

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**A INDÚSTRIA DE CIMENTO BRASILEIRA NA TRANSIÇÃO PARA O BAIXO  
CARBONO**

Gabriela Amar

Matrícula: 1712911

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

Rio de Janeiro  
Novembro de 2021

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**A INDÚSTRIA DE CIMENTO BRASILEIRA NA TRANSIÇÃO PARA O BAIXO  
CARBONO**

Gabriela Amar

Matrícula: 1712911

Orientador: Sérgio Besserman Vianna

Rio de Janeiro

Novembro de 2021

**"Declaro que o presente trabalho é de minha autoria e que não recorri para realizá-lo, a nenhuma forma de ajuda externa, exceto quando autorizado pelo professor tutor".**

---

Gabriela Amar

As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Sérgio Besserman Vianna, por todo o apoio, disponibilidade e orientação oferecidos durante todo o processo de elaboração desta monografia.

Aos meus pais, Claudia e Carlos Eduardo Amar, e ao meu irmão, Bruno Amar, por sempre acreditarem em mim, por estarem do meu lado em todos os momentos e por me proporcionarem a oportunidade de realizar essa graduação.

Aos meus amigos de curso, que estiveram comigo desde o primeiro até o último dia na PUC e com quem tive o prazer de compartilhar essa trajetória.

Por fim, agradeço a todo Departamento de Economia da PUC-Rio por todos os ensinamentos compartilhados e por todo o suporte durante esses anos.

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>6</b>
1.1. Motivação e Resultados Pretendidos .....	8
<b>2. METODOLOGIA E FONTE DE DADOS</b> .....	<b>9</b>
<b>3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS</b> .....	<b>10</b>
<b>4. CONTRIBUIÇÕES NACIONALMENTE DETERMINADAS</b> .....	<b>15</b>
<b>5. A INDÚSTRIA DE CIMENTO BRASILEIRA</b> .....	<b>18</b>
5.1. Emissão de CO <sub>2</sub> .....	18
5.2. Processo de Produção .....	21
<b>6. ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DE CO<sub>2</sub> NO SETOR</b> .....	<b>24</b>
6.1. Adições e Substitutos de Clínquer .....	25
6.2. Combustíveis Alternativos .....	27
6.3. Eficiência Energética .....	29
6.4. Tecnologias Inovadoras e Emergentes.....	31
<b>7. CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>35</b>

## **LISTA DE FIGURAS E TABELAS**

**Figura 1:** Emissões do setor Processos Industriais, de 1990 a 2016, em CO<sub>2</sub>eq.

**Figura 2:** Projeções de Emissões de CO<sub>2</sub>

**Figura 3:** Projeções de Aumento da Temperatura Global

**Figura 4:** Curvas de Mitigação de CO<sub>2</sub> Para o Cenário 2°C

**Figura 5:** Comparação NDC 2015 e NDC 2020 Brasil

**Figura 6:** Emissão Específica de CO<sub>2</sub> por Tonelada de Cimento (Kg CO<sub>2</sub>/ t cimento)

**Figura 7:** Emissões de Gases de Efeito Estufa do Brasil de 1990 a 2019 (MtCO<sub>2</sub>e)

**Figura 8:** Participação dos Setores no Perfil das Emissões Brasileiras

**Figura 9:** Esquema da Fabricação de Cimento

**Figura 10:** Emissões de CO<sub>2</sub> da Produção de Cimento Brasileira

**Figura 11:** Razão Clínquer / Cimento (%)

**Figura 12:** Evolução da Utilização de Combustíveis Alternativos

**Figura 13:** Projeção da Evolução dos Consumos Térmico e Elétrico na Produção do Cimento

**Tabela 1:** Principais Tipos de Resíduos Utilizados Pela Indústria do Cimento

## 1. INTRODUÇÃO

Anteriormente, existia o pensamento de que todos os recursos existentes no planeta poderiam ser utilizados e retirados de maneira incessante e em grande escala, sem se preocupar com os impactos ambientais que seriam gerados. Contudo, atualmente, sabemos que essa ideia é totalmente equivocada. A ação humana teve grandes impactos sobre o meio ambiente e os ecossistemas.

Podemos considerar que a Revolução Industrial, na segunda metade do século XVIII, foi o principal evento acarretador dos impactos negativos sobre o meio ambiente, levando em consideração essa produção em larga escala e o objetivo de crescer a qualquer custo. Esse marco foi o pontapé inicial para a industrialização e, conseqüentemente, para maiores níveis de poluição. Desde então foram intensificadas as queimas de combustíveis fósseis e o desmatamento, fazendo com que as emissões de gases de efeito estufa (GEE) se elevassem, acelerando ainda mais o aquecimento global.

O Acordo de Paris foi firmado com o objetivo de reduzir as emissões de GEE e, dessa forma, combater o aquecimento global. A principal meta estabelecida nesse Acordo foi a manutenção da temperatura planetária bem abaixo de 2° C, influenciando a transição para uma economia de baixo carbono. Essa transição consiste no uso de fontes de energia renováveis e limpas, ao invés de fontes de energia fósseis, com o intuito de diminuir as emissões e os impactos sobre o meio ambiente.

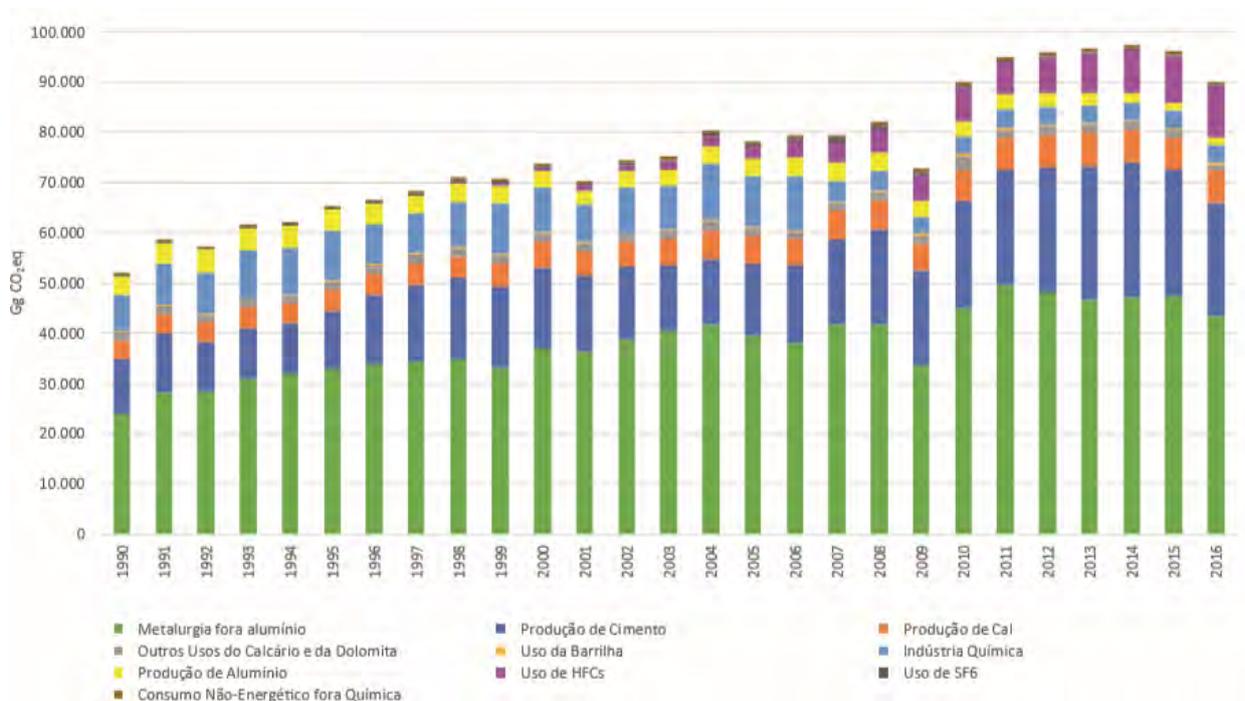
O cimento é o insumo principal que dá origem ao concreto, material desenvolvido pelo homem mais utilizado no mundo, sendo extremamente importante para a indústria da construção (SNIC, 2019). Somado a isso, é uma peça chave para o desenvolvimento de um país e de sua infraestrutura, gerando maior bem-estar para a sua população. Contudo, a indústria de cimento e seu processo de produção são intensivos na emissão de gases de efeito estufa representando, aproximadamente, 7% de toda a emissão antropogênica de gás carbônico no mundo.<sup>1</sup> No Brasil, esse subsetor contribuiu com um percentual de 24,9% das emissões no

---

<sup>1</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

setor de processos industriais em 2016, sendo um dos principais emissores do setor junto com a siderurgia (Figura 1).<sup>2</sup>

**Figura 1:** Emissões do setor Processos Industriais, de 1990 a 2016, em CO<sub>2</sub>eq.



Fonte: MCTI, 2016

A situação que o planeta está passando é gravíssima e necessita de medidas urgentes e imediatas, se quisermos alterar o futuro que nos espera. Nesse sentido, será analisado o papel da indústria do cimento brasileira frente ao cenário de uma economia de baixo carbono e redução das emissões no mundo, juntamente com a expectativa de aumento da demanda por infraestruturas e habitações nos próximos anos.

<sup>2</sup> BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa. Brasil. 5. ed. Brasília, 2020.

## 1.1. Motivação e Resultados Pretendidos

O debate acerca da sustentabilidade e da degradação ambiental vem sendo colocado cada vez mais em pauta na sociedade. Sua relevância é gigantesca não só para a economia, mas para o mundo inteiro. A transição para uma economia de baixo carbono é um tópico atual que promove diversos benefícios para o planeta e a humanidade, proporcionando um desenvolvimento econômico sem agredir o meio ambiente.

Diante desse cenário, o Brasil, provavelmente, é o país que pode realizar essa transição a mais baixo custo, podendo encontrar formas de desenvolvimento sustentável em suas florestas tropicais, matriz energética e infraestrutura. Tendo em vista que todos os países terão que incorrer em um custo de reduzir as emissões até zerá-las, esses três vetores citados colocam o Brasil em uma posição muito privilegiada, tendo vantagens comparativas e competitivas para realizar mudanças nesse contexto em uma velocidade maior com relação ao resto do mundo.<sup>3</sup>

Dessa forma, o estudo terá como objetivo avaliar o potencial e competitividade do setor de cimento brasileiro - setor fundamental tanto para combater a crise climática, quanto para a melhoria de nossa infraestrutura e para o desenvolvimento socioeconômico – na presença de uma migração para a descarbonização mundial. Além disso, serão analisados seus prós e contras com o intuito de observar se a mesma é capaz de atingir a meta de carbono zero até 2050, estando em linha com a meta proposta no Acordo de Paris de manter um aquecimento planetário bem abaixo de 2°C até 2100.

---

<sup>3</sup> Vianna, S. B.; da Veiga, J. E. & Abranches, S. A sustentabilidade do Brasil. Giambiagi & Barros (orgs.) Brasil Pós-Crise, Agenda para a próxima década. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 305-324, 2009. Acesso em: 23 abr. 2021.

## 2. METODOLOGIA E FONTE DE DADOS

O presente trabalho conta com uma pesquisa bibliográfica e qualitativa-quantitativa acerca do tema em questão, onde serão utilizados livros, notícias de jornais e revistas, relatórios, artigos e outras publicações relevantes sobre a indústria brasileira do cimento, o Acordo de Paris e a economia de baixo carbono.

Para possibilitar tais análises, esse trabalho utilizará como base os relatórios divulgados pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) como o “Fifth Assessment Report (AR5)” e o “Aquecimento Global de 1,5°C”, além de relatórios e notícias divulgados pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) para comprovar a urgência de uma transição para baixo carbono e os impactos gerados pelo aumento da temperatura global. Além disso, será utilizado o relatório “Roadmap Tecnológico Do Cimento - Brasil”, realizado pela indústria de cimento brasileira em parceria com a Agência Internacional de Energia (IEA), a Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (CSI) e a Corporação Financeira Internacional (IFC) do Banco Mundial, com o intuito de analisar as alternativas para a redução nas emissões de carbono na indústria de cimento nacional.

Assim, os primeiros capítulos desta monografia abordarão os problemas e impactos advindos das mudanças climáticas, além de demonstrar como o mundo está atrasado no cumprimento das metas estipuladas no Acordo de Paris e na redução das emissões. Em seguida, será exposto o panorama da indústria de cimento brasileira, juntamente com a descrição de seu processo produtivo e a identificação das maiores fontes emissoras dentro do setor. Por fim, serão discutidas alternativas para atingir uma redução das emissões de carbono nesta indústria.

### 3. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A humanidade passou por diversos processos de desenvolvimento ao longo do tempo relacionados ao crescimento econômico que tiveram impacto tanto direto, quanto indireto sobre o meio ambiente e os ecossistemas. De acordo com o relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas), realizado em 2014, a intervenção humana na variação do clima é nítida, além de ser a principal responsável pelas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera - que vêm aumentando desde a era pré-industrial - e, conseqüentemente, pelo aquecimento global.<sup>4</sup>

O artigo “Limites Para um Planeta Sustentável” de Jonathan A. Foley aborda uma pesquisa realizada por um conjunto de cientistas liderado pelo Centro de Resiliência de Estocolmo, onde são definidos nove limites ambientais que, caso sejam ultrapassados, irão desencadear impactos ambientais severos e arruinar a sustentabilidade do planeta. É ressaltado no texto que entre todas essas fronteiras, três já foram ultrapassadas, sendo elas: as mudanças climáticas, perda de biodiversidade e mudanças no ciclo de nitrogênio.<sup>5</sup> Diante disso, é evidente a enorme necessidade de um esforço mundial para tentarmos reverter essa situação, que já é catastrófica, além de não ultrapassar mais nenhum desses limites planetários.

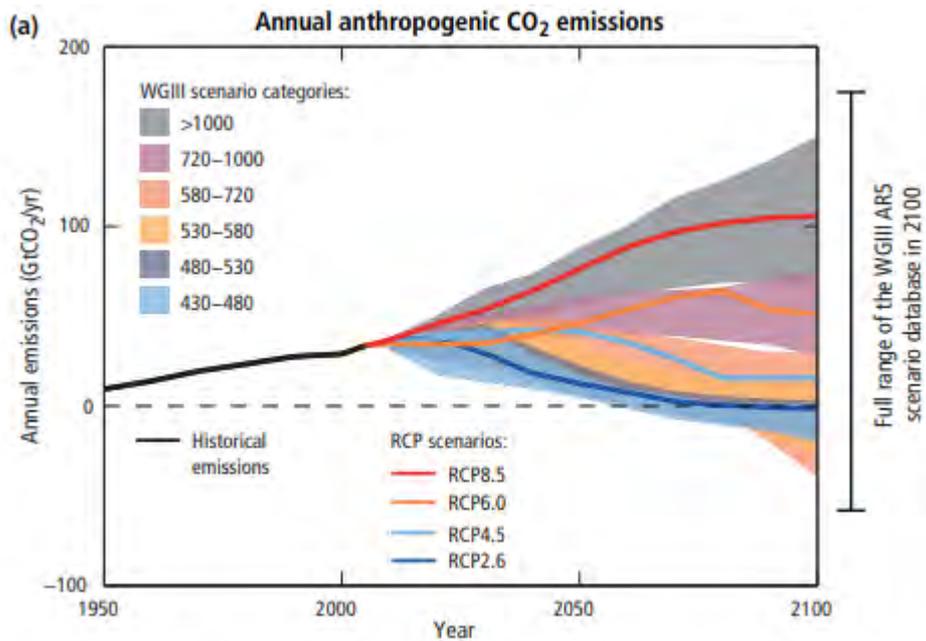
Os impactos das mudanças climáticas estão cada vez mais preocupantes, principalmente quando se diz respeito à velocidade em que estão acontecendo. Frente a essa questão, o IPCC elaborou, em seu relatório de 2014, quatro cenários futuros potenciais para as emissões e concentrações de dióxido de carbono na atmosfera até 2100 (Figura 2).

---

<sup>4</sup> Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2014. Acesso em: 24 jun. 2021.

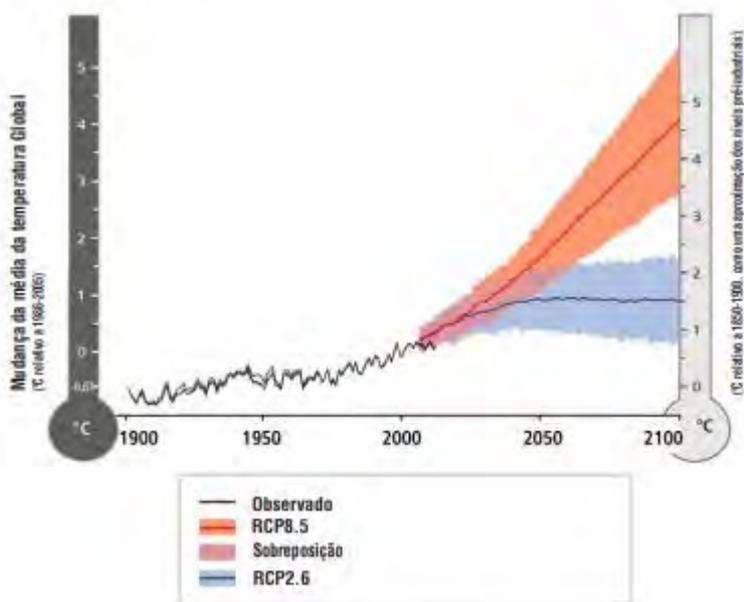
<sup>5</sup> FOLEY, A. Jonathan, “Limites para um planeta sustentável” Scientific American Brasil

**Figura 2:** Projeções de emissões de CO<sub>2</sub>



Fonte: IPCC, 2014

**Figura 3:** Projeções de Aumento da Temperatura Global

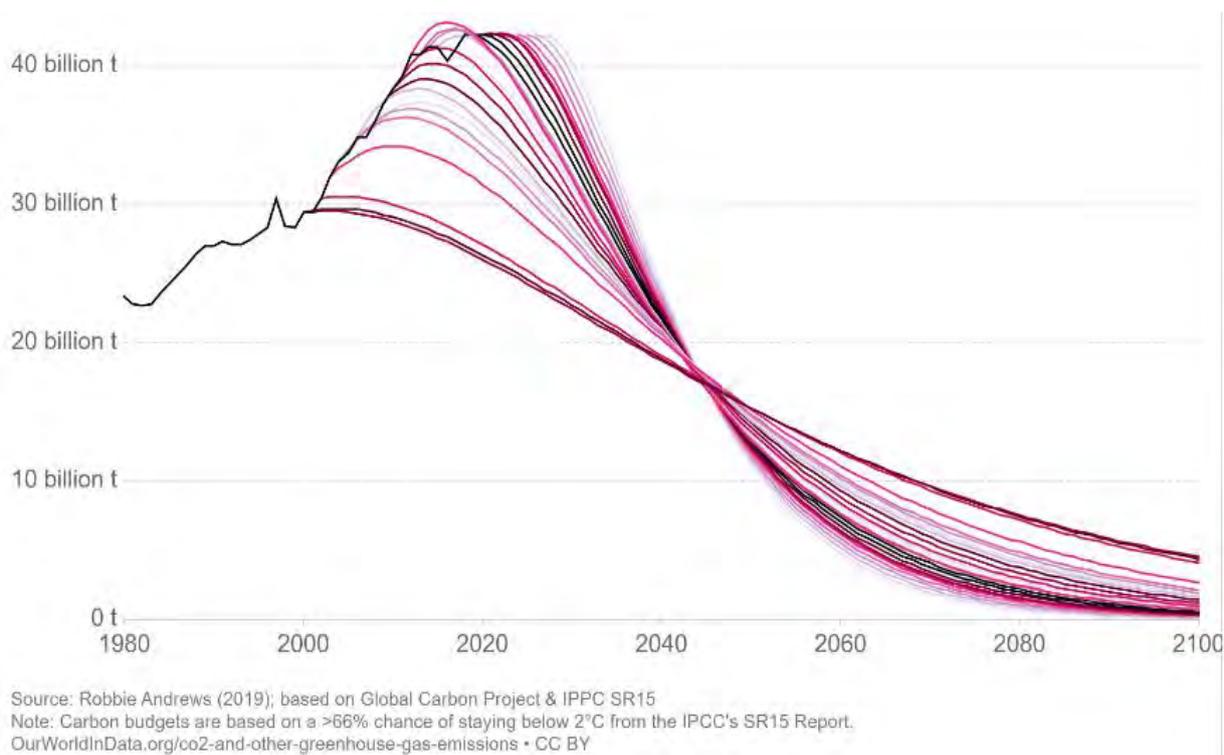


Fonte: IPCC, 2014

Focando nas duas trajetórias extremas observadas acima (Figura 3), temos a representação de um cenário catastrófico com altas emissões (RCP8.5), onde nenhuma política climática vigente atualmente seria implementada, causando impactos gigantescos para a humanidade e uma elevação na temperatura terrestre de mais de 4°C. Por outro lado, temos o cenário ideal (RCP2.6) de baixas emissões de carbono com o cumprimento das metas do Acordo de Paris e limitando o aumento de temperatura em 1.5°C.

Contudo, somente o cenário atual não será suficiente para atingirmos uma temperatura controlada em 1.5°C ao final do século. Segundo o relatório do IPCC “Aquecimento Global de 1,5°C” de 2018, se continuarmos nesse ritmo, o aquecimento global chegará a 1.5°C entre 2030 e 2052. Ainda sobre esse relatório, vale ressaltar que a diferença de 0.5°C entre 1.5°C e 2°C é significativa, tendo riscos maiores para esse aumento da temperatura, como chuvas mais intensas, secas, inundações, ciclones, entre outros (IPCC, 2018). Além disso, de acordo com o “Emissions Gap Report 2020”, mesmo cumprindo totalmente as metas do Acordo de Paris, ainda estaríamos caminhando para um cenário de aumento na temperatura em 3.2°C até o final do século XXI. Para que haja alguma chance de alcançarmos essa temperatura até 2100, é necessário tomar decisões urgentes e imediatas de redução no ritmo das emissões globais.

**Figura 4:** Curvas de Mitigação de CO2 Para o Cenário 2°C



Fonte: Our World In Data, 2019

A figura 4 acima, retirada do website *Our World In Data*, reforça essa urgência na velocidade da diminuição das emissões no mundo. Nela, são considerados diversos caminhos de redução das emissões - representados por cada linha - que seriam necessários caso essas emissões tivessem atingido seu pico e iniciado a mitigação em determinado ano para manter o aquecimento global abaixo de 2°C.

Assim, se as emissões globais tivessem alcançado seu pico no ano 2000, a taxa de redução seria em torno de apenas 1 a 2% ao ano, enquanto que se as emissões atingirem seu máximo e começarem a reduzir após 2030, será necessária uma redução de 7% ao ano para limitar o aumento de temperatura abaixo de 2°C até o fim do século.<sup>6</sup> Dessa forma, fica claro que quanto mais tempo demorarmos para agir, maiores serão os custos de adaptação e maiores serão os impactos gerados no meio ambiente, além de se fazer necessária uma redução muito mais brusca das emissões para compensar o começo lento na transição para zero carbono.

O aumento nas temperaturas globais por conta das emissões de gases de efeito estufa é indubitável, porém, ainda existe um certo negacionismo e um olhar menos acentuado para a rapidez necessária para combater essa situação problemática por conta dos interesses econômicos. Ainda existem muitos investimentos em fósseis no mundo e isso traz uma insegurança enorme no mercado financeiro, dado que os ativos valorados hoje nos balanços, em combustíveis fósseis, poderão perder o seu valor em um piscar de olhos, diante da iminência de abandonarmos esse mundo e caminharmos em direção a uma matriz energética renovável.

Contudo, a maior frequência dos eventos climáticos extremos e seus prejuízos já começaram a impactar de uma forma muito mais ampla e interessada a opinião pública. A precificação do risco climático no valor dos ativos financeiros, já começou a chamar a atenção de empresas e investidores ao redor do mundo que estão cada vez mais interessados em manter uma carteira de investimentos sustentável.

Para ratificar esse ponto, trago o exemplo da BlackRock, maior empresa de gestão de ativos no mundo atualmente. O CEO, Larry Fink, em sua carta de 2021, destinada aos CEOs das empresas sob sua gestão, destaca que a pandemia da COVID-19 acelerou a realocação de capital em ativos sustentáveis e, ainda, ressalta a importância de se construir um portfólio sustentável com consciência climática, apoiando os padrões ESG (Environmental, Social and

---

<sup>6</sup> HAUSFATHER, Z. UNEP: 1.5C Climate Target 'Slipping out of Reach'. Carbon Brief, 2019. Acesso em: 25 jun. 2021.

Corporate Governance).<sup>7</sup> Assim, é evidente que grandes investidores estão começando a dar a devida importância às mudanças climáticas, considerando o risco climático na hora de montar seus investimentos.

Levando em consideração todo o conteúdo exposto acima e a situação que estamos vivendo atualmente, as mudanças climáticas estão sendo cada vez mais rápidas e suas consequências cada vez mais próximas da irreversibilidade. Já estamos em 2021 e a situação aparenta só piorar, sem nenhuma melhora nas reduções até agora, onde a necessidade de transição para uma economia de baixo carbono fica ainda mais evidente. Estamos completamente atrasados e a cada ano que passa, a velocidade necessária para essa transição e para tentar atingir a meta do Acordo de Paris fica cada vez maior, sendo de extrema importância a implementação de medidas mais drásticas e imediatas para haver alguma chance de evitar os piores cenários de aquecimento global.

---

<sup>7</sup> FINK, Larry. 2021 Letter to CEOs BlackRock. Acesso em: 28 jun. 2021.

## 4. CONTRIBUIÇÕES NACIONALMENTE DETERMINADAS

Durante a 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas (UNFCCC), realizada na França em novembro de 2015, foi firmado o acordo internacional entre 195 países, mais conhecido como o Acordo de Paris, que, por meio de metas estabelecidas, tem como propósito a mitigação das mudanças climáticas e do aquecimento global. Seu principal objetivo é a redução das emissões de gases de efeito estufa a fim de manter a temperatura bem abaixo de 2°C, esforçando-se para limitar o aquecimento em 1,5°C até o final do século (ONU, 2015). Sendo assim, todos os países signatários se comprometeram em apresentar suas iniciativas e estratégias nacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e se adaptar aos impactos gerados pela alteração no clima, com o intuito de cumprir conjuntamente esse objetivo principal e as demais metas estipuladas no acordo. Tais ações construídas por cada país ficaram conhecidas como Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, sigla em inglês) que deverão ser comunicadas em um intervalo de cinco em cinco anos à UNFCCC, buscando refletir cada vez mais progresso em relação à anterior.

O Brasil foi um dos países que assinou o Acordo de Paris e ratificou-o em 2016. Os compromissos estabelecidos pelo governo brasileiro em sua NDC foram a redução das emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e 43% até 2030 com relação aos níveis de 2005, tendo como base o Segundo Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (BRASIL, 2016).

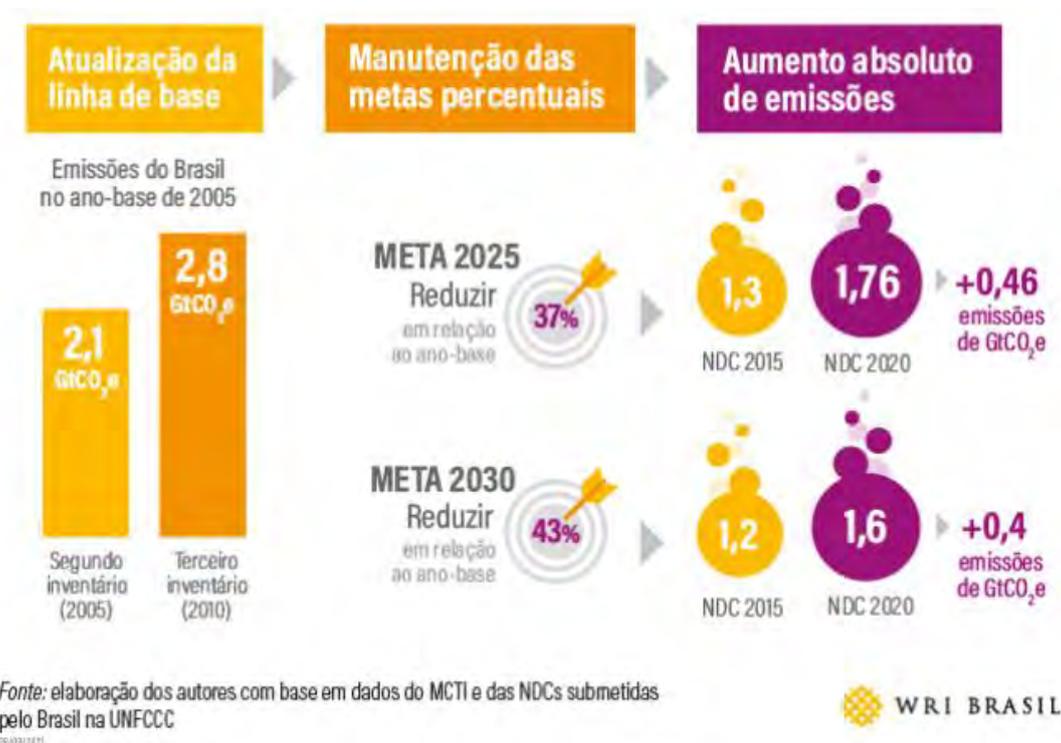
Em dezembro de 2020, o Brasil entregou sua nova NDC e manteve as metas definidas anteriormente para 2025 e 2030 ainda com base nos níveis de 2005. Contudo, isso refletiu uma redução de ambição com relação a primeira NDC apresentada pelo país em 2015. Segundo o Observatório do Clima (OC), por conta de um ajuste metodológico no Terceiro Inventário Nacional, publicado entre a primeira e a nova NDC brasileira, as emissões do ano-base de 2005 foram de 2,1 bilhões de toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO<sub>2</sub>e) para 2,8 GtCO<sub>2</sub>e. Dessa forma, as emissões líquidas que antes correspondiam a 1,3 GtCO<sub>2</sub>e e 1,2 GtCO<sub>2</sub>e em 2025 e 2030, respectivamente, agora passariam para 1,8 GtCO<sub>2</sub>e e 1,6 GtCO<sub>2</sub>e, caso fossem mantidos os mesmos percentuais de redução<sup>8</sup> (Figura 5). Assim, para que fosse alcançado o mesmo nível da meta de 2015, a nova NDC deveria apresentar uma redução de 57% das

---

<sup>8</sup> NDC e “pedalada” de carbono: como o Brasil reduziu a ambição de suas metas no Acordo de Paris. Observatório do Clima, 2020. Acesso em: 8 de set. 2021.

emissões em 2030.<sup>9</sup> Além disso, para ser capaz de atingir o limite de 1,5°C, as emissões líquidas brasileiras em 2030 deveriam ser de 0,4 GtCO<sub>2</sub>e.<sup>10</sup>

**Figura 5:** Comparação NDC 2015 e NDC 2020 Brasil



Fonte: WRI Brasil, 2021

Contudo, não é somente o Brasil que está com metas pouco ambiciosas para o alcance do Acordo de Paris e do objetivo de limitar a temperatura planetária em 1,5°C. Para que seja possível manter o aquecimento global em 1,5°C, as emissões líquidas globais de gases de efeito estufa precisam ser reduzidas em, aproximadamente, 45% em 2030, com relação aos índices de 2010, e zeradas até 2050.<sup>11</sup> De acordo com o relatório de síntese das NDCs publicado em setembro de 2021 pela UNFCCC, o total global de emissões de GEE, levando em conta as últimas NDCs submetidas de todas as Partes, seria cerca de 54,8 GtCO<sub>2</sub>e em 2025 e 55,1 GtCO<sub>2</sub>e em 2030, sendo 15,8% e 16,3% acima dos níveis de 2010, respectivamente. Isso levaria a um aumento de, aproximadamente, 2,7°C na temperatura até o final do século caso nenhuma medida seja tomada imediatamente (UNFCCC, 2021).

<sup>9</sup> NDC e “pedalada” de carbono: como o Brasil reduziu a ambição de suas metas no Acordo de Paris. Observatório do Clima, 2020. Acesso em: 8 set. 2021.

<sup>10</sup> Bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil. Observatório do Clima, 2020. Acesso em: 8 set. 2021.

<sup>11</sup> Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). Summary for Policymakers: Special Report on Global Warming of 1.5°C. IPCC, 2018. Acesso em: 25 jun. 2021.

Ademais, segundo o “Emissions Gap Report 2020”, para conter a temperatura abaixo de 2°C seria necessário reduzir as emissões globais em cerca de 41 GtCO<sub>2</sub>e e para mantê-la abaixo de 1,5°C as emissões deveriam se limitar em 25 GtCO<sub>2</sub>e, ambos os cenários para 2030. Todavia, atualmente, o mundo se encontra em uma situação alarmante, onde somente com as políticas vigentes, as emissões alcançariam um nível de 60 GtCO<sub>2</sub>e em 2030.<sup>12</sup>

A UNFCCC assegura que é de extrema importância o trabalho conjunto de todas as nações para que possamos alcançar os cenários ideais de temperatura no final do século, fato ressaltado nas falas dos presidentes da COP 25 e COP 26.

Parabenizo os países que se esforçaram para alinhar seus novos NDCs com o que a ciência nos pede. Mas esse esforço deve ser feito por todas as partes. Faço um apelo explícito especialmente aos principais emissores para que cumpram os seus compromissos para que juntos possamos evitar que a temperatura suba mais de 1,5. O relatório do IPCC nos mostra que podemos alcançá-lo, mas apenas se todos trabalharmos decisivamente na mesma direção. Carolina Schmidt, Presidente da COP 25 (traduzido).<sup>13</sup>

Este relatório é claro: uma ação climática ambiciosa pode evitar os efeitos mais devastadores da mudança climática, mas somente se todas as nações agirem juntas. As nações que apresentaram novos e ambiciosos planos climáticos já estão dobrando a curva das emissões para baixo até 2030. Mas sem a ação de todos os países, especialmente das maiores economias, esses esforços correm o risco de ser em vão. Podemos mudar o curso da história para melhor. Podemos e devemos atuar, por nós mesmos, pelas comunidades vulneráveis e pelas gerações futuras. Alok Sharma, novo presidente da COP26 (traduzido).<sup>14</sup>

A Instituição afirma que as metas climáticas atuais, em conjunto, das nações signatárias não são suficientes para cumprir as metas do Acordo de Paris, mostrando que há a enorme necessidade da elaboração de metas mais arrojadas e ambiciosas para 2030 o quanto antes.

---

<sup>12</sup> United Nations Environment Programme (UNEP). Emissions Gap Report 2020. Acesso em: 25 jun. 2021.

<sup>13</sup> FULL NDC Synthesis Report: Some Progress, but Still a Big Concern. United Nations Climate Change 2021. Acesso em: 17 set. 2021.

<sup>14</sup> FULL NDC Synthesis Report: Some Progress, but Still a Big Concern. United Nations Climate Change 2021. Acesso em: 17 set. 2021.

## 5. A INDÚSTRIA DE CIMENTO BRASILEIRA

O cimento é um elemento crucial para o desenvolvimento da construção civil e do concreto, material mais utilizado no planeta depois da água (SNIC, 2019). Basta olhar à nossa volta para perceber que está presente em diversos momentos do nosso cotidiano. Não é à toa que mais de 4 bilhões de toneladas de cimento são produzidas todos os anos em escala global.<sup>15</sup> Apenas no ano de 2019, foram produzidas 4,2 bilhões de toneladas de cimento no mundo<sup>16</sup> e, desse valor, 56,6 milhões de toneladas foram no Brasil.<sup>17</sup> Além disso, nesse mesmo ano, a indústria de cimento nacional empregou 19 mil trabalhadores, sendo formada por 93 fábricas ao redor de todo o Brasil (SNIC, 2019).

Todavia, apesar de ser um produto imprescindível para a vida moderna, o cimento e seu processo produtivo causam impactos significativos para o meio ambiente por meio, principalmente, da emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e do elevado consumo energético.

### 5.1. Emissão de CO<sub>2</sub>

A indústria de cimento é responsável por cerca de 7% do total das emissões de CO<sub>2</sub> em todo o planeta, sendo um dos maiores emissores industriais. No Brasil, o nível de emissões corresponde a aproximadamente 1/3 da média mundial, representando 2,6%, um dos menores índices globais, devido a algumas medidas tomadas pela indústria nacional para enfrentar a descarbonização<sup>18</sup> (Figura 6).

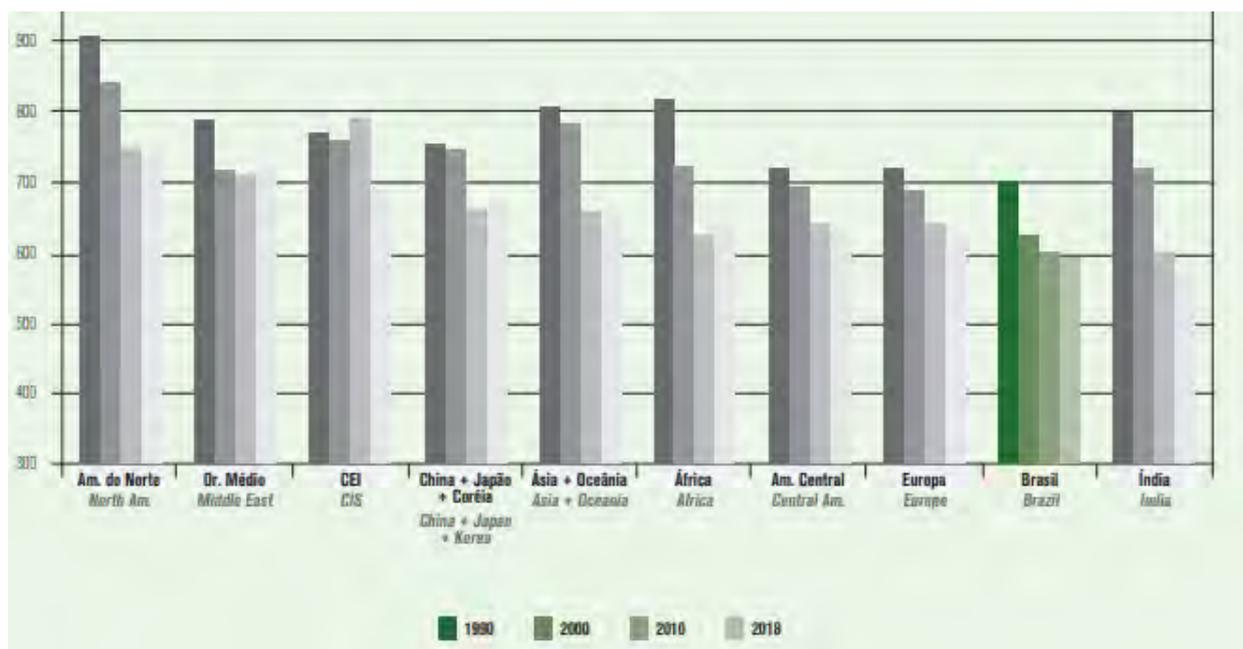
---

<sup>15</sup> MAKING Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Chatham House, 2018. Acesso em: 19 set. 2021.

<sup>16</sup> International Energy Agency (IEA), Cement. Paris, 2021. Acesso em: 19 set. 2021.

<sup>17</sup> Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Acesso em: 19 set. 2021.

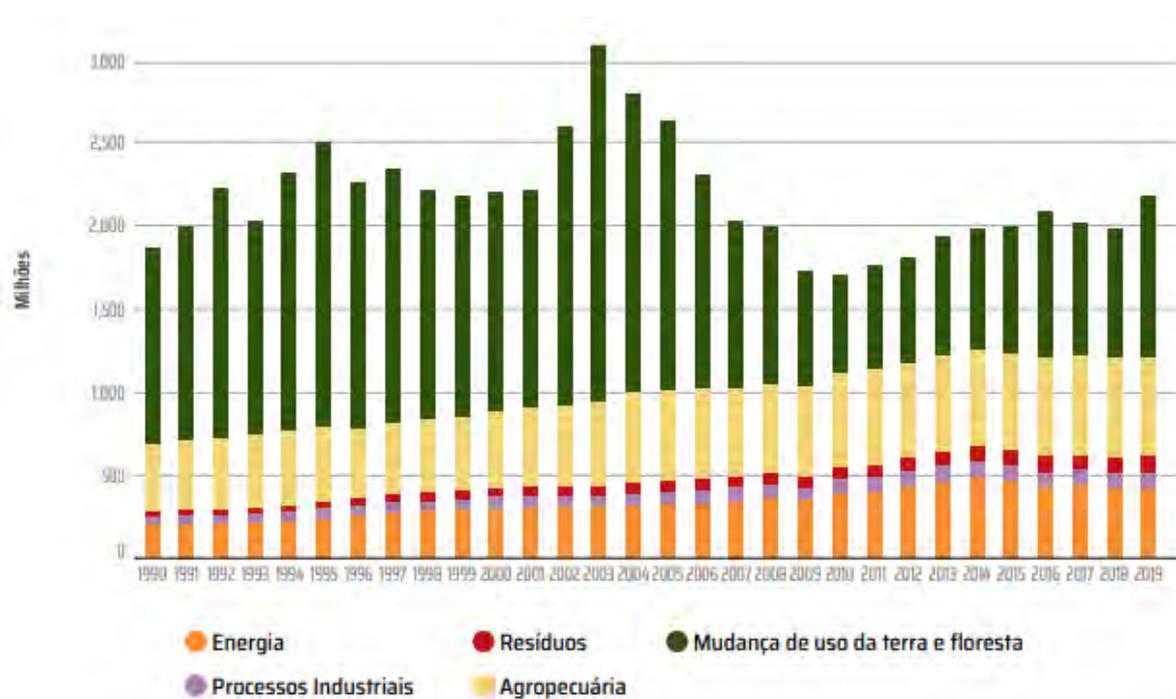
<sup>18</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

**Figura 6:** Emissão específica de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento (Kg CO<sub>2</sub>/ t cimento)

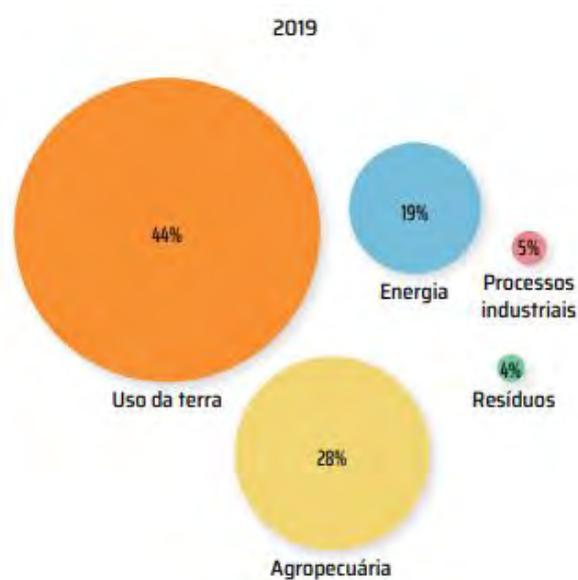
Fonte: GCCA; SNIC, 2019

Contudo, vale ressaltar que o Brasil é o 6º maior emissor de gases de efeito estufa no mundo e suas emissões são fundamentalmente decorrentes do setor de Mudanças de Uso da Terra e Florestas, muito impactado pela aceleração do desmatamento na Amazônia e que lançou na atmosfera uma quantidade de 968 MtCO<sub>2</sub>e em 2019, representando 44% do total nacional emitido naquele ano.<sup>19</sup> De acordo com o Documento Analítico SEEG 8 (1990 – 2019), a participação do setor de processos industriais nas emissões brutas nacionais foi de 5% em 2019, o que correspondeu a uma quantidade de 99 MtCO<sub>2</sub>e. Dessa forma, visto o peso que o desmatamento e as mudanças de uso da terra possuem sobre as emissões brasileiras, o setor de processos industriais e, conseqüentemente, o subsector de cimento, acabam apresentando menores índices quando comparados com o resto do mundo.

<sup>19</sup> SEEG 8 - Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas De Clima Do Brasil 1970-2019. Observatório do Clima, 2020. Acesso em: 3 out. 2021.

**Figura 7:** Emissões de gases de efeito estufa do Brasil de 1990 a 2019 (MtCO<sub>2</sub>e)

Fonte: SEEG, 2020

**Figura 8:** Participação dos setores no perfil das emissões brasileiras

Fonte: SEEG, 2020

Além disso, a demanda por cimento nos últimos anos sofreu significativa queda no Brasil e seu consumo per capita em 2019 estava na faixa de 261 kg/hab/ano, bem abaixo da média mundial, onde esse consumo se encontrava em um patamar de, aproximadamente, 500 kg/hab/ano.<sup>20</sup> Portanto, com a retomada da demanda por cimento, influenciada pela maior necessidade de infraestrutura e habitação, a tendência é de um aumento na produção e, conseqüentemente, nas emissões desse setor nos próximos anos.

Segundo o Relatório Anual de 2019, elaborado pelo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), durante o período de 1990 a 2018, o setor de cimento obteve uma redução de 700 kg CO<sub>2</sub>/ t cimento para 590 kg CO<sub>2</sub>/ t cimento em suas emissões de carbono, o que corresponde a uma queda de 16%. Contudo, ainda serão necessários maiores esforços no setor para mitigá-las cada vez mais e alcançar uma transição para baixo carbono junto com os melhores cenários de temperatura global.

## 5.2. Processo de Produção

A produção de cimento é responsável pela maior parte das emissões de dióxido de carbono decorrentes do setor, especialmente por conta das etapas necessárias para a geração de clínquer, componente principal do cimento.

O processo se inicia com a extração de matérias-primas como o calcário e a argila que, após a trituração e pré-homogeneização, são moídos e misturados junto de outros materiais aditivos, como minério de ferro e areia, formando o que é chamado de “farinha crua”. Essa, por sua vez, é pré-aquecida em torres de ciclones localizadas acima dos fornos rotativos das fábricas, dando início à etapa de pré-calcinação. Em seguida, a farinha, já com uma temperatura de aproximadamente 800°C, é introduzida aos fornos, onde atinge uma temperatura de 1.450°C e, devido ao intenso calor, passa por transformações físico-químicas para dar origem ao clínquer.<sup>21</sup> A calcinação é uma dessas transformações e corresponde à reação química da descarbonatação do calcário (CaCO<sub>3</sub>), dividindo-se em óxido de cálcio (CaO) e dióxido de

---

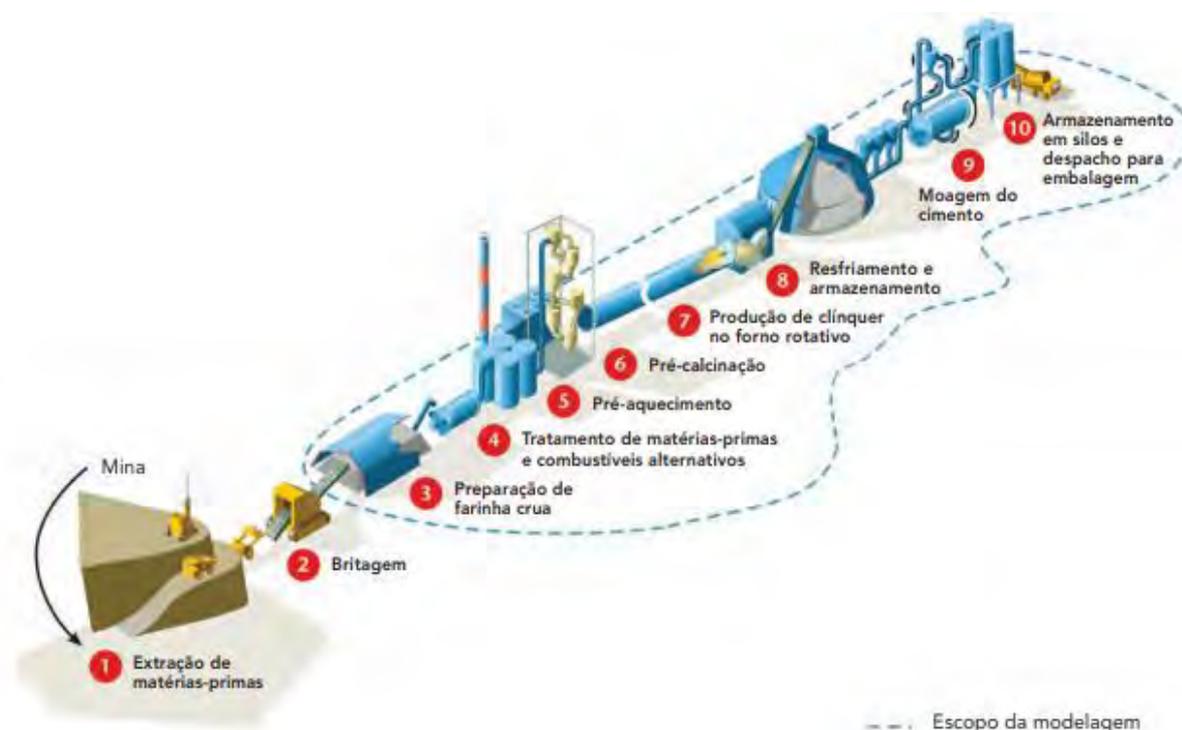
<sup>20</sup> Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Acesso em: 19 set. 2021.

<sup>21</sup> Confederação Nacional da Indústria - CNI. Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC. Indústria Brasileira de Cimento: Base Para a Construção do Desenvolvimento. Brasília: CNI, 2017. 60 p. Acesso em: 10 out. 2021.

carbono (CO<sub>2</sub>).<sup>22</sup> Após essa etapa, o clínquer formado é resfriado e misturado com gesso, podendo conter outras adições como escória siderúrgica, calcário e pozolana, o que dá origem a diferentes especificidades de cimento. A mistura é então moída e se transforma em cimento que, por fim, é ensacado e já está pronto para a comercialização.

Vale ressaltar que existem dois tipos de processos produtivos: via seca e via úmida. O processo via úmida mistura a matéria-prima com água na etapa de homogeneização e consome uma enorme quantidade de energia para realizar a evaporação da água previamente adicionada. O processo via seca é mais eficiente com um menor consumo energético, já que como não há adição de água, a mistura fica menos tempo dentro dos fornos de alta temperatura, economizando combustíveis. Esse processo é atualmente o mais utilizado nas indústrias brasileiras e a figura abaixo apresenta um esquema do processo produtivo de cimento via seca.

**Figura 9:** Esquema da Fabricação de Cimento



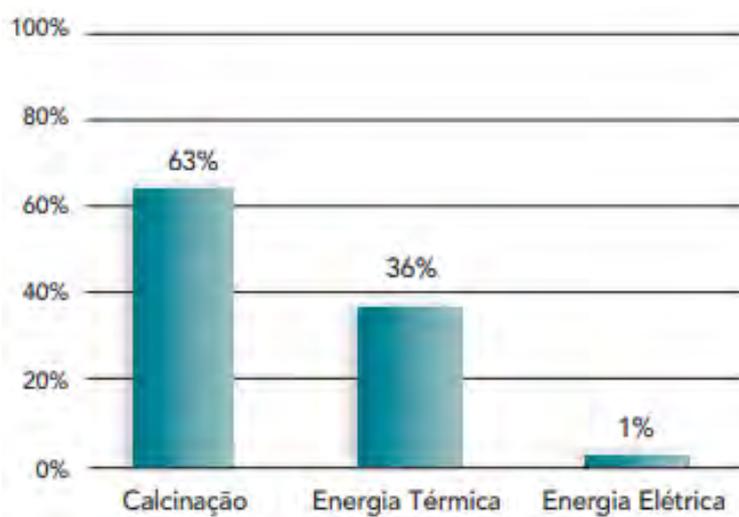
Fonte: SNIC, 2019

<sup>22</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

O processo produtivo demanda uma alta quantidade de energia e a etapa de fabricação do clínquer é a maior fonte emissora de CO<sub>2</sub>, por meio da calcinação e da queima de combustíveis no interior dos fornos para aquecê-los.

A calcinação libera dióxido de carbono para formar cal (CaO) através do aquecimento e decomposição do calcário e, geralmente, é responsável por 60% a 70% das emissões diretas do setor, juntamente com a queima de combustíveis fósseis, como o coque de petróleo, que representa os 30% a 40% restantes, enquanto outros 5% são advindos de forma indireta do consumo de energia elétrica ao longo do processo.<sup>23</sup> No caso do Brasil, cada um desses percentuais pode ser observado na figura abaixo.

**Figura 10:** Emissões de CO<sub>2</sub> da Produção de Cimento Brasileira



Fonte: SNIC, 2019

Dessa forma, fica claro que a calcinação da matéria-prima responde por mais da metade das emissões provenientes do setor. Além disso, vale ressaltar que por conta de sua matriz elétrica renovável, o Brasil possui um menor percentual com relação ao resto do mundo na emissão de energia elétrica necessária para alimentar as máquinas de moagem e os fornos rotativos durante o processo.

<sup>23</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

## 6. ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DE CO<sub>2</sub> NO SETOR

Segundo a Associação Global de Cimento e Concreto (GCCA, sigla em inglês), estima-se que, até 2050, a população mundial crescerá para, aproximadamente, 10 bilhões de habitantes, onde 68% viverão em áreas urbanas. Conseqüentemente, a demanda por infraestrutura e habitação sofrerá um aumento significativo nos próximos anos. O cimento é essencial para atender tais necessidades, sendo o centro para a construção de moradias, hospitais, redes de transportes, saneamento, entre outros, a fim de acompanhar o crescimento populacional e gerar maior qualidade de vida para a sociedade. Com isso, a produção de cimento global se elevará entre 12% a 23%, acima dos níveis de 2014, até 2050.<sup>24</sup>

O Brasil, sendo um país em desenvolvimento, possui uma infraestrutura pouco competitiva, fazendo com que seja necessária uma reforma da mesma o quanto antes. Somado a isso, é o oitavo maior produtor de cimento no mundo atualmente.<sup>25</sup> Diante desse cenário, a indústria de cimento brasileira se depara com um importante desafio que deverá encarar nas próximas décadas: conciliar o crescimento da produção e demanda por cimento necessários para o desenvolvimento do país com a redução das emissões de gases de efeito estufa nesse setor e os impactos gerados por eles no meio ambiente.

Para que seja possível vencer tal desafio, a indústria nacional de cimento desenvolveu juntamente com a Agência Internacional de Energia (IEA), a Iniciativa de Sustentabilidade do Cimento (CSI) e a Corporação Financeira Internacional (IFC) do Banco Mundial, o relatório “Roadmap Tecnológico Do Cimento”, apresentando algumas alternativas para alcançar uma redução significativa de suas emissões e estimular a transição para o baixo carbono. Tais medidas serão discutidas ao longo desse capítulo e estão concentradas em quatro principais grupos: adições e matérias-primas alternativas, combustíveis alternativos, eficiência energética e tecnologias inovadoras e emergentes.

---

<sup>24</sup> TECHNOLOGY Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry. International Energy Agency (IEA); Cement Sustainability Initiative (CSI), 2018. Acesso em: 22 set. 2021.

<sup>25</sup> MAJOR countries in worldwide cement production from 2010 to 2020. Statista, 2021. Acesso: 23 set. 2021.

## 6.1. Adições e Substitutos de Clínquer

O clínquer, como visto anteriormente, é o principal elemento do cimento e seu processo de produção está diretamente ligado à emissão de dióxido de carbono. Em nível global, a produção de uma tonelada de clínquer gera de 700 a 1100 kg de CO<sub>2</sub><sup>26</sup> e aproximadamente 90% de toda emissão do setor é advinda de sua confecção, por meio da calcinação e queima de combustíveis para possibilitá-la, tornando-a extremamente poluente.

A produção de cimento com adições reduz a proporção de clínquer/cimento e gera diversos benefícios para essa indústria como maior resistência e durabilidade do concreto em comparação com o cimento sem adições, além de diversificar as características e especificidades do mesmo.<sup>27</sup> Somado a isso, a adição desses componentes ao clínquer reduz a emissão de carbono, visto que com uma menor porção de clínquer, haverá uma consequente redução na queima de combustíveis e na liberação de dióxido de carbono por meio da calcinação para produzi-lo.

Os principais materiais considerados como substitutos do clínquer são escória granulada de alto forno, cinzas volantes, argilas calcinadas e filer calcário. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o filer calcário e as argilas calcinadas tendem a ser melhores opções de adições para reduzir o percentual de clínquer no longo prazo. Isso porque a escória de alto forno é um subproduto obtido a partir da produção de ferro-gusa e as cinzas volantes são resíduos das termelétricas a carvão mineral, portanto, com o avanço tecnológico e a migração para uma economia de carbono zero, a disponibilidade e oferta de ambos os materiais pode vir a ser reduzida para suprir o aumento da produção de cimento no futuro. Além disso, o filer calcário possui maior disponibilidade, não necessita de calcinação e nem demanda grandes investimentos, fazendo com que seja a opção mais atraente para o setor.

Ainda de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, o Brasil possui anos de tradição em adições ao cimento e apresenta um dos menores índices da relação clínquer/cimento no mundo por conta da adoção dessa medida que se mostra a mais importante para o combate das emissões de carbono dentro do setor. Entre os anos de 1990 a 2018, a

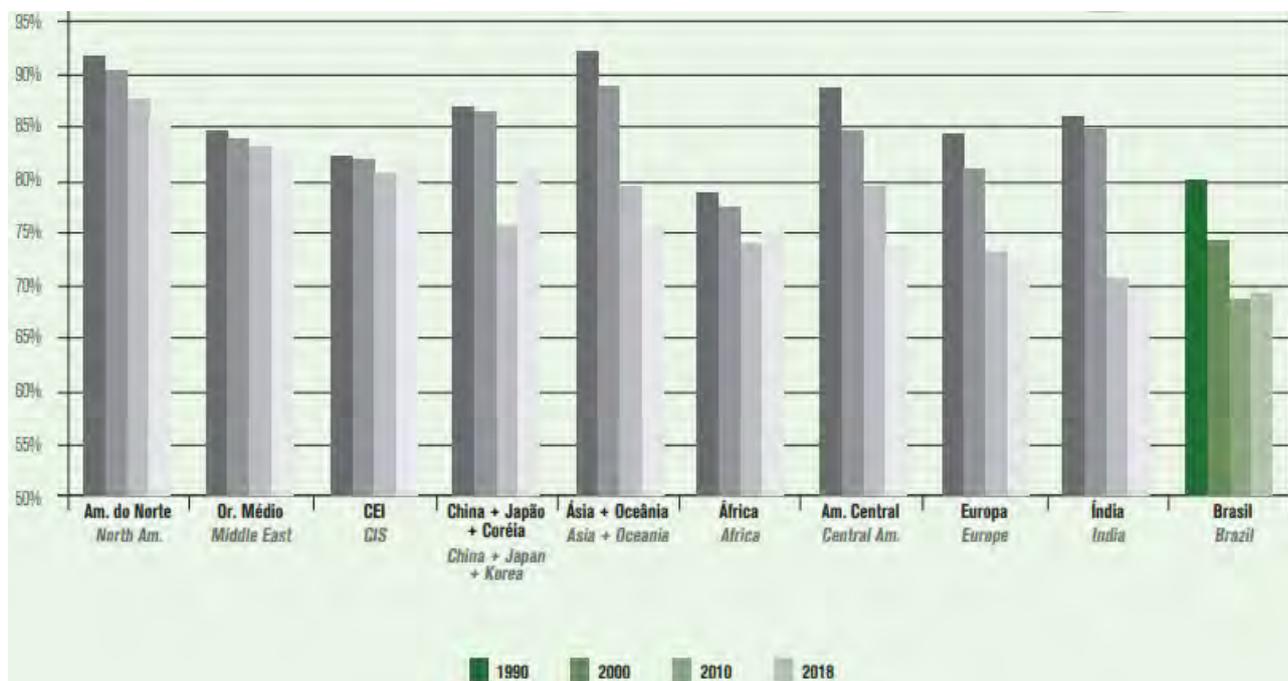
---

<sup>26</sup> FELIX, E. F; POSSAN, E. Balanço das Emissões e da Captura de CO<sub>2</sub> em Estruturas de Concreto: Simulação em Função do Consumo e Tipo de Cimento. 2018.

<sup>27</sup> BATTAGIN, A. F; SILVA, M. G. “Por que os cimentos com adições vieram para ficar?”. Estratégias para mitigação do CO<sub>2</sub> na cadeia produtiva do concreto, Revista IBRACON Concreto e Construções, Fortaleza, 95. ed. p. 33-39, jul /set 2019. Acesso em: 17 out. 2021.

indústria cimenteira nacional reduziu de 80% para 69% tal relação, sendo o país com maior utilização de adições.<sup>28</sup>

**Figura 11: Razão Clínquer / Cimento (%)**



Fonte: GCCA; SNIC, 2019

O estudo “Roadmap Tecnológico do Cimento” estima uma redução dos níveis atuais de clínquer para 59% em 2030 e 52% em 2050 acompanhado de um aumento nas adições, conseguindo evitar aproximadamente 290 Mt de CO2 de emissões cumulativas até 2050.

Dessa forma, fica evidente a extrema necessidade de aumentar o uso de adições ao cimento, já que quanto menor for a quantidade de clínquer na composição do cimento, menores serão as emissões relacionadas ao processo produtivo.

<sup>28</sup> Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Acesso em: 19 set. 2021.

## 6.2. Combustíveis Alternativos

Se faz necessário o consumo de uma enorme quantidade de energia para a realização do processo de produção do cimento. Conseqüentemente, essa indústria utiliza grande volume de combustíveis para viabilizar o aquecimento dos fornos e a geração de tal energia. Esses combustíveis, em sua maioria, ainda são de fontes não renováveis, sendo o coque de petróleo a principal fonte energética aplicada dentro do setor brasileiro atualmente. Com isso, diante da urgência de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, o uso de combustíveis alternativos com menor pegada de carbono ao longo do processo é crucial.

As principais fontes alternativas empregadas no setor são os resíduos e biomassas, diminuindo a presença de combustíveis fósseis na matriz energética. O coprocessamento, que consiste na fabricação de cimento junto com a queima de resíduos, é responsável pelo consumo de grande concentração de resíduos, reaproveitando a energia existente nos mesmos.<sup>29</sup> Além de ser um ótimo gestor energético desses materiais, o coprocessamento reduz a disposição indevida dos resíduos no interior dos aterros, diminuindo seus conseqüentes impactos ambientais. Os fornos presentes nessa indústria são capazes de queimar diferentes tipos de combustíveis e, nos dias de hoje, em torno de 60% das fábricas integradas de cimento dispõem de fornos licenciados para o coprocessamento de resíduos.<sup>30</sup> A tabela abaixo destaca alguns dos resíduos aplicados no setor, sendo os pneus inservíveis o principal tipo usado atualmente.

**Tabela 1:** Principais Tipos de Resíduos Utilizados Pela Indústria do Cimento

Resíduos oleosos	Pneus inservíveis
Solventes	Resíduos de fábricas de borracha
Graxas	Lama de processos químicos
Resíduos têxteis	Fundos de destilação
Resíduos plásticos	Lama de esgoto municipal
Serragem	Farinha e ossos de animais
Resíduos de fábricas de papel	Grãos de validade vencida

Fonte: Elaboração Própria; SNIC, 2019

<sup>29</sup> Confederação Nacional da Indústria - CNI. Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC. Indústria Brasileira de Cimento: Base Para a Construção do Desenvolvimento. Brasília: CNI, 2017. 60 p. Acesso em: 10 out. 2021.

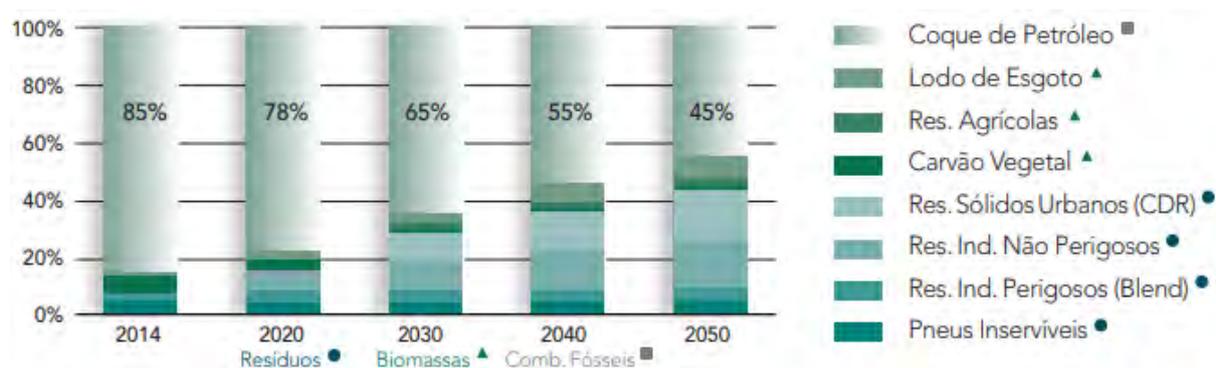
<sup>30</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

Vale destacar que além de uma menor disponibilidade, a utilização de combustíveis alternativos na indústria nacional de cimento pode enfrentar limitações tecnológicas e regionais, elevados custos e certas diferenças técnicas entre os combustíveis tradicionais, como possuir um menor poder calorífico.

De acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, a disponibilidade de pneus inservíveis tende a reduzir nos próximos anos por conta de novos métodos de aplicação para a reciclagem e obras civis. Sendo assim, as melhores alternativas para o futuro seriam os combustíveis derivados de resíduos não perigosos e resíduos sólidos urbanos, que devem apresentar maior disponibilidade por conta de uma potencial redução de aterros e da disposição inapropriada nos mesmos.

No que diz respeito às biomassas, os resíduos do carvão vegetal, derivados das usinas de ferro gusa, são os mais utilizados atualmente como combustíveis na indústria cimenteira nacional. Entretanto, em razão da indisponibilidade prevista para essa fonte em 2030, devido ao aumento tecnológico dos processos e da competitividade global encarada pelo setor siderúrgico, os resíduos da agroindústria e o lodo de esgoto tornam-se possíveis alternativas.

**Figura 12:** Evolução da Utilização de Combustíveis Alternativos



Fonte: IEA; SNIC, 2019

O setor nacional alcançou, no ano de 2018, um percentual de 20% na utilização de combustíveis alternativos em sua matriz energética, queimando aproximadamente 1,5 Mt de resíduos e biomassas.<sup>31</sup> Contudo, o Brasil ainda possui níveis bem baixos quando comparado a outros países, em especial os países europeus que atualmente possuem uma taxa acima de 45%. Dessa forma, fica clara a necessidade de medidas mais arrojadas e maiores alternativas

<sup>31</sup> Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Acesso em: 19 set. 2021.

na substituição dos combustíveis fósseis dentro do setor. Diante desse cenário, o relatório do “Roadmap Tecnológico do Cimento” prevê que deverá haver um aumento de 35% no uso de fontes alternativas até 2030 e de 55% em 2050 para alcançar uma temperatura de 2°C, sendo capaz de reduzir cumulativamente cerca de 55 Mt de CO<sub>2</sub> até 2050.

### 6.3. Eficiência Energética

O processo de fabricação do cimento exige um alto teor de energia térmica e elétrica, fazendo com que esteja entre os cinco setores mais intensivos em energia globalmente.<sup>32</sup> Tendo em vista esse intenso consumo e as crises energéticas do petróleo na década de 1970, a indústria nacional de cimento, já nessa época, começou a exercer condutas para reduzir tal consumo e aprimorar sua eficiência energética.

Uma dessas medidas foi a alteração dos processos produtivos via-úmida para os processos via-seca. Atualmente, o processo via-seca representa 99% da produção de cimento no país, sendo mais eficiente por conta da menor quantidade de água adicionada às matérias-primas na etapa de homogeneização, fazendo com que seja necessário um menor consumo energético para eliminá-la quando comparado ao processo via-úmida. Com isso, a indústria de cimento brasileira conta com um parque industrial moderno e eficiente com torres de ciclones de pré-aquecedores e pré-calcinadores que aproveitam a energia advinda dos fornos rotativos, onde aproximadamente 40% do parque tem menos de 15 anos.<sup>33</sup> Com o passar dos anos e o aumento da produção, espera-se que ocorra a substituição de máquinas e equipamentos mais antigos através das melhores tecnologias disponíveis a partir de 2030.

Segundo o estudo do “Roadmap Tecnológico do Cimento”, a melhoria dos controles de processo e a otimização da produção de cimento representam uma das alternativas mais favoráveis para o alcance de uma maior eficiência energética e redução das emissões, em virtude de possuir um menor custo e fácil implementação. Além disso, outra medida discutida para a ampliação da eficiência térmica é a utilização de mineralizadores visando uma melhoria

---

<sup>32</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em 26 ago. 2021.

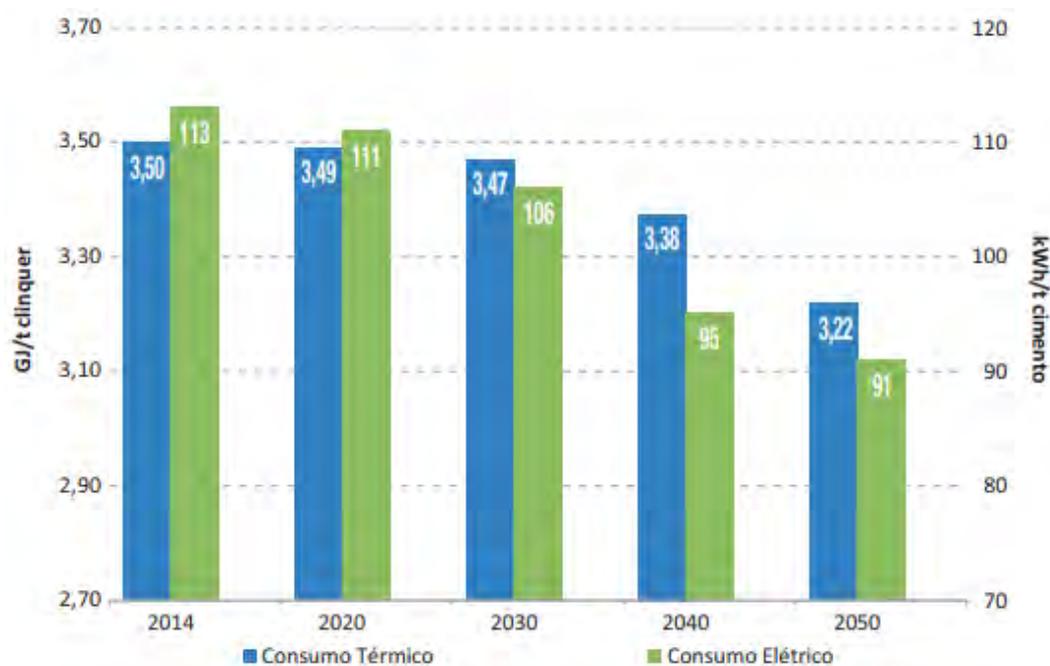
<sup>33</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em 26 ago. 2021.

da queimabilidade, porém, existe certa dificuldade para a sua implementação no Brasil por conta da escassez de jazidas de fluorita, que consiste em um dos principais mineralizadores, e da necessidade de uma tecnologia própria, ainda a ser desenvolvida.

No que se refere à eficiência elétrica, o estudo destaca a recuperação de calor residual para a geração de energia elétrica como uma opção potencial, sendo capaz de reduzir em aproximadamente 20% a 30% o consumo elétrico no setor (Visedo, Pecchio e Battagin, 2019). Somado a isso, vale salientar que a matriz elétrica nacional é majoritariamente renovável, fazendo com que o setor de cimento brasileiro apresente um nível menor nas emissões de energia elétrica quando comparado com o resto do mundo, onde, como visto anteriormente, tem uma média de 5%.

A indústria de cimento brasileira, no período de 1990 a 2018, reduziu seu consumo térmico de 4,2 GJ/t de clínquer para 3,5 GJ/t de clínquer.<sup>34</sup> De acordo com o “Roadmap Tecnológico do Cimento”, com a aplicação de todas as alternativas discutidas de eficiência energética, o setor nacional conseguiria atingir um consumo térmico de 3,22 GJ/t de clínquer e uma intensidade elétrica de 91 kWh/t de cimento até 2050, representando uma redução nas emissões de 38 Mt de CO<sub>2</sub> entre os anos de 2014 e 2050.

**Figura 13:** Projeção da Evolução dos Consumos Térmico e Elétrico na Produção do Cimento



Fonte: Visedo, Pecchio e Battagin, 2019

<sup>34</sup> Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Acesso em: 19 set. 2021.

## 6.4. Tecnologias Inovadoras e Emergentes

Somente as medidas mais tradicionais discutidas acima para essa indústria não serão suficientes para alcançar a mitigação de gases de efeito estufa e a temperatura planetária ideais, como firmado nos acordos internacionais. Sendo assim, é fundamental a adoção de opções tecnológicas mais avançadas para auxiliar e gerar maiores esforços no combate às emissões.

Uma das principais tecnologias inovadoras em voga no momento que pode ser utilizada no setor cimenteiro é a captura e utilização ou armazenamento de carbono (CCUS, sigla em inglês), buscando diminuir a quantidade de gás carbônico na atmosfera. Essa alternativa se torna atraente para o setor, visto que será capaz de reduzir as emissões de dióxido de carbono advindas da queima do calcário para a geração de clínquer (calcinação) durante o processo de produção do cimento, algo que seria relativamente difícil apenas com a aplicação de combustíveis alternativos, eficiência energética e adições ao clínquer. Isso porque ainda haveria uma parcela de clínquer na composição do cimento que, conseqüentemente, emitiria CO<sub>2</sub> em sua fabricação.

Através da CCUS, o carbono é capturado de suas fontes emissoras e transportado para onde será utilizado ou armazenado. Com relação a captura e armazenagem de carbono (CCS, sigla em inglês), o armazenamento deve ser realizado em formações geológicas e profundas, de forma que sejam adequadas para estocar grandes quantidades e o CO<sub>2</sub> não retorne à superfície.<sup>35</sup> Já no que se refere a captura e utilização do carbono (CCU, sigla em inglês), o CO<sub>2</sub> é capturado e aplicado como insumo de determinado processo. O Roadmap Tecnológico do Cimento enumera alguns meios para a utilização do CO<sub>2</sub> capturado como: sua transformação em bicarbonato de sódio; o processo de carbonatação mineral, onde o produto final da reação química pode ser empregado como material de construção e o uso de algas para captura de CO<sub>2</sub> e geração de biomassa como fonte de energia.

Contudo, para viabilizar a utilização de tais tecnologias são necessários enormes investimentos e altos custos decorrentes de todas as etapas do processo. Além disso, grande parte do aprimoramento dessas tecnologias ainda está em fase inicial. Dessa forma, é imprescindível que os governos e investidores aumentem o apoio à pesquisa e desenvolvimento

---

<sup>35</sup> RES, F. C; PASCON; P. E. A Vez da Captura e Reciclagem de Carbono. 2017.

(P&D), já nos dias atuais, com o intuito de promover a aplicação em larga escala de tecnologias inovadoras nas próximas décadas e a infraestrutura necessária para colocá-las em prática.

Vale enfatizar que o desenvolvimento de tais tecnologias inovadoras está especialmente concentrado nos Estados Unidos e na Europa, e a indústria de cimento brasileira dependerá desse sucesso tecnológico internacional para reduzir suas emissões, visto que dificilmente conseguirá desenvolvê-las dentro do país.

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), a tecnologia de captura de carbono na indústria de cimento deverá ser um ponto chave a partir de 2030 para que seja possível atingir emissões líquidas zero em 2050 no mundo. No caso brasileiro, o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento destaca que essa tecnologia se tornaria praticável somente a partir de 2040, à medida que haja um maior avanço tecnológico e outros caminhos de redução mais em conta cheguem ao seu limite, o que resultaria em uma redução acumulada de 38 Mt de CO<sub>2</sub> nas emissões do setor até 2050.

## 7. CONCLUSÃO

Após séculos de extração de recursos naturais e da visão imposta de crescimento acelerado, onde a degradação humana e o consumo se sobressaem em relação a renovação desses recursos, foram desencadeadas mudanças climáticas, destruição de ecossistemas, perda de biodiversidade, entre outros grandes problemas. Tendo o conteúdo discutido ao longo do trabalho em vista, por mais que o problema das mudanças climáticas seja nítido, pode-se perceber que ainda existe uma grande dificuldade no cumprimento das metas de mitigação dos gases de efeito estufa por parte de todas as nações. Tais questões estão cada vez mais gritantes e exigirão medidas imediatas para tentar amenizá-las. Dito isso, a transição para uma economia de baixo carbono é certa. Contudo, não se sabe a forma e nem a velocidade com que será implementada.

Diante da certeza de uma transição global para baixo carbono e adoção de uma matriz energética totalmente renovável, vale lembrar que o Brasil é o país com o maior potencial de dispensar os fósseis e utilizar fontes renováveis a mais baixo custo no mundo. Somado a isso, o Brasil possui uma grande oportunidade em relação a sua infraestrutura. Os outros países possuem uma infraestrutura competitiva, porém, no mundo fóssil. Portanto, dado que a infraestrutura brasileira já não é competitiva atualmente e possui uma produtividade muito baixa, será necessário reconstruí-la de qualquer forma e nada melhor do que realizar essa mudança já a baixo carbono, tornando-a extremamente nova e competitiva. Caso contrário, à medida que a precificação do carbono avança, ela será tão não competitiva quanto é hoje.

O cimento possui um papel extremamente importante para suprir a demanda crescente por essa nova infraestrutura que ocorrerá nos próximos anos. Entretanto, como explicitado ao longo do presente trabalho, seu processo de produção é intensivo no consumo de energia e na emissão de gases de efeito estufa, o que acarreta grande preocupação no que diz respeito ao alcance do objetivo de limitar a temperatura global em 2°C até o final do século.

De acordo com o relatório do Roadmap Tecnológico do Cimento, caso nenhuma medida vigente atualmente de redução nas emissões seja colocada em prática, o setor nacional poderia emitir aproximadamente 66 Mt de CO<sub>2</sub> em 2050. Já em um cenário onde todos os caminhos mitigadores discutidos ao longo do trabalho fossem adotados, as emissões do setor poderiam atingir um nível de 44 Mt de CO<sub>2</sub> em 2050.

O cenário mais otimista de redução faria com que a emissão específica fosse de 375 kg CO<sub>2</sub> /t de cimento no meio do século, representando uma queda de 33% quando comparada com os níveis de 2014 em que a emissão específica estava por volta de 564 kg CO<sub>2</sub> /t cimento.<sup>36</sup> Além disso, ainda com base no relatório, seriam evitadas 421 Mt de CO<sub>2</sub> durante o período de 2014 a 2050, caso ocorra a utilização de substitutos de clínquer, adoção de medidas de eficiência energética, aplicação de combustíveis alternativos e implementação de tecnologias inovadoras.

Sendo assim, fica claro que o cimento é um componente crucial para o combate às mudanças climáticas e o quanto é fundamental que a indústria de cimento brasileira siga as alternativas discutidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa no setor, a fim de caminhar cada vez mais rápido para uma transição de baixo carbono juntamente com a projeção de aumento em sua produção, aumentando sua competitividade internacional. Caso a aplicação de tais caminhos alternativos não seja intensificada imediatamente nesta indústria, as consequências que o setor cimenteiro nacional - por ainda operar com características fósseis - e todo o planeta irão enfrentar, frente a Quarta Revolução Industrial, serão enormes, dado o aumento do risco climático e o avanço de políticas de redução obrigatórias por meio da precificação do carbono.

Com isso, se o Brasil trabalhar direito, o país tem grandes chances de conquistar uma posição de vanguarda na transição inevitável para baixo carbono no mundo e sua competitividade na economia global poderá aumentar incrivelmente. Porém, vale lembrar que para que isso seja possível, é de suma importância a adoção de medidas mais arrojadas e eficientes o quanto antes para modificar o cenário catastrófico que o planeta se encontra atualmente.

---

<sup>36</sup> ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visado e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Acesso em: 26 ago. 2021.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Vianna, S. B.; da Veiga, J. E. & Abranches, S. A sustentabilidade do Brasil. Giambiagi & Barros (orgs.) Brasil Pós-Crise, Agenda para a próxima década. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 305-324, 2009. Disponível em: <[http://www.zeeli.pro.br/wp-content/uploads/2012/06/A\\_Sustentabilidade\\_do\\_Brasil.pdf](http://www.zeeli.pro.br/wp-content/uploads/2012/06/A_Sustentabilidade_do_Brasil.pdf)>

Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2014. Disponível em: <<https://ar5-syr.ipcc.ch/index.php>>

Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC). Summary for Policymakers: Special Report on Global Warming of 1.5°C. IPCC, 2018. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/sr15/download/>>

FOLEY, Jonathan A. “Limites para um planeta sustentável”. Scientific American Brasil, Edição Especial Ambiente, 2012. p. 25.

FINK, Larry. 2021 Letter to CEOs BlackRock. Disponível em: <<https://www.blackrock.com/corporate/investor-relations/larry-fink-ceo-letter>>

United Nations Environment Programme (UNEP). Emissions Gap Report 2020. UNEP, 2020. Nairobi. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/emissions-gap-report-2020>>

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços - MDIC. Confederação Nacional da Indústria - CNI. Mudança do clima e indústria brasileira: iniciativas e recomendações estratégicas para a implementação e financiamento da NDC do Brasil. Brasília: MDIC e CNI, 2018.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC. 4ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 2020.

Confederação Nacional da Indústria - CNI. Indústria Brasileira Faz a Sua Parte na Redução de Emissões. CNI, 2021. Disponível em: <<https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>>

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação. Brasília, 2013. 29 p.

Confederação Nacional da Indústria - CNI. Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento - SNIC. Indústria Brasileira de Cimento: Base Para a Construção do Desenvolvimento. Brasília: CNI, 2017. 60 p.

ROADMAP tecnológico do cimento: potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050 / coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. 64 p. Disponível em: <<http://snic.org.br/assets/pdf/roadmap/roadmap-tecnologico-do-cimento-brasil.pdf>>

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa Brasil. 5. ed. Brasília, 2020. 71 p.

SEEG 8 - Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas De Clima Do Brasil 1970-2019. Observatório do Clima, 2020.

HAUSFATHER, Z. UNEP: 1.5C Climate Target ‘Slipping out of Reach’. Carbon Brief, 2019. Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/unep-1-5c-climate-target-slipping-out-of-reach>>

VISEDO, G.; PECCHIO, M.; BATTAGIN, A. F. “Bases para o lançamento do Mapeamento Tecnológico do Cimento – Brasil 2050”. Estratégias para mitigação do CO2 na cadeia produtiva do concreto, Revista IBRACON Concreto e Construções, Fortaleza, 95. ed. p. 26-32, jul /set 2019.

BATTAGIN, A. F; SILVA, M. G. “Por que os cimentos com adições vieram para ficar?”. Estratégias para mitigação do CO<sub>2</sub> na cadeia produtiva do concreto, Revista IBRACON Concreto e Construções, Fortaleza, 95. ed. p. 33-39, jul /set 2019.

PACCA, S. A. “A captura e uso do CO<sub>2</sub> em materiais para a construção civil”. Estratégias para mitigação do CO<sub>2</sub> na cadeia produtiva do concreto, Revista IBRACON Concreto e Construções, Fortaleza, 95. ed. p. 55-59, jul /set 2019.

CRES, F. C; PASCON; P. E. A Vez da Captura e Reciclagem de Carbono. 2017. Disponível em: <<https://www.processos.eng.br/wp-content/uploads/2017/07/A-Vez-da-Captura-e-Reciclagem-de-Carbono.pdf>>

International Energy Agency - IEA; Cement Sustainability Initiative - CSI. Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Paris, Geneva, 2018.

International Energy Agency (IEA), Cement. Paris, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/cement>>

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC). Relatório Anual. SNIC, 2019. Disponível em: <[http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio\\_anual/rel\\_anual\\_2019.pdf](http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2019.pdf)>

Observatório do Clima, 2020. Bases para proposta de 2ª NDC para o Brasil. Disponível em: <[https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2020/12/NDC\\_OC\\_2030\\_NOTA\\_TECNICA\\_V2.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2020/12/NDC_OC_2030_NOTA_TECNICA_V2.pdf)>

Observatório do Clima, 2020. NDC e “pedalada” de carbono: como o Brasil reduziu a ambição de suas metas no Acordo de Paris. Disponível em: <<https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2020/12/ANA%CC%81LISE-NDC-1012FINAL.pdf>>

Chatham House, 2018. Making Concrete Change: Innovation in Low-carbon Cement and Concrete. Disponível em: <<https://www.chathamhouse.org/2018/06/making-concrete-change-innovation-low-carbon-cement-and-concrete-0/1-introduction>>

UNFCCC, 2021. Nationally Determined Contributions Under the Paris Agreement. Synthesis Report by the Secretariat. Disponível em: <[https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021\\_08\\_adv\\_1.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma2021_08_adv_1.pdf)>

UNFCCC, 2021. Full NDC Synthesis Report: Some Progress, but Still a Big Concern. Disponível em: <<https://unfccc.int/news/full-ndc-synthesis-report-some-progress-but-still-a-big-concern>>

LIMA, J. A. R. Avaliação das Consequências da Produção de Concreto no Brasil para as Mudanças Climáticas. São Paulo, 2010. 129 p.

FELIX, E. F; POSSAN, E. Balanço das Emissões e da Captura de CO<sub>2</sub> em Estruturas de Concreto: Simulação em Função do Consumo e Tipo de Cimento. 2018.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES. Panoramas Setoriais: Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, 2016. 71 p.

BBC News. Aquecimento Global: A Gigantesca Fonte de CO<sub>2</sub> Que Está Por Toda Parte, Mas Você Talvez Não Saiba. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-46591753>>

WWF. Nova NDC Brasileira reduz ambição climática do país, contra o espírito do Acordo de Paris. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?77489/Nova-NDC-Brasileira-reduz-ambicao-climatica-do-pais-contr-o-espírito-do-Acordo-de-Paris>>