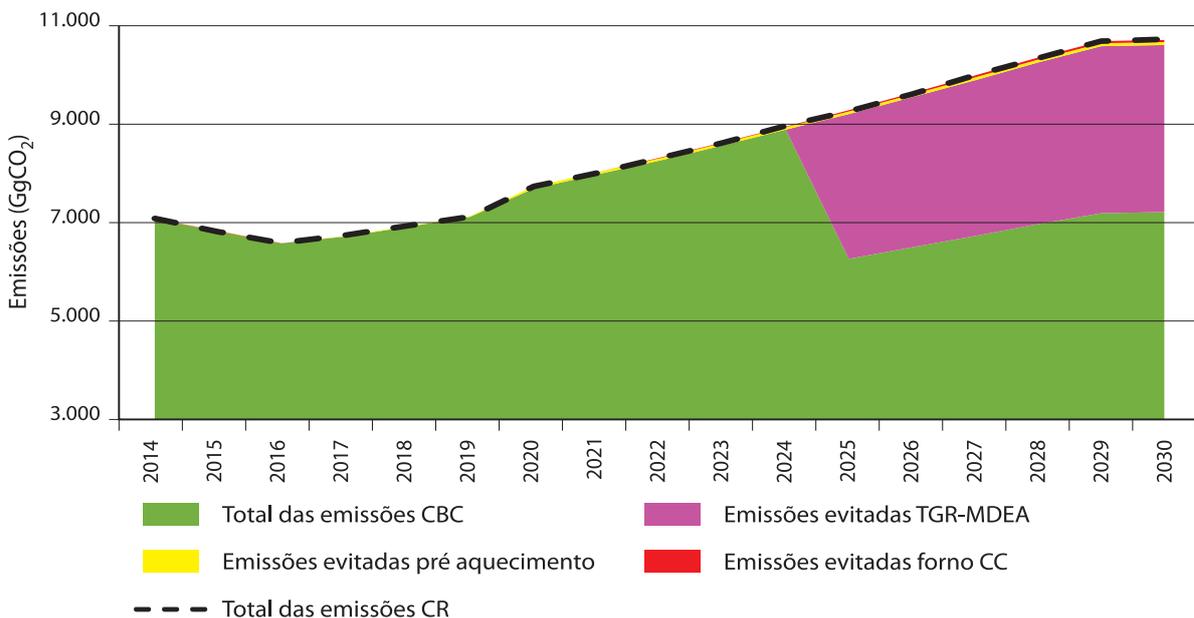
De acordo com a Tabela 11 as medidas de corrente contínua e pré-aquecimento adotadas para a rota semi-integrada proporcionariam, dentro das premissas adotadas por este estudo, um ganho econômico quando comparadas

Tabela 11 – Custo marginal de abatimento e potencial de emissões evitadas

Setor	Atividade	Custo de abatimento	Emissões evitadas 2014–2030
		(US\$/t CO ₂)	(Mt CO ₂)
Energia	Pré-aquecimento	-134	0,61
Energia	Forno corrente contínua	-102	0,27
Processo	TGRBF-MDEA	16	19,27

Fonte: Freitas, Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Gráfico 1 – Wedge Graph para a indústria siderúrgica em São Paulo de 2014 a 2030



Fonte: Elaboração própria (2017).

com o cenário de referência, ou seja, no caso, na ausência das mesmas. Em relação à medida de TGRBF, esta apresentou custo positivo, porém, apresentou grande potencial de redução de emissões quando comparada às outras tecnologias.

No Gráfico 2 é apresentada a curva do custo marginal de abatimento.

A Tabela 12 apresenta os preços de equilíbrio para cada oportunidade de mitigação. A partir dos resultados, conclui-se que as medidas da rota semi-integrada (pré-aquecimento em forno CC) trazem um retorno acima dos 15% determinados pelo setor como *Benchmark-*

TIR, portanto, resultam em preços de equilíbrio negativo. Apenas o TGRBF-MDEA não resulta na taxa interna de retorno esperada, neste caso seria necessário pagar US\$ 95 por tonelada de carbono evitada para que a tecnologia se torne atrativa.

CONCLUSÕES

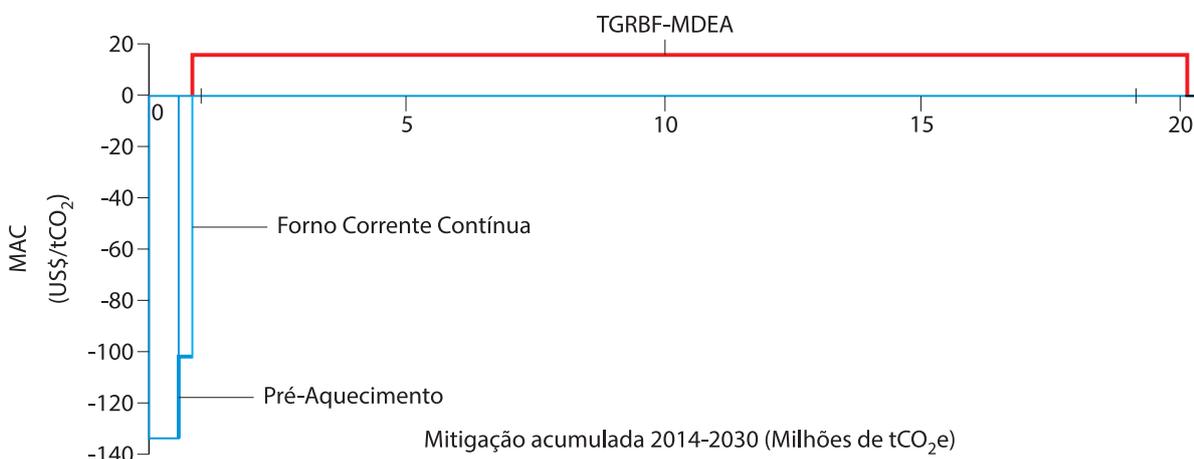
A lenta difusão de processos alternativos ao alto-forno, seja por tecnologias já consolidadas de redução direta (a gás ou carvão não-coqueificável), seja por tecnologias ainda emergentes de fusão redutora (incluindo Correx, Finex, Tecnoled, entre outros), tem sido uma tendência mundial. Alguns dos projetos de fusão redutora resultaram em grandes perdas financeiras para as companhias envolvidas. Outro aspecto que retarda a introdução de novas tecnologias de redução é a elevada vida útil dos altos-fornos; mesmo que tais tecnologias atingissem desempenho superior do ponto de vista tecnológico, seriam necessárias algumas décadas para a completa eliminação dos altos-fornos (DE PAULA, 2012).

Tabela 12 – Preço de equilíbrio de carbono para a indústria siderúrgica de 2014 a 2030

Setor	Atividade	BECP	Emissões evitadas 2014 – 2030
		(US\$/t CO ₂)	(Mt CO ₂)
Energia	Pré-aquecimento	-218	0,61
Energia	Forno corrente contínua	-155	0,27
Processo	TGRBF-MDEA	95	19,27

Fonte: Freitas, Vogelaar, René e Vogelaar, Renato (2017) com base em informações primárias e protegidas por confidencialidade.

Gráfico 2 – Curva de custo marginal de abatimento para o setor de siderurgia



Fonte: Elaboração própria (2017) com base na Tabela 9.

No mundo, o maior problema enfrentado pela indústria do aço é o excesso de capacidade de produção da ordem de 719 milhões de toneladas, que tem pressionado, globalmente, os preços. A maior parte deste excedente de capacidade encontra-se na China, país que conta, principalmente, com subsídios governamentais⁷.

Segundo as estatísticas do IABr (IABr, 2014), em 2014 o Brasil tinha uma capacidade instalada de 48,8 milhões de toneladas para uma produção de 33,9 milhões de toneladas, um consumo aparente interno de 25,6 milhões de toneladas e exportações totalizando 9,78 milhões de toneladas.

As premissas adotadas para a indústria até 2030 foram definidas com relação a volumes de produção física, custos dos insumos (matérias primas e energia), os fatores de emissão, os custos de investimento e operação para cada uma das rotas tecnológicas, tanto para o cenário de referência como para o cenário de baixo carbono.

Na análise das tecnologias sugeridas para o cenário de CBC, as maiores emissões evitadas são as que estão relacionadas ao processo de redução do minério de ferro (alto-forno). A tecnologia TGRBF-MDEA no cenário normal da indústria, representa uma redução de 19 milhões de tCO₂ até 2030, ou seja, 15% das emissões do cenário de referência da indústria siderúrgica, e representando 96% das emissões evitadas no período. Os fornos da rota semi-integrada reduzem apenas 873 mil tCO₂, o que equivale a 0,7% das emissões do cenário de referência e 4% das emissões evitadas.

A partir dos resultados apresentados na curva MAC, estima-se que, para atingir o potencial total de mitigação avaliado, serão gastos US\$ 199 milhões até o ano de 2030, ressalte-se que esta estimativa, que compõe este estudo, tem um caráter exploratório. Sobre a curva BECP, conclui-se que as tecnologias na rota semi-integrada trazem um retorno acima de 15% (Benchmark-TIR), portanto são investimentos atrativos. Todavia, se considerarmos o cenário em que o alto-forno permanece desativado até o final do período, 15 anos, seriam evitados aproximadamente 104 MtCO₂. Neste cenário, a tecnologia TGRBF-MDEA apresenta valores distintos de MAC e BECP.

Ao longo do período de execução deste documento, foram encontradas limitações na coleta de dados, pois informações sobre produção e emissão da indústria siderúrgica no ano base do estudo (2014) eram fundamentais, contudo esta dificuldade foi superada, e optou-se pela não identificação da maioria das empresas que forneceram subsídios para sua realização.

Dado seu caráter exploratório e uma vez que tomadores de decisão optem por determinados caminhos de baixo carbono, novas possibilidades de tecnologias podem ser consideradas. Finalmente, cabe ressaltar que o enfoque deste projeto foi analisar tecnologias para a mitigação de emissões de GEE, com ênfase no dióxido de carbono, e, portanto, a emissão de outros poluentes deve ser analisada de acordo com a legislação vigente, sendo necessária por vezes a regulamentação de procedimentos específicos.

7. Com relação a intensidade de emissões da produção da China. Hasanbeigi et al. (2015) propõe uma metodologia para cálculo que estima uma intensidade de emissões de 2,15 tCO₂/t de aço para o país, significativamente superior à média mundial de 1,8tCO₂/t aço. Considerando o aspecto global do mercado do aço, esse contexto exemplifica que mecanismos de proteção de mercado produtivo nacional contra o fenômeno do carbon leakage (EU, 2017) pode trazer melhores resultados mitigadores das mudanças do clima global.[Esta informação é uma contribuição da consulta pública].

(HASANBEIGI, A. et al. Comparison of Energy-Related Carbon Dioxide Emissions Intensity of the International Iron and Steel Industry: Case Studies from China, Germany, Mexico, and the United States. Berkeley CA: Berkeley Lab, 2015.)

REFERÊNCIAS

- BRASIL. MCTI. **Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil.** [On-line] 2015. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764/Fatores_de_Emissao_de_CO_sub_2_sub__pela_geracao_de_energia_eletrica_no_Sistema_Interligado_Nacional_do_Brasil.html>. Acesso em: mar. 2015.
- CETESB. **Emissões no setor de processos industriais e uso de produtos 1990 a 2008: Relatório de Referência.** São Paulo, 2013. (1º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo). Disponível em: <http://inventariogeesp.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2014/04/primeiro_inventario_setor_industria_web1.pdf>. Acesso em: set. 2015.
- DE PAULA, G. M. (2012). **Núcleo de Estudos de Baixo Carbono – Avaliação de Impactos de Restrições Perspectivas Tecnológica na Siderurgia.** Segundo Relatório Preliminar. Abril de 2012.
- DIXON, T. **Low Carbon Scenarios, Roadmaps, Transitions and Pathways: an Overview and Discussion.** Retrofit 2050 Re-engineering the city 2020-2050: urban foresight and and transition management. Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University. Retrofit 2050 Working Paper. 2011. 30p.
- EUROPEAN COMISSION. **Top Gas Recycling Blast Furnace Process: ULCOS TGRBF.** Bruxelas, 2014. Disponível em: <http://bookshop.europa.eu/bg/ulcos-top-gas-recycling-blast-furnace-process-ulcos-tgrbf-pbKINA26414/downloads/KI-NA-26414-EN-N/KINA26414ENN_002.pdf;pgid=y8dIS7GUWMdSR0EALMEUUsWb0000sKPM7Kup;sid=BhWJ01WbYxSJ8wapFvMXdDe-AcaPABj4GGc=?FileName=KINA26414ENN_002.pdf&SKU=KINA26414ENN_PDF&CatalogueNumber=KI-NA-26414-EN-N>. Acesso em: agosto de 2015.
- FAY, M.; HALLEGATTE, S.; VOGT-SCHILB, A.; ROZENBERG, J.; NARLOCH, U.; KERR, T. **Decarbonizing Development. Three Steps to a Zero-Carbon Future.** Climate Change and Development. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-0479-3. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. Washington, 2015. 182p.
- ESMAP. World bank group. **Modeling Tools and E-Learning: MACTool.** Disponível em: <<http://www.esmap.org/MACTool>>. 2016. Acesso em: 24 abr 2016.
- USEPA. **Technical support document for the iron and steel sector: proposed rule for mandatory reporting of greenhouse gases.** [United States], 2009. 43 p. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-02/documents/tsd_iron_and_steel_epa_9-8-08.pdf>. Acesso em: abr. 2017
- FREITAS, J.M; VOGELAAR, Rene; VOGELAAR, Renato. **Estudo de baixo carbono para a indústria siderúrgica no Estado de São Paulo de 2014 a 2030.** São Paulo: CETESB, 2017.
- GOUVELLO, C. de et al. **Estudo de baixo carbono para o Brasil.** Washington, DC: Banco Mundial, 2010. Disponível em: <<http://siteresources>>.

worldbank.org/BRAZILINPOREXTN/
Resources/3817166-1276778791019/
Relatorio_BM_Principal_Portugues_
SumarioExecutivo.pdf>. Acesso em: out.2015.

**IABr. Relatório de Sustentabilidade
2012.** Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil
(IABr), 2012. Disponível em: <[http://
www.acobrasil.org.br/site/portugues/
biblioteca/relatorio_sustentabilidade_2012.
pdf](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/relatorio_sustentabilidade_2012.pdf)>. Acesso em: agosto de 2015.

**IABr. Relatório de Sustentabilidade.
2013.** Disponível em: <[http://www.
acobrasil.org.br/site/portugues/
biblioteca/publicacoes.asp](http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/biblioteca/publicacoes.asp)>. Acesso
em:14/06/2014. Acesso em: maio 2015.

IABr. Anuário Estatístico 2014. Rio de
Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2015.

**IETD. Industrial Efficiency
Technology Database – Electric Arc
Furnace – Technologies & measures.
c2016.** Disponível em: <[http://ietd.
iipnetwork.org/content/electric-arc-
furnace](http://ietd.iipnetwork.org/content/electric-arc-furnace)>. Acesso em: outubro 2015.

**IPCC. Emission Scenarios. Summary
for Policymakers. A Special Report of
IPCC Working Group III. 2000a. 27p.**

**IPCC. Good practice guidance and
uncertainty management in national**

greenhouse gas inventories. Hayama,
JP, 2000b. Disponível em: <[http://
www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/
english/](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/)>. Acesso em mai de 2016.

MARKS, Jerry et al. Metal industry
emission. In: **IPCC. 2006 IPCC guidelines
for national greenhouse gas inventories.**
Hayama, JP: IPCC: IGES, 2006. v. 3:
Industrial processes and product use,
Chap. 4. Disponível em: <[http://www.
ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/
pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_
Industry.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_4_Ch4_Metal_Industry.pdf)>. Acesso em: abr. 2017.

MEMOLI, F et al. **Aumento das plantas
Consteel no Mundo: Flexibilidade
para Carga Contínua de Gusa
Líquido Sucata no Forno elétrico a
Arco Agora na Siderurgia Brasileira,
Tecnologia em metalurgia, Materiais e
Mineração,** 2009, v. 6, n. 1. p. 54–60

MENDONÇA, M.B. ANPAD. Técnicas de
Prospecção e Análise de Cenários Futuros
nos Governos e Administração Pública
do Brasil: Revisão da Produção Científica
Brasileira de 2001 a 2010. In: **V Encontro de
Estudos em Estratégia.** Porto Alegre, 2011.

PACCA, S. A. et al. **Estudo de baixo
carbono para a indústria de São
Paulo: relatório síntese.** 1ª ed. 2017.
São Paulo CETESB, 2017. 188 p.

Agenda 2030:



Apoio técnico:



Realização:

