ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO

instituto transição energética

Roadmap Net Zero da Indústria do Cimento Brasileira

Sumário

Contextualização geral 1

1. Indústria do cimento no Brasil 6

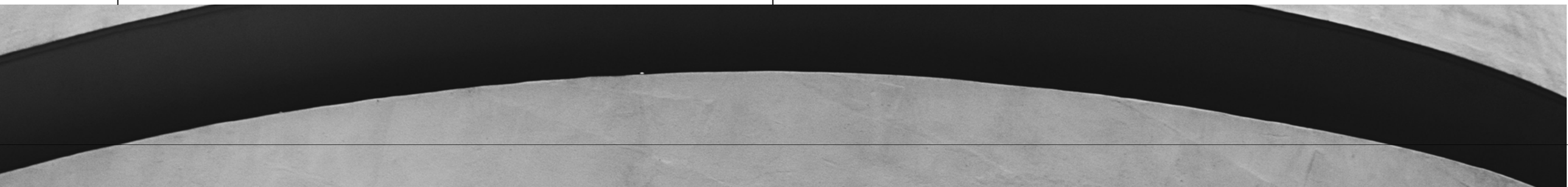
2. O desafio da descarbonização 8
Processo produtivo do cimento 9
Pegada de carbono do cimento brasileiro 10

3. Caminhos para a neutralidade climática 13
Evolução do setor 14
Dados Numéricos 15
Estratégia de descarbonização brasileira 16

4. Redução de emissões por eixos / iniciativas 17
4.1 Reduções Diretas 17
Clínquer 17
Cimento 22
4.2 Reduções Indiretas 26
Uso de eletricidade 26
4.3 Desmaterialização 28
Eficiência na produção de concreto 28
Eficiência na construção 31
4.4 Remoções e Compensações 32
Recarbonatação 32
Soluções baseadas na Natureza 33
Captura, Utilização e Estocagem de Carbono 34
Metanização 34

5. Implementação 35

6. Considerações Finais 40



Contextualização Geral

O cimento é o principal constituinte do concreto, que é o segundo material mais consumido no mundo, depois da água. Com ele, são moldadas casas, pontes, rodovias, reservatórios e tantas outras estruturas que sustentam o mundo em que vivemos.

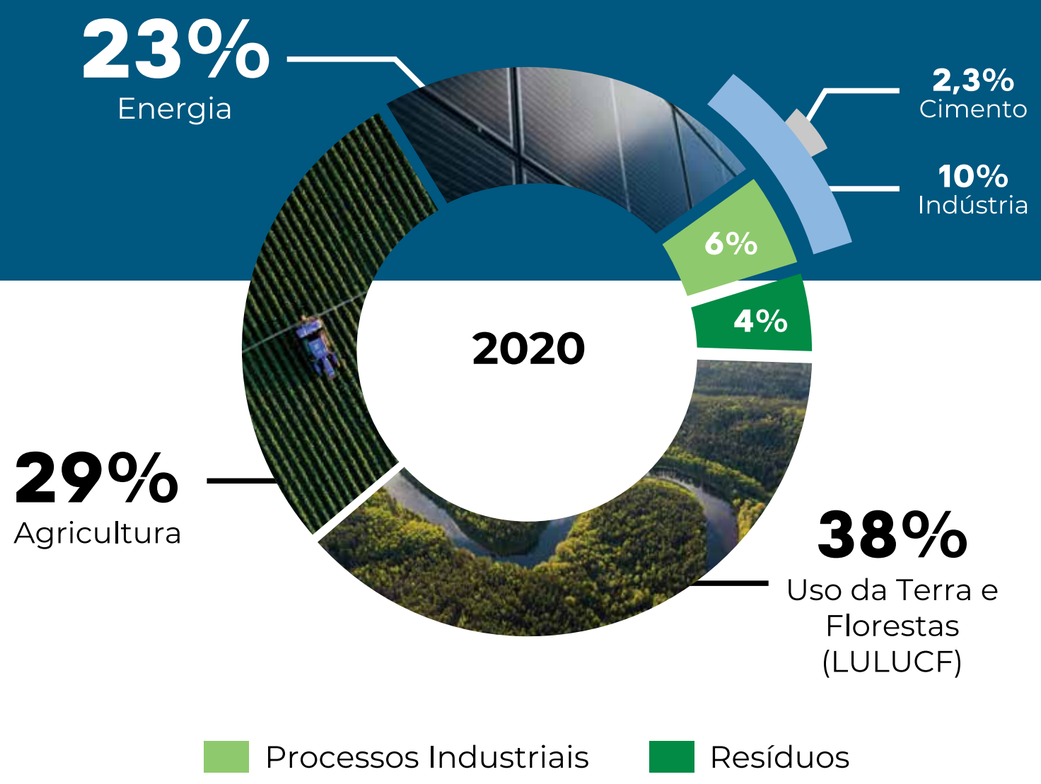
Mas essa importância também traz um desafio. A produção de cimento é intensiva em carbono. No Brasil, o setor responde por apenas cerca de 2,3% das emissões nacionais, mas no mundo, chega a 8%. Historicamente, a indústria brasileira de cimento alcançou um dos menores níveis de intensidade de carbono do mundo, de acordo com dados da Associação Global de Cimento e Concreto (GCCA).

O setor é um componente essencial da construção civil; que representa 4% do PIB nacional; e apoia diretamente milhões de empregos, desempenhando um papel vital para o desenvolvimento do país e para a adaptação às mudanças climáticas.

Portanto, o cimento não é apenas parte do desafio, mas também parte da solução. Cada novo parque de energia renovável e cada obra que apoia a transição para uma economia de baixo carbono se ergue sobre bases de concreto. Quando usado com técnicas de construção modernas, o material é ainda mais eficiente: resiste a incêndios, cheias e ventos fortes, aumenta a durabilidade das estruturas e ajuda a reduzir picos de temperatura dentro dos edifícios. Assim, o cimento se torna um aliado importante na proteção das pessoas e na preservação de investimentos em um clima em transformação.

No Brasil, essa importância é ainda maior. O crescimento da população, a urbanização e a ampliação das obras públicas devem aumentar a demanda por cimento nas próximas décadas. Esse roadmap foi desenvolvido com foco em atender ao aumento da demanda e, ao mesmo tempo, alcançar a neutralidade climática.

Participação do Setor de Cimento nas Emissões Brasileiras



Contextualização Geral

1 Objetivos

Este roadmap mostra o caminho para que o setor alcance a neutralidade climática. Ele organiza prioridades, prazos e etapas de um conjunto integrado de estratégias para reduzir as emissões em toda a cadeia de valor. Leva em conta as diferenças regionais do país e destaca condições essenciais para essa transição, como a infraestrutura necessária, a manutenção da competitividade, a qualidade do produto, o acesso ao cimento e o compromisso com uma transição justa.

Mais do que um guia, o roadmap é um convite à inovação. Ele estimula o desenvolvimento de soluções que acelerem a redução das emissões e consolidem práticas de baixo carbono, além de fortalecer mercados para produtos com menor pegada de carbono. No Brasil, representa um passo importante na descarbonização da indústria do cimento e na construção de um futuro neutro em carbono.

2 Premissas e Condicionantes

O roadmap se ancora em dados e cenários disponíveis na data de publicação. Ele descreve caminhos plausíveis para alcançar a neutralidade climática, cuja materialização depende da evolução de variáveis sistêmicas, ambiente regulatório, sinais econômicos, avanço tecnológico, entre outros fatores. As trajetórias e valores devem ser lidos como referências para planejamento setorial e estão sujeitos a revisões à medida que novas evidências se consolidem. Não substituem estudos de viabilidade ou decisões empresariais caso a caso.

3 Processo de elaboração e colaboradores

Resultado de um esforço conjunto de instituições e especialistas comprometidos com a descarbonização do setor cimenteiro, este roadmap foi coordenado pelo SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento), com apoio técnico do Instituto E+ Transição Energética, financiamento da UNIDO (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) e apoio institucional do MDIC (Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços), arranjo que assegura credibilidade setorial e o situa em consonância com as prioridades nacionais de descarbonização, evidenciando sua relevância para o interesse público.

A elaboração combinou análise de dados setoriais, revisão comparada de referências internacionais e modelagem de cenários, incorporando as especificidades brasileiras e as demandas da infraestrutura da descarbonização. O documento resultante preserva coerência metodológica e vocação aplicada, permanecendo aberto a atualizações à medida que novas evidências e experiências se consolidem.

Instituições Envolvidas

Sobre SNIC

Constituído em 1953 como representante legal do setor, o SNIC se destaca na representação político-institucional da categoria. Interagindo no âmbito da indústria, comercio e serviços - por meio de órgãos públicos e privados, nacionais e estrangeiros - colabora com o Estado, como entidade técnica e consultiva, nos temas econômicos, tributários, ambientais, de mineração e de saúde e segurança do trabalho. Desenvolve estudos e fórmula indicadores do setor, que contribuem para que os valores gerados pela atividade cimenteira sejam compartilhados com milhões de pessoas e favoreçam o crescimento econômico e social do país.

Sobre ABCP

Fundada em 1936 para promover estudos e pesquisas sobre o cimento e suas aplicações, a ABCP – com Sede em São Paulo e Regionais em 9 capitais brasileiras - transformou-se em centro tecnológico de referência para o aprimoramento da fabricação do cimento e para o desenvolvimento do mercado da construção civil. Por meio de ensaios laboratoriais de excelência, cursos de capacitação, publicações técnicas, selos da qualidade, soluções inovadoras entre outros produtos, serviços e pesquisas, contribui para que a indústria ofereça um produto da mais alta qualidade e produzido dentro dos mais rigorosos padrões ambientais, ao mesmo tempo em que promove e incrementa o emprego de sistemas construtivos à base de cimento de grande durabilidade.

Sobre o Instituto E+

O Instituto E+ Transição Energética é um think tank brasileiro independente que conecta governos, indústria, sociedade civil e academia para pautar a transição energética e a transformação verde da indústria como vetores do desenvolvimento socioeconômico do país. Nesse roadmap, o E+ contou com a atuação do Engenheiro Químico **Luiz Germano Bernartt Junior**, que possui mais de 34 anos de experiência em multinacionais no Brasil e no exterior, com passagem por mais de 20 unidades industriais do setor e cinco anos na gestão de plantas de cimento. Germano atuou em liderança global de sustentabilidade e energia, conduzindo projetos de transição da matriz energética, uso de combustíveis alternativos, eficiência e cogeração, além de iniciativas de economia circular e clima, além de representar empresas em fóruns técnicos e de sustentabilidade nacionais e internacionais (CSI, GCCA, ABCP).

Instituições Envolvidas

Sobre GCCA

A GCCA (Global Cement and Concrete Association), criada em 2018, reúne produtores de cimento e concreto que representam cerca de 80% da capacidade global fora da China. Atua como principal voz internacional do setor, promovendo a colaboração entre empresas, governos e sociedade para fortalecer o papel do concreto como material essencial às comunidades modernas, sustentáveis e resilientes. A associação incentiva a inovação, o compartilhamento de boas práticas e o avanço de políticas públicas que contribuam para a redução de impactos ambientais e para o desenvolvimento de uma construção mais sustentável

Sobre a UNIDO

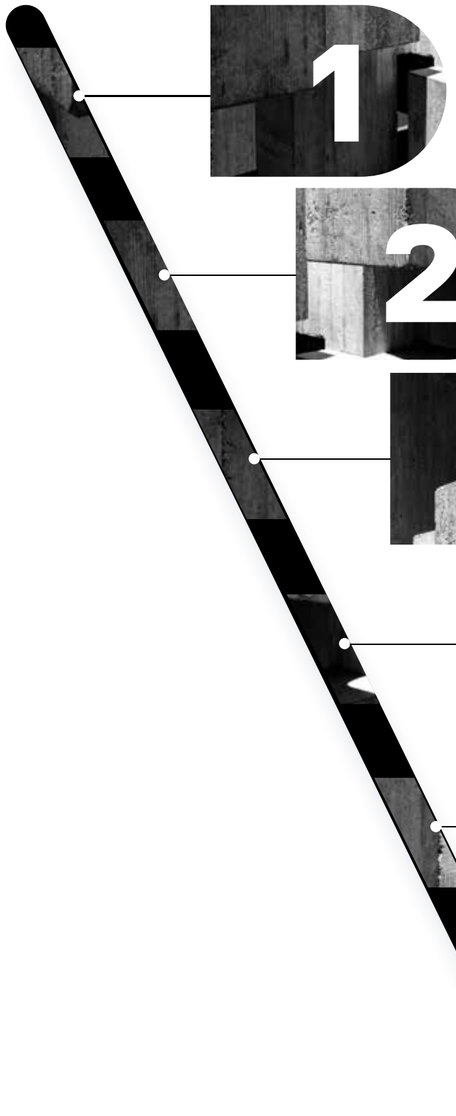
Agência especializada da ONU estabelecida em 1966, para promover o desenvolvimento industrial inclusivo e sustentável, a UNIDO atua conectando governos, setor produtivo, academia e sociedade civil na formulação de políticas, transferência de tecnologia e fortalecimento de capacidades. Por meio de programas e projetos em eficiência energética, descarbonização, economia circular, qualidade e infraestrutura de conformidade, fomenta investimentos e inovação, apoia e amplia a competitividade industrial, contribuindo para crescimento econômico, geração de emprego e cumprimento de metas climáticas.

Sobre o MDIC

Órgão de referência da política industrial e de comércio do país, o MDIC coordena agendas de reindustrialização, produtividade e inovação, integrando instrumentos de apoio a MPMEs, atração de investimentos, financiamento e melhoria do ambiente regulatório. Em articulação com governos, empresas e entidades setoriais, conduz iniciativas de facilitação de comércio exterior, adensamento de cadeias produtivas, transformação digital e sustentabilidade, de modo a fortalecer a base industrial brasileira e ampliar a inserção competitiva do Brasil nos mercados globais.

O Roadmap em Capítulos

Navegue pelo Roadmap e entenda as abordagens apresentadas em cada capítulo.



Indústria do Cimento no Brasil

Um olhar sobre quem somos, como produzimos e onde estamos presentes no território nacional.

O Desafio da Descarbonização

Por que o setor precisa mudar, de onde vêm as emissões e quais obstáculos estão no caminho.

Caminhos para a Neutralidade Climática

A jornada até 2050: passado, presente e futuro em uma linha do tempo que mostra como chegar ao net zero.

Alavancas de Descarbonização

As soluções possíveis: tecnologias e práticas reunidas por pilares — do clínquer à energia, passando por combustíveis, captura e desmaterialização.

Implementação

O que precisa estar em volta: políticas públicas, mercado e governança para tornar a transição viável e justa.

Considerações Finais

Mensagens chave para a implementação

1. Indústria do cimento no Brasil

Com uma trajetória historicamente vinculada ao desenvolvimento nacional, a indústria do cimento consolidou-se como um setor estratégico para a infraestrutura e para a economia brasileira. Além de fornecer um insumo essencial para obras urbanas e industriais, o setor exerce papel relevante na geração de emprego, renda e dinamização de cadeias produtivas.

65 milhões de toneladas

de cimento produzido nacionalmente em 2024.

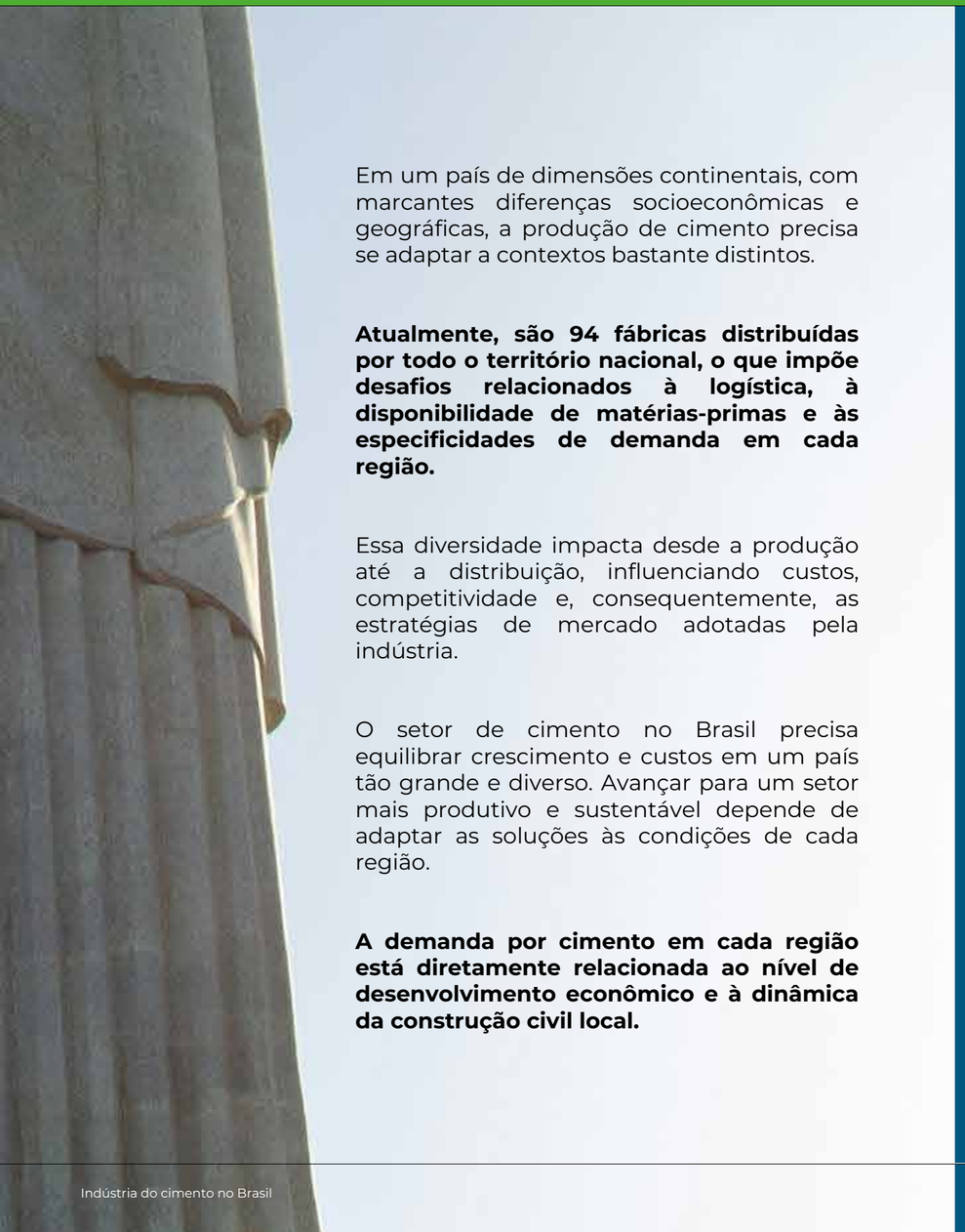
8º maior produtor

e consumidor mundial

Plantas distribuídas em **82 municípios e 23 estados**

Emissão específica de **565kg CO_2/t cimentício**, uma das menores do mundo.

32% de combustíveis alternativos e 30% de matérias-primas alternativas/adições na produção de cimento.



Em um país de dimensões continentais, com marcantes diferenças socioeconômicas e geográficas, a produção de cimento precisa se adaptar a contextos bastante distintos.

Atualmente, são 94 fábricas distribuídas por todo o território nacional, o que impõe desafios relacionados à logística, à disponibilidade de matérias-primas e às especificidades de demanda em cada região.

Essa diversidade impacta desde a produção até a distribuição, influenciando custos, competitividade e, consequentemente, as estratégias de mercado adotadas pela indústria.

O setor de cimento no Brasil precisa equilibrar crescimento e custos em um país tão grande e diverso. Avançar para um setor mais produtivo e sustentável depende de adaptar as soluções às condições de cada região.

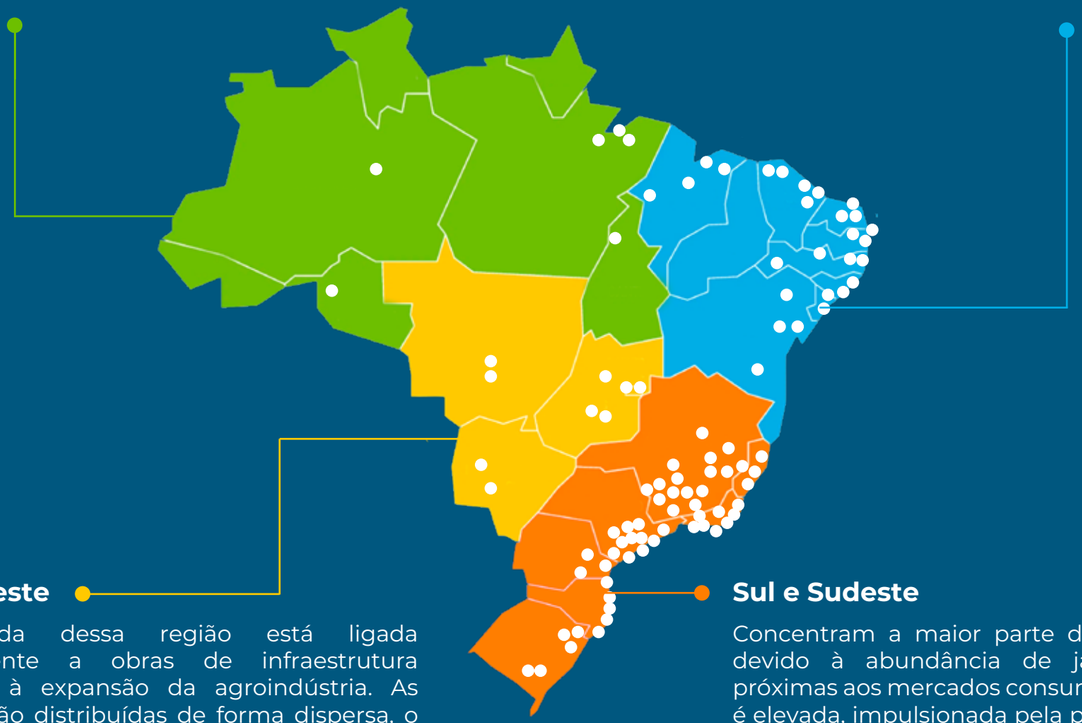
A demanda por cimento em cada região está diretamente relacionada ao nível de desenvolvimento econômico e à dinâmica da construção civil local.

Norte

Possui baixa disponibilidade de jazidas de calcário, a região depende da importação de clínquer em algumas localidades, o que gera altos custos logísticos. A demanda está atrelada sobretudo a obras de infraestrutura e habitação, refletindo as necessidades de expansão urbana e conectividade regional.

Nordeste

Produção concentrada nos estados com grandes centros urbanos, enquanto a demanda tem forte ênfase em obras públicas e programas habitacionais. A região enfrenta dificuldades de distribuição para áreas do interior, impactando os custos e a eficiência logística.



Centro-Oeste

A demanda dessa região está ligada principalmente a obras de infraestrutura logística e à expansão da agroindústria. As fábricas estão distribuídas de forma dispersa, o que representa um desafio logístico adicional em termos de escoamento e abastecimento.

Sul e Sudeste

Concentram a maior parte das fábricas do país devido à abundância de jazidas de calcário próximas aos mercados consumidores. A demanda é elevada, impulsionada pela presença de grandes centros urbanos e pelo volume expressivo de construções comerciais e industriais.

2. O Desafio da Descarbonização

A redução de emissões do setor de cimento enfrenta uma barreira inevitável: ao contrário de outras indústrias, a maior parte das emissões não está associada ao uso de combustíveis, mas a processos químicos próprios da fabricação do cimento.

Cerca de 62% das emissões de CO_2 no setor são geradas durante a calcinação do calcário, quando o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) é transformado em óxido de cálcio (CaO), liberando CO_2. Esse processo é indispensável para a formação do clínquer e não pode ser eliminado por simples substituição energética.

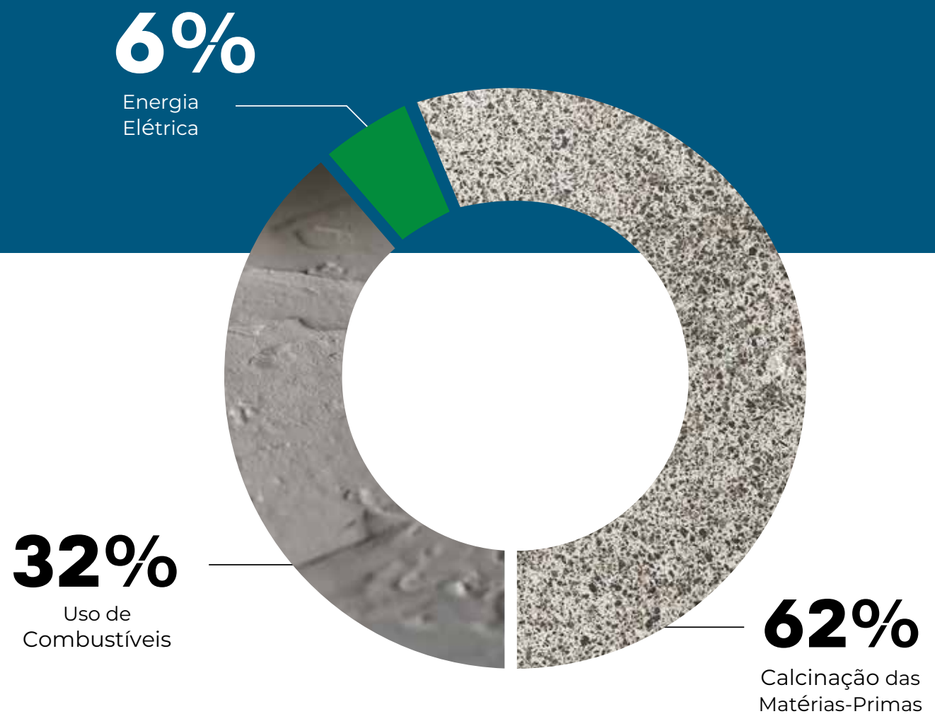
O restante das emissões está principalmente relacionado a geração e uso de energia: aproximadamente 32% são provenientes da queima de combustíveis térmicos, principalmente fósseis, utilizados nos fornos e cerca de 6% decorrem do consumo de energia elétrica.

Essa realidade impõe um limite físico às estratégias convencionais de descarbonização:

Mesmo com a substituição total de combustíveis ou ganhos de eficiência energética, as emissões da calcinação permaneceriam.

Soluções como a redução da proporção de clínquer no cimento, captura de carbono (CCUS) ou desmaterialização são caminhos promissores, mas ainda enfrentam desafios de viabilidade técnica e econômica em larga escala.

Fontes de emissões de CO_2 no Setor de Cimento



Processo produtivo do cimento

1. Extração de matérias primas

Os depósitos calcários (carbonato de cálcio) e argilas são lavrados em minas, geralmente próximas à fábrica.

2. Britagem e Pré-homogeneização

O material extraído das minas passa por britadores para reduzir o tamanho, facilitando o manuseio e sendo estocado em pilhas que geram uma pre-homogeneização inicial do material

3. Preparação da farinha crua

O calcário, argila britados, além de corretivos (como minério de ferro, areia e bauxita) são dosados e depois moídos até virarem um pó fino, a farinha crua, que é armazenada em silos de homogeneização antes de entrar no forno e virar o clínquer.

4. Tratamento de combustíveis

Ocorre o recebimento, triagem e estocagem dos combustíveis alternativos, além da secagem / moagem dos combustíveis fósseis. Após essa preparação, os combustíveis são injetados no pré-calcinador e no forno de clínquer.

5. Pré aquecimento e pré calcinação

A farinha crua entra no pré-aquecedor, eleva rapidamente a temperatura do pó (centenas de °C) antes do forno, secando e iniciando as reações.

6. Forno de clinquerização

No forno, o material atinge altas temperaturas (>1450°C) e sofre reações que formam os principais minerais do clínquer. É o “coração” do processo e também a etapa mais emissora e de maior intensidade térmica. Ao sair incandescente do forno, o clínquer é resfriado, recuperando parte do calor para aquecer o ar usado na combustão.

7. Recebimento de gesso e adições

O gesso é adicionado ao clínquer, e dependendo do tipo de cimento, entram adições minerais como escória granulada de alto-forno, cinzas volantes, pozolanas, filler calcário, dentre outras.

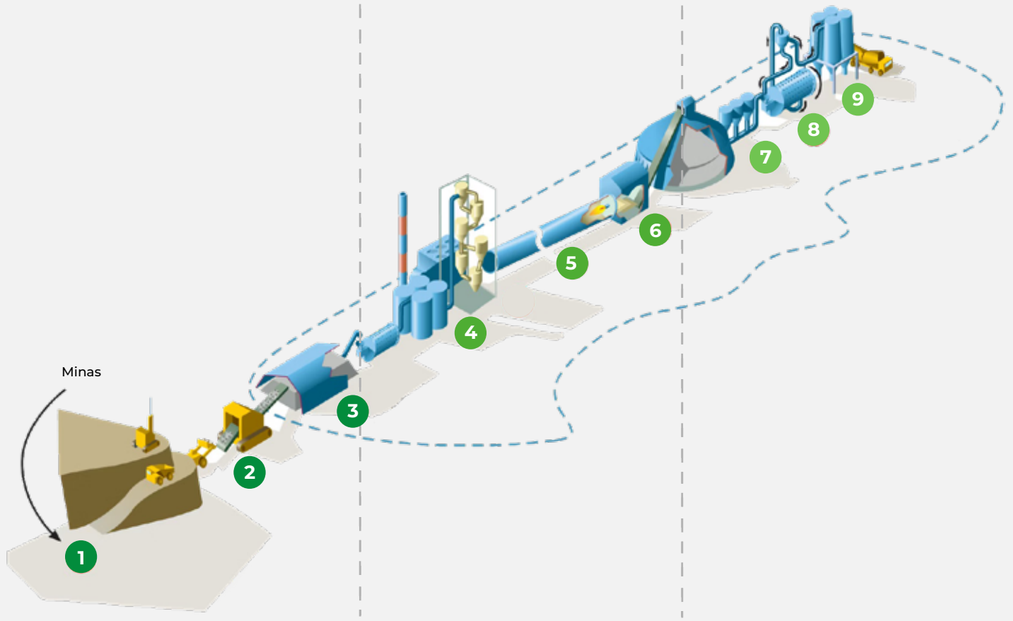
8. Moagem do cimento

Clínquer, gesso e adições são dosados nas proporções desejadas para os diferentes tipos de cimento e moídos conjuntamente até a finura especificada.

9. Armazenamento e expedição

O cimento pronto vai para silos de armazenagem e é expedido ao mercado em diferentes formas (sacos, granel ou big-bags) e por diferentes modais logísticos (caminhões, trens e eventualmente por barcos).

Produção de matéria-prima	Produção de clinquer	Moagem e Expedição do cimento
Nessa etapa as diferentes matérias-primas são transformadas em um produto homogêneo (farinha) e pronto para ser transformado em clínquer.	Nessa etapa a farinha é transformada no clínquer, etapa que envolve a maior parte das emissões do processo de fabricação do cimento.	É a etapa onde clínquer é transformado nos diferentes tipos de cimentos existentes e expedido para o mercado.

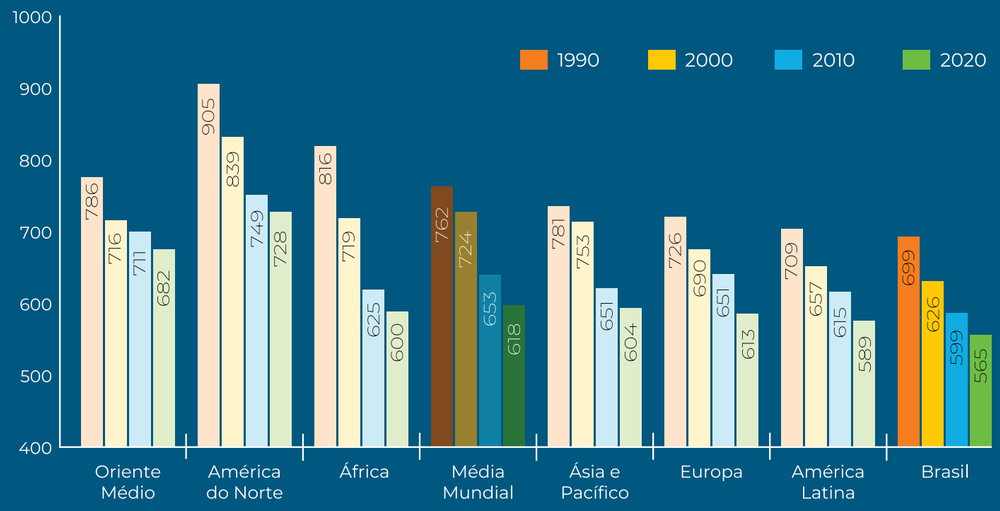


Pegada de carbono do cimento brasileiro

Graças ao histórico de esforços para descarbonização, com o uso de combustíveis alternativos e a uma matriz energética predominantemente renovável, a indústria cimenteira opera, com uma intensidade de carbono de aproximadamente 565 kg de CO_2 por tonelada de cimentício, um dos menores níveis globais.

Emissões específicas de CO_2

Emissões brutas de CO_2 – Média ponderada
(kg de CO_2 / t de cimentícios)
59cAGWct



* *São considerados no cálculo da pegada de carbono de "produtos cimentícios" todo o clínquer produzido pela empresa declarante para fabricação de cimento ou venda direta de clínquer, além de gesso, calcário, CKD e todos os substitutos de clínquer consumidos para mistura, além de todos os substitutos de cimento. O clínquer comprado de terceiro é excluído, uma vez que este clínquer já está incluído no inventário do terceiro.*

Mesmo com a plena implementação das tecnologias atualmente disponíveis, o setor espera atingir cerca de **375 kg de CO_2/t** até 2050, uma redução significativa, mas ainda distante da neutralidade climática. Esse patamar de descarbonização ocorre porque:

- As emissões de CO_2 provenientes da calcinação são inerentes ao processo de produção e não são passíveis de redução;
- A substituição do clínquer enfrenta restrições regulatórias, técnicas e de disponibilidade;
- As medidas de eficiência energética e o aumento do uso de combustíveis alternativos têm escopo e impacto limitados.

Portanto, para alcançar a neutralidade de carbono, e não apenas reduzir as emissões, é preciso uma ação conjunta em toda a cadeia produtiva e com setores relacionados. A parceria com a construção civil é fundamental, já que ela influencia diretamente a demanda por cimento e, consequentemente, as emissões do setor.

3. Caminhos para a Neutralidade Climática

Em 2019, o setor cimenteiro brasileiro foi pioneiro ao lançar o seu primeiro Roadmap Tecnológico, uma iniciativa inédita entre os setores industriais do país e que marcou o alinhamento com a agenda climática global. Desde então, o cenário mundial evoluiu de forma significativa: os compromissos rumo ao net zero se intensificaram, as práticas de ESG avançaram e novas políticas, como taxonomias verdes e mecanismos de precificação de carbono, começaram a se consolidar.

Agora, o setor reafirma seu protagonismo e ambição ao desenvolver o Roadmap para a Neutralidade Climática, ampliando o olhar para além das ações internas e promovendo a cooperação em toda a cadeia produtiva. A nova estratégia integra redução de **emissões diretas e indiretas, processos de desmaterialização e de remoções e compensação de carbono**, reforçando o compromisso da indústria em liderar a transição para um futuro de baixo carbono no Brasil.

Sobre os termos utilizados neste roadmap

Reduções Diretas

São as emissões de gases de efeito estufa que ocorrem dentro dos limites operacionais da própria instalação industrial. No caso do cimento, isso inclui, por exemplo, o CO_2 liberado no processo de calcinação do calcário e a queima de combustíveis para gerar calor. Elas estão diretamente ligadas às atividades produtivas da planta e podem ser medidas ou estimadas com base nos insumos e processos utilizados.

Reduções Indiretas

Referem-se às emissões associadas à geração de energia comprada e consumida pela instalação, como eletricidade adquirida da rede. Embora não ocorram fisicamente dentro da fábrica, elas são consequência do seu consumo energético e dependem da matriz elétrica utilizada. Existem também outras categorias de emissões indiretas relacionadas à cadeia de suprimentos e logística (escopo 3), como transporte de matérias-primas e distribuição do produto final.

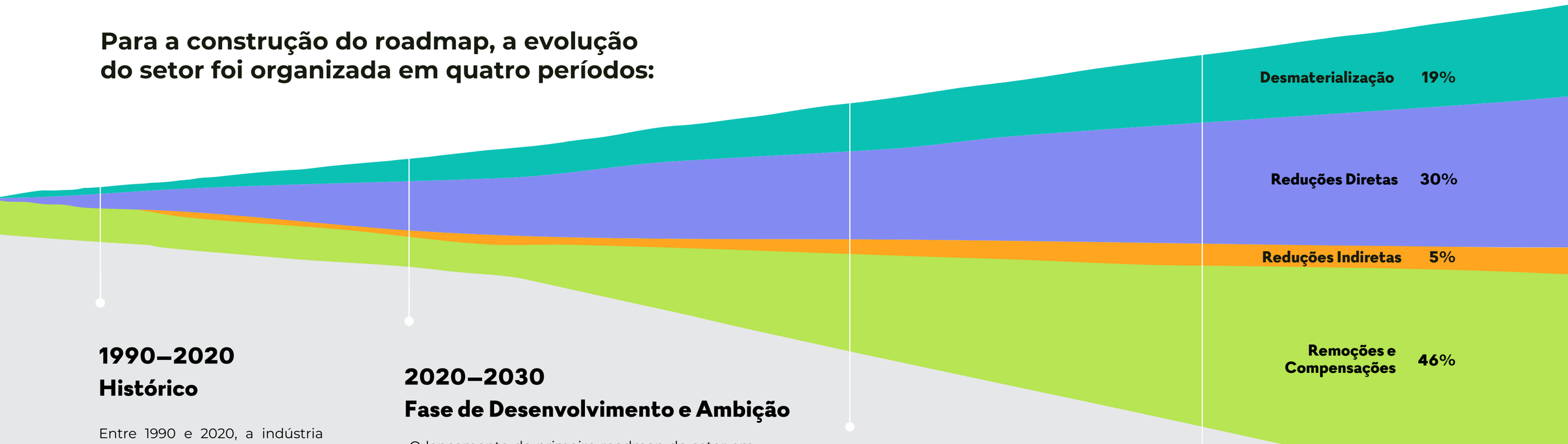
Desmaterialização

É a redução da quantidade de cimento utilizado na construção civil, diminuindo o uso de recursos e, consequentemente, as emissões associadas. Isso pode incluir o uso de concretos de maior desempenho e o desenvolvimento de soluções construtivas que utilizem menos cimento por unidade de obra.

Remoções e Compensações

São medidas voltadas a neutralizar as emissões residuais, ou seja, aquelas que não puderam ser eliminadas por mudanças de processo ou adoção de tecnologias de baixo carbono. Na indústria do cimento, destacam-se três principais medidas: soluções baseadas na natureza, como reflorestamento e restauração de ecossistemas; captura e armazenamento de carbono (CCS), que retira e armazena CO_2 de fluxos industriais; e recarbonatação do concreto, processo natural em que o material reabsorve parte do CO_2 emitido na sua produção. Essas estratégias se complementam e são aplicadas apenas após o máximo esforço de redução interna.

Para a construção do roadmap, a evolução do setor foi organizada em quatro períodos:



1990–2020
Histórico

Entre 1990 e 2020, a indústria brasileira de cimento passou por grandes transformações.

1990–2000

O setor de cimento torna-se um dos primeiros a colaborar internacionalmente em sustentabilidade, com empresas passando a integrar organizações globais.

2000 – 2010

O setor construiu diversas novas linhas de produção, mais modernas, de maior escala e eficiência energética, já alinhadas aos padrões de sustentabilidade.

Sustentabilidade como parte das estratégias de negócios: relatórios, modelos de gestão integrada e contabilidade de carbono.

Brasil alcança uma das menores intensidades de carbono do mundo.

2014

A produção de cimento atinge um pico histórico de 72 milhões de toneladas, crescendo quase 300% em comparação com 1990, impulsionada pela expansão da economia e da infraestrutura.

2015–2018

A produção cai quase 25% devido à recessão econômica.

2019

Publicação do Roadmap do Cimento no Brasil, um marco no compromisso climático do setor.

2020–2030
Fase de Desenvolvimento e Ambição

O lançamento do primeiro roadmap do setor em 2019 estimulou ações concretas para reduzir as emissões. Hoje, a maioria das empresas de cimento já divulga metas públicas para 2030, com monitoramento anual de resultados e estratégias de negócios alinhadas às iniciativas de mitigação, refletidas em seus relatórios corporativos.

Ao mesmo tempo, o setor está alinhado com a implementação do mercado de carbono brasileiro, que trará novos desafios e maior complexidade ao modelo de negócios tradicional, reforçando a necessidade de inovação e adaptação para manter a competitividade e a sustentabilidade no longo prazo.

Até o final desta década, espera-se:

Mudança na lógica do mercado de cimento → Uma mudança nos padrões de consumo, caracterizada pela redução do uso de cimento ensacado e maior demanda por produtos técnicos (concreteiras, produtos pré-moldados etc.), especialmente nos grandes centros urbanos.

Foco na competitividade da cadeia

- Modernização de instalações industriais com o objetivo de reduzir as emissões e aumentar a eficiência.
- Ampliação do coprocessamento de combustíveis alternativos, com aumento do uso de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) na matriz térmica.
- Maior diversificação nos materiais adicionados ao cimento, possibilitada pela atualização da norma brasileira em 2018.

2030–2040
Preparando para o Net Zero

Com o Roadmap para a Net Zero da Indústria Brasileira de Cimento (2025), o setor reconhece que as reduções de emissões diretas e indiretas, por si só, não são suficientes para alcançar a neutralidade até 2050, exigindo ações estruturais na cadeia de suprimentos e o apoio de políticas públicas robustas.

O período de 2030 a 2040 é estratégico para a preparação: as ações na cadeia, remoções e compensações precisam estar prontas para a década seguinte, bem como um mercado de carbono consolidado no Brasil.

Principais premissas para 2030–2040:

Emissões diretas → Expansão do uso de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU); desenvolvimento da infraestrutura e do mercado para o hidrogênio de baixa emissão, possibilitando seu uso pelo setor entre 2040 e 2050; programas de incentivo para apoiar a revisão de normas e a ampliação dos tipos de cimento e de adições.

Emissões indiretas → Maior eficiência elétrica e maior participação de energias renováveis.

Desmaterialização → Otimização do concreto em larga escala, uso de materiais de baixo carbono e exigência de requisitos ambientais mínimos em obras públicas e habitação.

Remoções e compensações → Marco legal para projetos de Soluções Baseadas na Natureza (SbN); projetos-piloto de CCUS adaptados ao contexto brasileiro; possibilidade de compensação por meio do metano evitado com o uso de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU); reconhecimento formal da recarbonatação.

2040–2050
Atingindo o Net Zero

No período que começa em 2040, as reduções diretas tornam-se cada vez mais limitadas, e as remoções e compensações tornam-se fundamentais para alcançar a neutralidade até 2050.

Como se trata de projetos complexos e de longo prazo, é essencial que políticas públicas, programas-piloto e preparativos já estejam em andamento antes de 2040.

Principais ações previstas (2040–2050):

- Expansão do uso de Combustível Derivado de Resíduos Urbanos (CDRU) e de hidrogênio de baixa emissão em larga escala.
- Adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN), viabilizada por políticas públicas que garantam marcos regulatórios adequados e adaptados às condições locais.
- Indústria preparada para eliminar as emissões indiretas, com 100% de energia renovável, e aprimoramento de outras soluções, como eletrificação e cogeração.
- Implementação em larga escala de CCUS, viabilizada por políticas públicas que garantam o desenvolvimento da infraestrutura de transporte e armazenamento.

Dados Numéricos

Fontes de emissões de CO2 no Setor de Cimento	2020	2030	2040	2050
Uso de Combustíveis	32%	30,5%	28,3%	24,9%
Calcinação da Matéria-Prima	62%	63,8%	66%	75,1%
Energia Elétrica	6%	5,7%	5,7%	0%

Estratégia Brasileira de Descarbonização	2050	
	%	Mt CO_2
REDUÇÕES DIRETAS		
Clínquer	9%	6
Cimento	212%	13
REDUÇÕES INDIRETAS		
Uso de eletricidade	5%	3
DESMATERIALIZAÇÃO		
Eficiência na produção de concreto	11%	7
Eficiência na construção	8%	5
REMOÇÕES E COMPENSAÇÕES		
Recarbonatação	7%	5
Soluções baseadas na Natureza / CCUS / Metanização	39%	26

Emissões	1990	2020	2030	2040	2050
Emissões combustíveis - kg CO2/ t. de clínquer	318	273	266	239	185
Emissões diretas no clinquer - kg CO2/ t. de clínquer - gross	871	844	823	796	742
Emissões diretas no cimento - kg CO2/ t. de cimento - gross	699	565	505	448	375
Emissões diretas - Mt CO2 / ano	18,1	37,3	33,3	32,9	30,7
Emissões totais - Mt CO2 / ano	18,1	37,3	33,3	32,9	0
Produção de cimento - Mt / ano	25,8	62	65,9	73,7	81,7

Participação no consumo de cimento no setor	1990	2020	2030	2040	2050
Construção industrializada	-	21%	32%	38%	43%
Artefatos pré-moldados	-	10%	12%	15%	17%
Cimento ensacado	-	69%	56%	47%	40%

Desmaterialização	1990	2020	2030	2040	2050
Ganhos de eficiência no design e construção	-	100%	96%	94%	92%
Ganho de eficiência na produção de concreto	-	100%	94%	92%	89%

Matriz de Combustíveis	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Combustíveis fósseis	95%	91%	81%	73%	60%	50%	30%
Biomassas	5%	6%	12%	14%	15%	17%%	20%
Combustíveis alternativos fósseis	0%	3%	7%	13%	15%	15%	15%
CDRU	0%	0%	0%	0%	10%	17%	25%
Hidrogênio de baixa emissão	0%	0%	0%	0%	0%	1%	10%

Consumo de Energia	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Consumo térmico fornos de clínquer - MJ/t	4214	3458	3675	3461	3340	3350	3220
Consumo de energia para produção de cimento - kWh/t cimento	116	115	118	111	107	95	82
Cogeração de energia por recuperação de calor (WHR) - kWh/t cimento	0	0	0	0	0	5	9
Consumo efetivo de energia elétrica - kWh/t cimento	116	115	118	111	107	95	82
Consumo de energia previsto para CCUS - kWh/t cimento	0	0	0	0	0	0	96

Composição do Cimento	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Clínquer portland	84%	77%	71%	71%	61%	57%	51%
Gesso	3%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
Calcário	5%	8%	9%	15%	22%	24%	26%
Pozolana	0%	1%	2%	1%	3%	5%	10%
Escória	5%	8%	11%	7%	7%	7%	7%
Cinzas	1%	2%	2%	1%	1%	1%	0%
Outros	2%	0%	1%	1%	2%	2%	2%

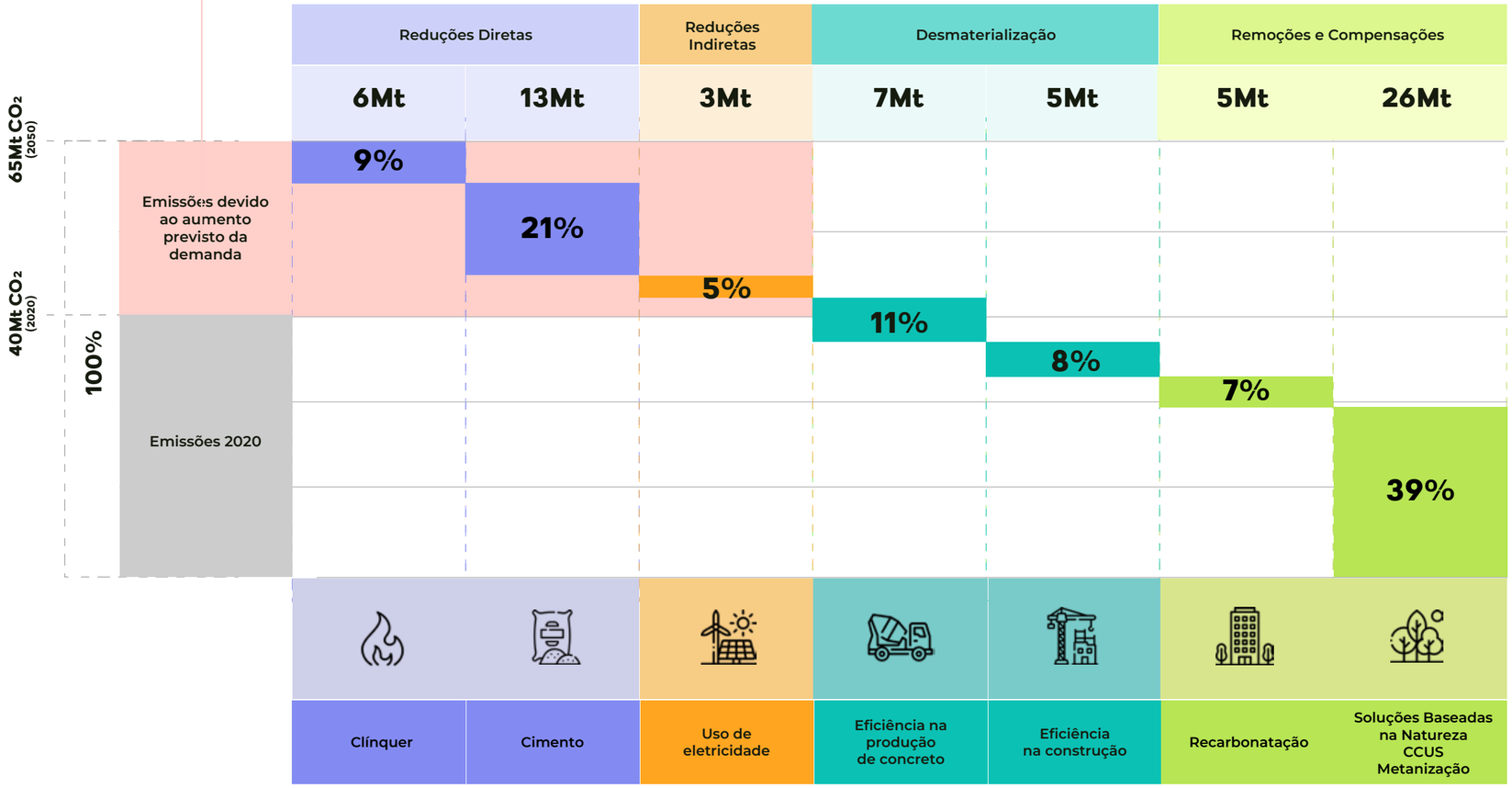
Roadmap do cimento

Com base nos cenários de evolução do setor, projeta-se que a demanda por cimento no Brasil cresça de forma contínua nas próximas décadas, alcançando um **aumento acumulado de cerca de 62% até 2050 em relação aos níveis atuais.** Para atender a essa demanda e, ao mesmo tempo, alcançar a neutralidade climática, foi desenvolvida a estratégia brasileira de descarbonização.

As metas e trajetórias propostas decorrem de uma composição de medidas organizadas em quatro pilares estratégicos:

- O primeiro abrange as emissões diretas, associadas principalmente à fabricação de clínquer e cimento.
- O segundo contempla as emissões indiretas, resultantes principalmente do consumo de energia elétrica e de insumos ao longo da cadeia produtiva.
- O terceiro pilar abrange a desmaterialização, voltada à eficiência no uso do cimento e do concreto no setor de construção civil.
- O quarto pilar reúne os mecanismos de remoção e compensação, que incluem a recarbonatação, captura, uso e armazenamento de carbono, além de soluções baseadas na natureza.

A implementação de todas as medidas para reduzir as emissões diretas e indiretas não será suficiente para compensar totalmente o aumento projetado das emissões até 2050, impulsionado pelo crescimento da demanda e pela expansão do mercado. Isso ressalta a importância de integrar o setor da construção com políticas de remoção e compensação de emissões.



4. Redução de Emissões por Eixos/Iniciativas

Reduções Diretas

Participação do eixo na neutralidade para 2050

Clínquer	Cimento
9% (6Mt)	**21%** (13Mt)

As emissões diretas na produção de cimento correspondem a cerca de 90% do total e constituem a parcela sob maior controle operacional da indústria.

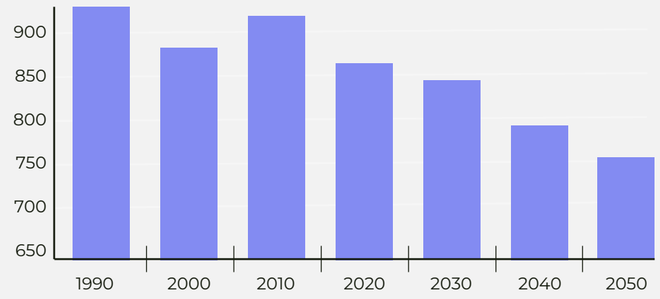
Em 2050, as emissões diretas do setor deverão ser reduzidas em 19 Mt, o que representa cerca de 30% do total previsto. Desse volume, aproximadamente 6 Mt virão da redução das emissões associadas ao clínquer e 13 Mt da diminuição das emissões ligadas à produção de cimento.

Clinquer 9%

A produção de clínquer Portland é a principal fonte de emissões diretas do setor. Como não há substituto viável para o clínquer no curto e médio prazo, as possibilidades de redução são limitadas. Ainda assim, projeta-se que as reduções relacionadas ao clinquer respondam por 9% das reduções totais do setor até 2050.

Emissões Diretas

(kg CO_2 / tonelada de clinquer) * gross



Esse resultado depende principalmente de duas frentes:

- Uso de combustíveis alternativos, substituindo gradualmente fontes fósseis por alternativas menos emissoras;
- A otimização da eficiência do processo, reduzindo o consumo energético específico.

É importante destacar que essas frentes não são totalmente complementares: a incorporação de combustíveis alternativos pode trazer perdas iniciais de eficiência térmica, exigindo períodos de ajuste operacional.

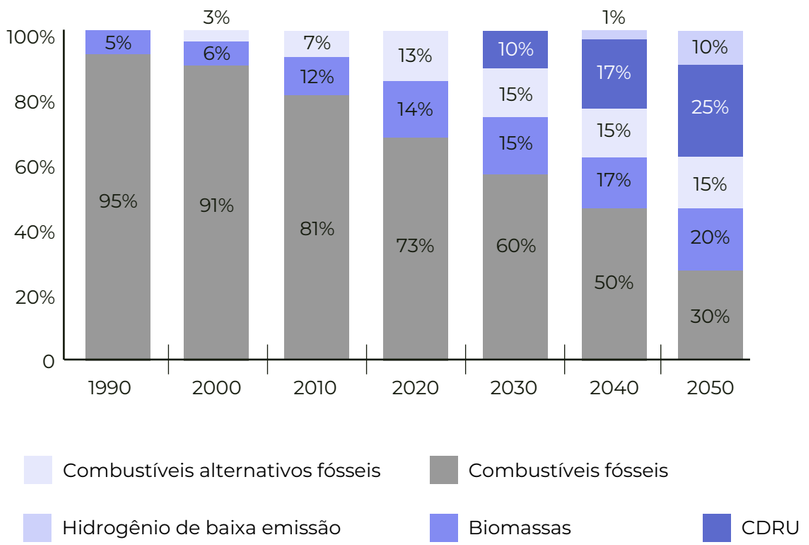
Uso de combustíveis alternativos

Na produção de clínquer, a principal fonte de energia é o calor utilizado nos fornos, por isso, nessa seção o foco está no uso e na transição das fontes de energia térmica.

Desde os anos 1990, o uso de combustíveis fósseis vem diminuindo, com a substituição gradual por biomassa e combustíveis alternativos, como pneus e resíduos industriais. Esse movimento, impulsionado por iniciativas e investimentos do próprio setor, reduziu em média 1% ao ano o uso de fósseis desde o início dos anos 2000.

A partir de 2030, espera-se que o uso de combustíveis alternativos se mantenha estável e que a participação da biomassa cresça de forma moderada, dependendo da oferta e da logística em cada região. O hidrogênio de baixa emissão deve começar a ser usado por volta de 2040, ganhando importância até 2050.

Mix Combustíveis Industria Brasil



Disponibilidade dos materiais alternativos no território brasileiro

A oferta de combustíveis alternativos está concentrada em poucas regiões, enquanto a indústria de cimento possui unidades distribuídas por praticamente todo o território nacional.

Essa diferença na localização cria um desafio logístico relevante. Por serem, em geral, leves e com elevado teor de umidade, esses materiais só costumam ser economicamente viáveis para transporte em distâncias que variam, na maior parte dos casos, entre 100 e 300 km entre o ponto de geração e a unidade consumidora.

Diante das limitações dos insumos atualmente empregados e do crescimento esperado na demanda por combustíveis neutros em carbono, o grande desafio da indústria será ampliar a diversidade de alternativas de baixo carbono na matriz energética. Nesse contexto, destacam-se três frentes:

Uso de Resíduos Sólidos Urbanos (CDRU)

A primeira frente envolve a ampliação do uso de combustível derivado de resíduos sólidos urbanos (CDRU). Essa solução, já consolidada na indústria europeia, apresenta potencial relevante no Brasil, mas demanda avanços para viabilizar sua adoção em maior escala. Entre os fatores essenciais para o desenvolvimento dessa alternativa, estão:

- Fortalecimento da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Desenvolvimento de modelos econômicos que priorizem a reciclagem e a recuperação energética em relação à disposição em aterros;
- Criação de instrumentos que favoreçam a integração entre todos os agentes da cadeia, desde a coleta e triagem, passando pelos catadores e prefeituras, até as empresas de gestão ambiental e as unidades consumidoras.

Uso de Biomassas

No Brasil, a indústria do cimento já utiliza diferentes tipos de biomassa, como casca de arroz, bagaço de cana, caroço de açaí, madeira de reflorestamento e subprodutos da indústria de papel e celulose. Em muitos casos, esses insumos são tratados como rejeitos e acabam acumulados na natureza. Quando aproveitados pela indústria, recebem uma destinação mais adequada e ajudam a evitar passivos ambientais.

Apesar do potencial, o uso de biomassa enfrenta limitações de disponibilidade geográfica, já que esses recursos dependem de polos agroindustriais e florestais específicos. Somam-se a isso desafios logísticos, variação na qualidade dos insumos e competição com outros usos energéticos e industriais. Para ampliar sua participação, é necessário estruturar cadeias de suprimento estáveis e competitivas, com polos regionais de coleta e processamento e investimentos em logística que reduzam custos de transporte e armazenamento. Políticas de incentivo também podem direcionar resíduos agroindustriais e florestais para a indústria do cimento em vez de aterros. Além disso, com esse movimento, é possível estimular sinergias com a bioeconomia e fortalecer arranjos produtivos locais.

Uso de Hidrogênio de baixa emissão

O uso do hidrogênio de baixa emissão na indústria cimenteira é ainda incipiente e limitado a pequenas porcentagens de substituição térmica (inferiores a 0,5%), mas tem funcionado como catalisador para o aproveitamento de combustíveis de menor qualidade.

Os principais desafios para ampliar seu uso em escala incluem:

- Viabilizar a produção em volumes significativos próximos aos centros consumidores;
- Expandir a infraestrutura de distribuição;
- Adaptar as instalações industriais para operar com esse insumo em maiores proporções.

Também será fundamental que a cadeia de suprimento alcance maior competitividade econômica. Considerando esses fatores, projeta-se o início de projetos-piloto entre 2030 e 2035, com expansão a partir do final da década e adoção em larga escala entre 2040 e 2050.

O cimento e a economia circular

A indústria do cimento tem um papel importante na economia circular ao transformar resíduos e subprodutos de outras cadeias produtivas em recursos úteis. O aproveitamento de biomassa e de combustíveis derivados de resíduos urbanos (CDRU) reduz o uso de combustíveis fósseis e dá destino adequado a materiais que, de outra forma, poderiam se acumular na natureza.

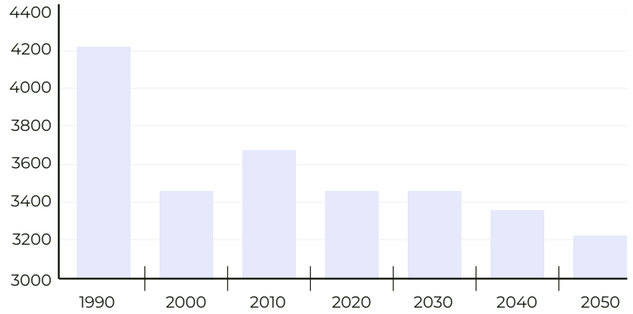
No Brasil, cerca de 40% dos resíduos sólidos urbanos ainda são descartados de forma inadequada, em lixões ou aterros. O setor pode ajudar a mudar esse cenário por meio do coprocessamento de combustíveis derivados de resíduos urbanos (CDRU) em fornos de clínquer — uma medida que reduz o consumo de combustíveis fósseis e evita a emissão de metano, fortalecendo a estratégia de mitigação da indústria.

Estima-se que o potencial de uso de CDRU nas fábricas de cimento no país chegue a 2 a 3 milhões de toneladas por ano, o equivalente ao tratamento adequado dos resíduos gerados por até 8 milhões de pessoas. Esse processo une ganhos ambientais, sociais e econômicos, mostrando como o setor contribui ativamente para uma economia mais circular e sustentável.

Otimização da Eficiência do Processo Produtivo do Clinquer

A melhoria contínua da eficiência nos processos produtivos é fundamental para setores de alta intensidade energética, como o cimento. Os principais indicadores de desempenho do setor revelam avanços relevantes ao longo das últimas décadas, além de projetarem novas oportunidades de otimização para o futuro.

Consumo térmico fornos de clinquer - MJ/t



A eficiência térmica dos fornos de clínquer tem se mantido estável desde o início dos anos 2000, após os avanços alcançados com a modernização das fábricas e a substituição de linhas menos eficientes. O leve aumento do consumo térmico em 2010 mostra a curva de aprendizagem ligada à introdução de combustíveis alternativos, que inicialmente impactaram a estabilidade operacional dos fornos.

Para avançar nessa trajetória, é necessário:

- Modernizar o parque fabril mais antigo, para viabilizar a redução do uso de combustíveis fósseis e otimizar o aproveitamento de alternativas como CDRU e hidrogênio de baixa emissão.
- Implantar novas linhas de produção, com utilização de tecnologias mais modernas, custos mais competitivos e emissões significativamente menores, tendência já observada em países como China e nações europeias.
- Adotar tecnologias digitais avançadas, como soluções da Indústria 4.0, inteligência artificial e aprendizado de máquina, que permitirão estabilizar processos e obter ganhos marginais adicionais de eficiência na base industrial existente.

Soluções promissoras

Uso de Matérias-primas Não-Carbonatadas na Produção de Clínquer

Na produção convencional de clínquer, o uso de calcário gera emissões inevitáveis de CO_2. A substituição parcial por matérias-primas não carbonatadas, como resíduos industriais ou concreto reciclado, pode ajudar a reduzir essas emissões. No entanto, essa rota ainda não foi incluída nas simulações do roadmap devido à falta de dados sobre disponibilidade, viabilidade técnico-econômica e cadeias de suprimento, além de barreiras regulatórias que hoje favorecem o descarte em aterros. Com avanços em pesquisa, logística e regulação, essa alternativa pode ganhar escala e reforçar a descarbonização do setor.

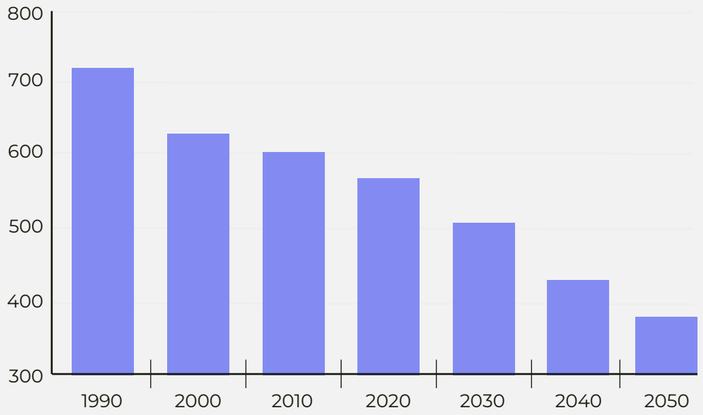
Cimento 21%

A redução das emissões na produção de cimento está diretamente ligada à diminuição da proporção de clínquer no produto final, substituindo-o por materiais com menor impacto nas emissões.

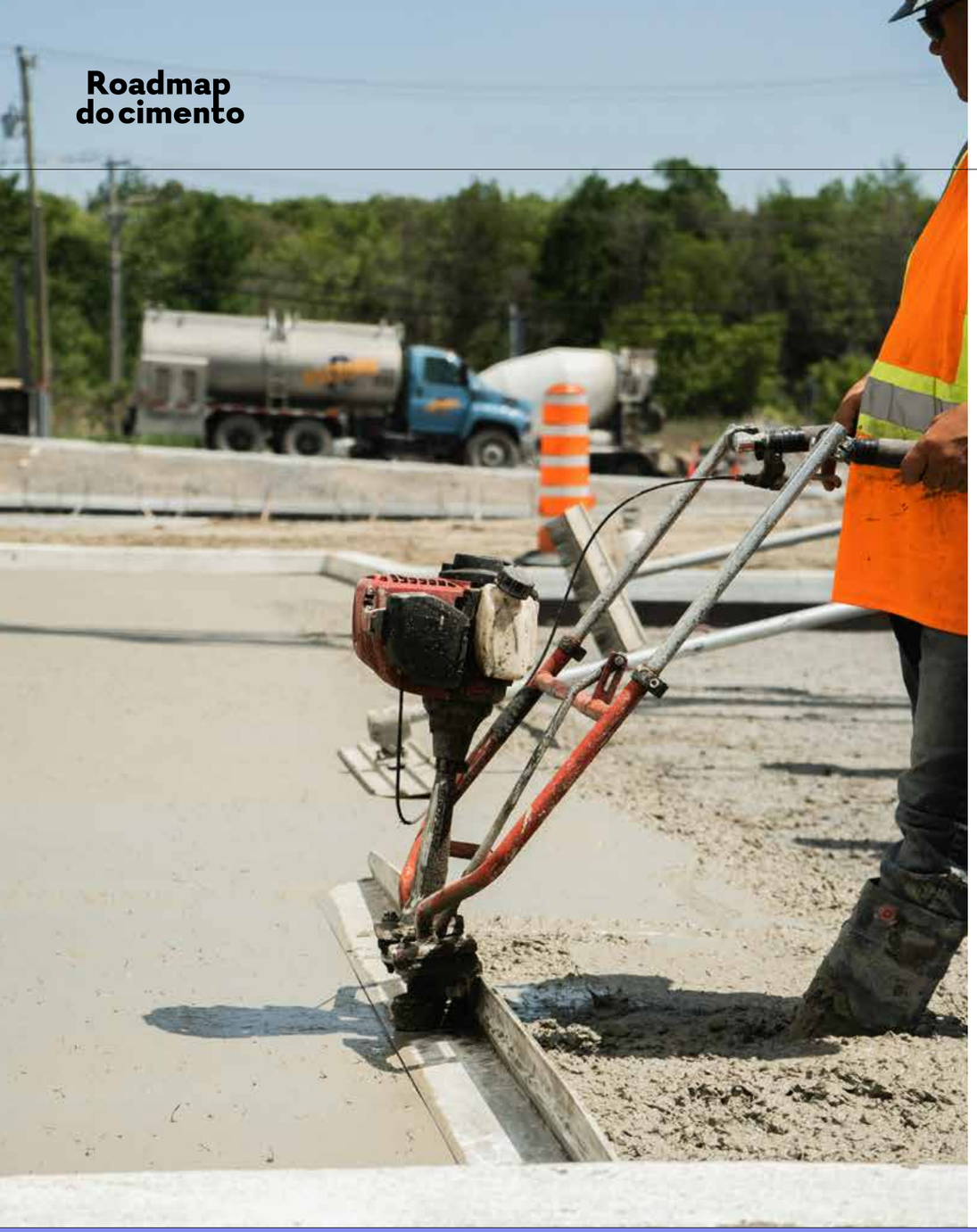
Além da vantagem ambiental, diversos substitutos do clínquer conferem melhorias adicionais ao desempenho do cimento e do concreto, como aumento de resistência mecânica em idades mais longas, maior proteção contra ambientes agressivos (marinhos, industriais ou de esgoto), incremento na impermeabilidade de estruturas, redução da fissuração, favorecendo a durabilidade das obras no longo prazo.

Emissões Diretas

(kg CO_2 / tonelada de cimenticio) * gross



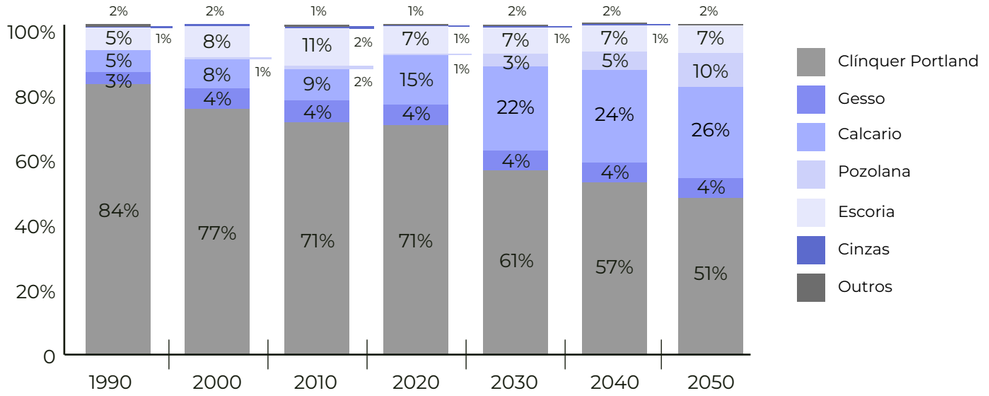
A produção de materiais cimentícios no Brasil deverá registrar uma redução de 31% nas reduções totais em 2050. Mas, mesmo com esses avanços, as emissões diretas não alcançarão o nível de zero líquido em 2050, sendo necessárias medidas complementares de compensação e remoção de carbono para viabilizar a neutralidade climática do setor.



Ao longo das últimas décadas, a composição do cimento vem mudando com a redução progressiva da participação do clínquer e a maior utilização de adições como calcário, pozolanas, escórias e cinzas. Essas combinações dão origem a diferentes tipos de cimento, que variam conforme a proporção dos materiais empregados e permitem atender tanto requisitos técnicos quanto a disponibilidade regional de insumos.

Espera-se uma redução gradual no uso de cinzas volantes, com o avanço das fontes renováveis na matriz elétrica. A oferta de escórias também deve diminuir, já que a descarbonização da indústria do aço tende a gerar menos desse subproduto. O uso de filler calcário ainda é limitado por questões técnicas e pelo perfil de consumo. Em contrapartida, as pozolanas calcinadas devem ganhar espaço, impulsionadas pela instalação de novas unidades industriais em diferentes regiões.

Composição do cimento Portland



OBS: o gesso não é considerado material substituto ao clínquer Portland, pois seu uso é indispensável para o controle do endurecimento do cimento/concreto.

Substitutos do Clinquer no Brasil

No Brasil, os principais materiais utilizados como substitutos do clínquer Portland são:

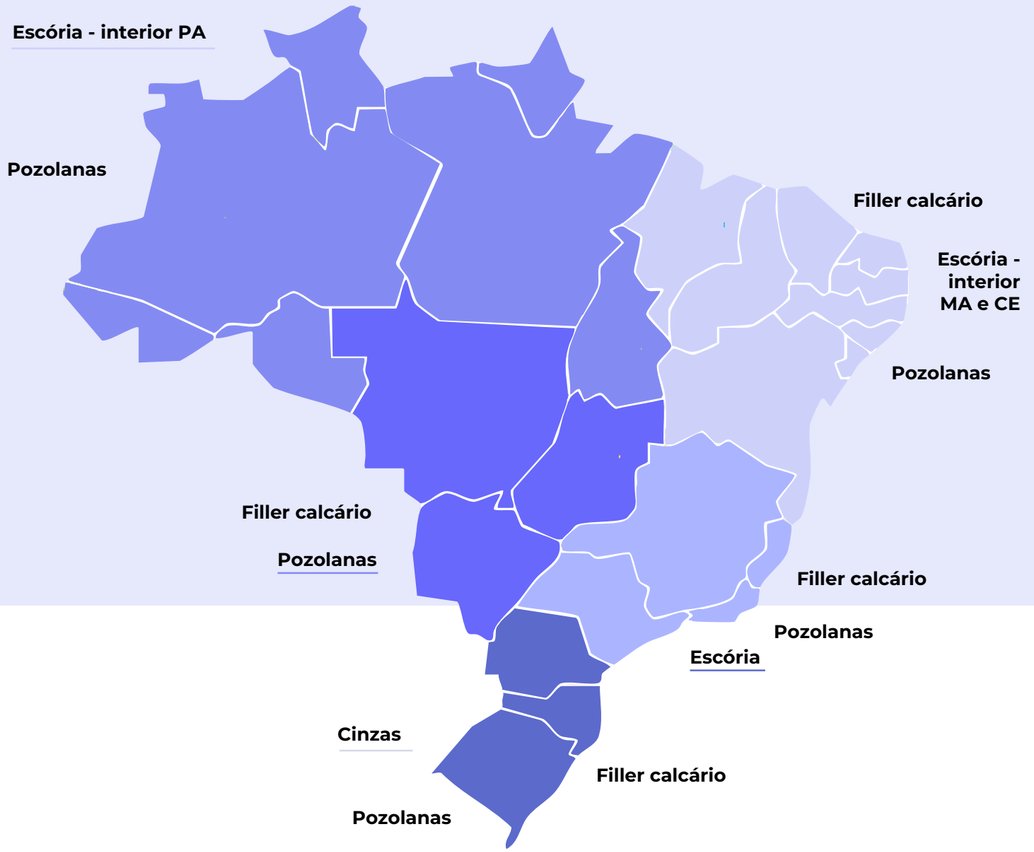
Filler calcário; mesmo material utilizado na produção de clínquer, porém incorporado ao cimento sem passar pela calcinação, evitando a emissão de CO_2. Está amplamente disponível no território nacional, exceto na maior parte da Amazônia.

Pozolanas; argilas com propriedades pozolânicas, utilizadas de forma bruta em pequenas porcentagens ou calcinadas em volumes maiores. Quando calcinadas, as emissões estão associadas apenas ao combustível do processo, que podem ser nulas ou reduzidas em caso de uso de energia renovável. As argilas cauliníticas são as mais comuns e estão distribuídas em praticamente todo o país.

Escórias; subprodutos da indústria siderúrgica (aço, ferro-gusa, entre outros), concentrados no Sudeste, no interior do Pará/Maranhão e no complexo de Pecém (Ceará).

Cinzas volantes; resíduos da queima de combustíveis sólidos, como carvão e algumas biomassas, com uso viável hoje apenas na região Sul.

Disponibilidade dos substitutos do clinquer no território brasileiro



Ao mesmo tempo, o mercado da construção também passa por mudanças que afetam o tipo de cimento demandado. O setor caminha para reduzir a venda de **cimento ensacado e ampliar a construção industrializada e o uso de artefatos pré-moldados**, o que é uma tendência comum em mercados mais maduros, que buscam reduzir desperdícios, melhorar a qualidade e otimizar custos. Esse movimento torna a demanda mais segmentada, com exigências específicas de desempenho, o que reforça a necessidade de adaptar as formulações do cimento e ampliar as opções de materiais alternativos.

De modo geral, é possível separar o mercado de produtos cimentícios em quatro canais de distribuição diferentes:

Cimento ensacado

Cimento vendido em sacos no varejo, geralmente usados em pequenas obras ou ampliações feitas por autoconstrução. Apresenta menor controle tecnológico e maior desperdício de materiais. No Brasil esse é o segmento em que a utilização de materiais substitutos do cimento ocorre em maior proporção.

Construção industrializada

Produção do concreto em usinas especializadas, entregue por caminhões betoneira e\ou armazenamento de cimento ou argamassa diretamente no canteiro, com aplicação mecanizada. Essas práticas melhora o controle e o rendimento, permitindo, maior controle de qualidade graças à escala e à profissionalização do processo.

Artefatos pré-moldados

Peças de concreto produzidas em fábricas, com alto controle tecnológico, e entregues prontas para instalação, reduzindo desperdícios e acelerando as obras.

Assim, para viabilizar essa transição e ampliar o uso de materiais substitutos ao clínquer, será necessário avançar em duas frentes estratégicas.

1 **Alteração nas normas de produção de cimento**

Atualmente, a norma brasileira limita o uso de filler calcário a 25% e restringe a fabricação de cimentos ternários (que combinam três tipos de substitutos). Em contraste, a norma europeia já permite, há bastante tempo, a utilização de até 35% de filler calcário e a adoção de sistemas ternários.

2 **Pesquisa e desenvolvimento de tecnologia**

Embora o Brasil já produza pozolanas calcinadas há anos, serão necessários estudos para identificar e otimizar fontes de argilas em larga escala, aprimorar a incorporação dessas pozolanas nos cimentos e assegurar elevado desempenho técnico em produtos com alto teor desse material, agregando valor para o cliente final.

Essa transformação também exige uma mudança na lógica de mercado. Hoje, o setor é predominantemente orientado pela relação custo-benefício imediata. Entretanto, fatores como os custos associados à descarbonização, a necessidade de maior resiliência das construções e o compromisso crescente da sociedade com a sustentabilidade tendem a redefinir os critérios de escolha.

Reduções Indiretas 5%

Participação do eixo na neutralidade para 2050

Uso de eletricidade

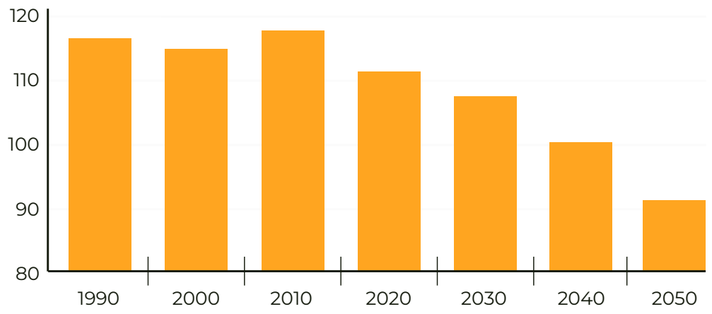
5% (3Mt)

As emissões indiretas estão ligadas principalmente as emissões de escopo 2, associadas ao consumo de energia elétrica adquirida pela indústria. Embora essas emissões tenham menor escala do que as as emissões do processo, elas têm uma participação considerável, sendo 10% do total de CO_2 gerado na produção de cimento.

A redução das emissões indiretas é resultado do menor consumo de eletricidade e da maior participação de fontes renováveis. Em 2050, essa frente deve representar cerca de 3 Mt de redução, o que corresponde das 5% das reduções totais do setor.

Consumo de energia para produção de cimento

kWh/t cimento



A redução do consumo de eletricidade deve ocorrer, principalmente, devido as ações de eficiência energética. Isso inclui a modernização do parque industrial, com a adoção de equipamentos mais eficientes e a incorporação de ferramentas digitais, como inteligência artificial e aprendizado de máquina, que aumentam a estabilidade operacional devem favorecer o uso mais racional da eletricidade.

Uso de eletricidade na indústria de cimento

Embora do consumo de eletricidade na pegada de carbono do cimento seja bem menor que o da energia térmica, o consumo de eletricidade tem forte influência na competitividade do setor.

Atualmente, o setor consome cerca de **1% de toda a eletricidade utilizada no país e 4% do total consumido pela indústria brasileira. Isso equivale à demanda de aproximadamente 3,9 milhões de residências brasileiras com consumo médio de 150 kWh por mês.**

Por ser uma indústria intensiva em energia, o consumo elétrico das unidades de produção é constantemente monitorado e otimizado, sendo um dos principais indicadores de desempenho do setor.

Quanto ao uso de energia elétrica renovável, a meta é que, até 2050, 100% da eletricidade consumida pela indústria seja de fontes renováveis. Atualmente, diversas empresas já avançam nesse sentido: investem em parques eólicos e solares, estabelecem metas e registram, em seus relatórios de sustentabilidade, a participação da eletricidade renovável.

Soluções promissoras

Sistemas de Cogeração de Energia Utilizando Recuperação de Calor

Um dos caminhos para aumentar a competitividade das fábricas de cimento e promover um uso mais otimizado dos recursos é a adoção de sistemas de cogeração com recuperação de calor residual, conhecidos como WHR (Waste Heat Recovery). Essa tecnologia aproveita os gases quentes gerados durante a fabricação do clínquer para produzir eletricidade, podendo suprir 20% de uma planta. Na prática, isso não reduz o consumo de energia elétrica do processo, mas diminui a dependência de compra de eletricidade da rede ou de contratos de fornecimento, trazendo economia, autossuficiência e eficiência energética. O WHR é amplamente difundido na Ásia. Na China, há décadas é exigido por lei em novas unidades produtoras de clínquer. No Brasil, no entanto, apenas uma fábrica conta com esse sistema em operação.

O principal entrave para a expansão do WHR no Brasil está na carga tributária sobre os equipamentos, que são importados. Para ampliar seu uso, é importante desenvolver políticas específicas que facilitem a adoção dessa tecnologia pela indústria e criem mecanismos que incentivem sua integração à matriz elétrica nacional, ampliando o aproveitamento do potencial de geração a partir do calor residual.

Soluções promissoras

Eletrificação

Tanto no Brasil quanto no exterior, a indústria cimenteira vem explorando novas alternativas para ampliar o uso de energia elétrica renovável, buscando ganhos de eficiência e redução de emissões. No entanto, a maioria dessas soluções ainda se encontra em fases iniciais de pesquisa e desenvolvimento, projetos-piloto ou demonstração, motivo pelo qual não foram consideradas nas projeções deste roadmap.

Entre as iniciativas em estudo, destacam-se:

- Eletrificação da frota de máquinas pesadas utilizadas na mineração.
- Eletrificação da frota de betoneiras e veículos de transporte de concreto.
- Eletrificação do processo de calcinação nos fornos de clínquer.

Desmaterialização

Participação do eixo na neutralidade para 2050

Eficiência na produção de concreto	Eficiência na construção
11% (7Mt)	**8%** (5Mt)

Na indústria do cimento, a desmaterialização significa construir com menos material, usando os recursos de forma mais eficiente e reduzindo as emissões em toda a cadeia produtiva.

Em 2050, as reduções associadas à desmaterialização alcançarão 12 Mt, correspondendo a 19% das emissões totais do setor. Desse total, cerca de 7 Mt estarão relacionadas à maior eficiência na produção de concreto e 5 Mt à eficiência na etapa de construção.

De forma geral, a desmaterialização se organiza em dois eixos complementares:

- Eficiência na Produção do Concreto, que abrange a otimização da produção e da composição do material;
- Eficiência na Construção, que promove a otimização do consumo de concreto nas obras por meio de processos e design que entregam o mesmo desempenho com menor intensidade de material ao longo do ciclo de vida.

Eficiência na Produção do Concreto 11%

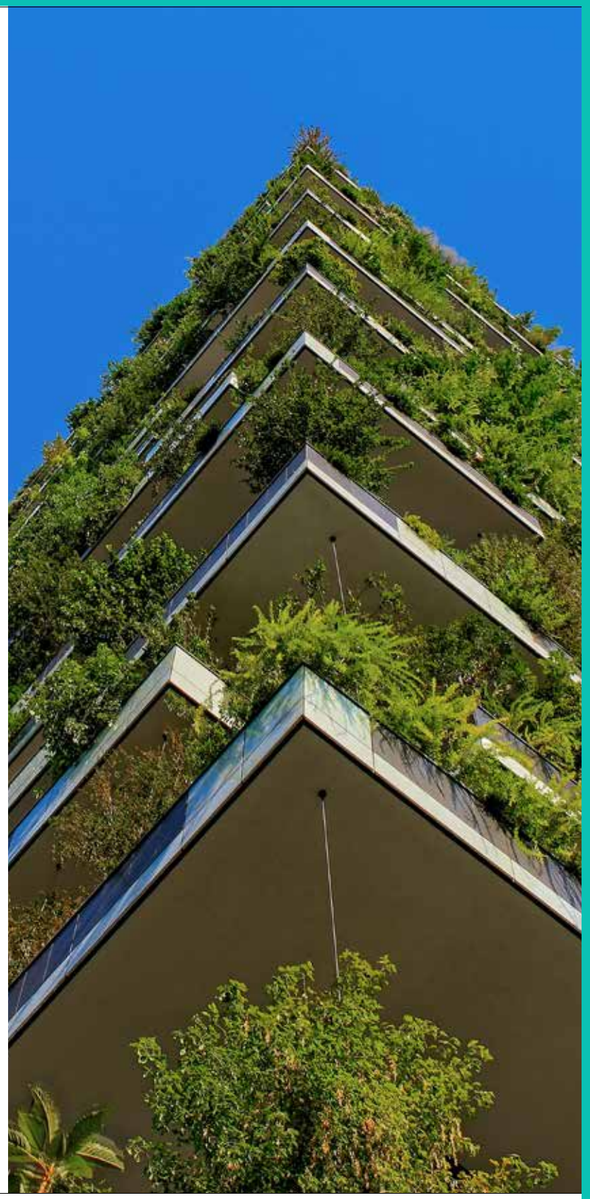
Embora as emissões diretas associadas à produção de concreto sejam pequenas quando comparadas às emissões da fabricação de cimento, a produção otimizada do material pode gerar reduções significativas em toda a cadeia. Isso ocorre tanto pela **otimização da composição do cimento, quanto pela industrialização da produção.**

No modelo utilizado neste roadmap, a eficiência na produção do concreto pode proporcionar reduções próximas de 11% nas emissões de CO_2 até 2050, em relação ao cenário base atual. O caminho até 11% de redução total se dá com 3% até 2030 e mais 8% até 2050

Otimização da composição do cimento

A eficiência no uso de cimento no concreto sempre foi buscada por razões econômicas. Agora, além do custo, ganha força também o motivo ambiental, com a pressão por materiais de menor pegada de carbono.

De acordo com o modelo adotado, a melhoria de eficiência para essa alavanca, tomando 2020 como referência, é estimada em cerca de 6 kg de cimento por metro cúbico de concreto até 2030 e de 16 kg/m³ até 2050. Essas reduções devem ocorrer sem prejuízo às características de desempenho do material, como resistência, durabilidade e permeabilidade.



Para viabilizar essa otimização, as seguintes medidas são essenciais:

- **Otimização da densidade e dos agregados**

  Moagens e britagens especiais, melhoram o empacotamento do concreto, aumentando durabilidade, reduzindo permeabilidade e elevando a resistência.

- **Desenvolvimento de novos aditivos ou aprimoramento dos existentes**

  Aditivos com maior poder de trabalhabilidade permitem o uso de materiais cimentícios não convencionais, mantendo qualidade e manuseio adequados.

- **Ajuste aos limites normativos**

  A otimização pode levar alguns concretos ao teor mínimo de cimento previsto em norma. Caso isso ocorra, será necessário avaliar tecnicamente a durabilidade das estruturas e, se pertinente, revisar a norma brasileira de concreto.

- **Redução de perdas no processo produtivo**

  Maior controle de dosagem de materiais e aditivos, melhor programação da produção e gestão eficiente do despacho de caminhões reduzem desperdícios e a necessidade de reciclagem.

- **Aplicação de digitalização e inteligência artificial**

  Uso de sistemas de previsão e otimização de traços em tempo real, controle automatizado de dosagem, monitoramento online do transporte para ajuste do concreto conforme o tempo de entrega e redução de desperdícios. Sistemas integrados de monitoramento da produção e logística permitem maior eficiência e menor impacto ambiental.

Uso de Materiais Cimentícios suplementares na Produção de Concreto Usinado

Os materiais cimentícios suplementares são os mesmos empregados como substitutos do clínquer na produção de cimento (ver o quadro “Substitutos do Clínquer no Brasil” na seção de redução direta).

Nos Estados Unidos, esses materiais são adicionados diretamente ao concreto. No Brasil, essa prática ainda é limitada. Aqui, esses materiais costumam ser usados internamente pela própria indústria de cimento como substituto do clínquer e seu uso no concreto é dificultado pela menor disponibilidade e pela distância entre as fontes produtoras e os principais centros consumidores.

Soluções promissoras

Reciclagem do concreto

O concreto pode ser reaproveitado de duas formas: como substituto parcial do clínquer ou do cimento, ou incorporado novamente na produção do prórpio concreto. No entanto, essa cadeia reversa demanda muita energia e enfrenta barreiras logísticas, dado que o concreto é pesado e de difícil transporte em um país de dimensões continentais como o Brasil. Por isso, a aplicação mais realista e viável é a reciclagem diretamente na etapa de produção de concreto, próxima aos locais de consumo.

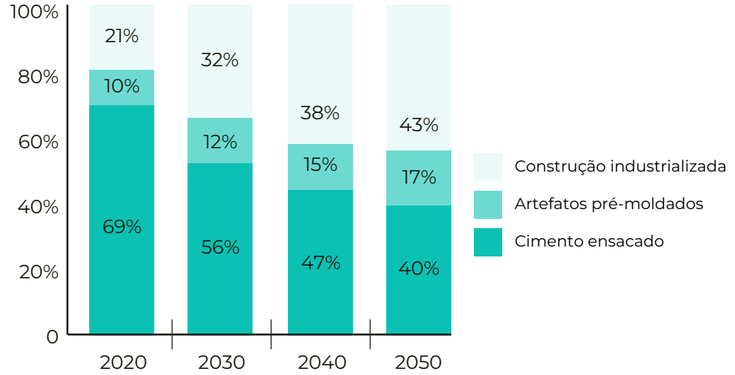
Industrialização da produção

Nos próximos anos, é esperado que o uso de concreto no Brasil passe por uma transformação relevante, com aumento progressivo do concreto industrializado e redução do concreto produzido diretamente em obras a partir de cimento ensacado. Esse movimento já se observa nas grandes cidades, e em algumas regiões metropolitanas, especialmente no Sul e no Sudeste, o consumo de concreto industrializado já representa mais de 60% do total, mais que o dobro da média nacional.

Essa mudança traz efeitos opostos. A produção industrializada, com maior controle tecnológico, permite diminuir o consumo de cimento. Mas ao mesmo tempo, concretos com maior controle de qualidade exigem cimentos mais puros e, consequentemente, com emissões de CO_2 mais elevadas, devido à necessidade de desempenho superior.

Considerando esses dois fatores, o modelo prevê, em relação a 2020, uma redução de 1 a 2 kg de cimento por metro cúbico de concreto. Embora essa diminuição pareça pequena, ela representa cerca de 700 mil toneladas anuais de cimento a menos em 2050, correspondendo a uma redução estimada de aproximadamente 270 mil toneladas de CO_2 por ano.

Participação no consumo de cimento por setor



Eficiência na Construção 8%

Eficiência na construção é o conjunto de práticas que reduzem os usos e as perdas de cimento ao longo da obra. Essa alavanca atua por duas frentes: **otimização de processos construtivos e alteração do design das edificações.**

No modelo utilizado nesse roadmap as ações de eficiência na construção devem contribuir com 8% das reduções totais do setor até 2050, principalmente pelo menor consumo de cimento e concreto.

Otimização de Processos Construtivos

A redução de CO_2 por otimização dos processos construtivos consiste em reestruturar a forma como as obras são planejadas e executadas para alcançar o mesmo desempenho estrutural com menor uso de materiais. Essa abordagem envolve otimizar o dimensionamento, o processo construtivo e a escolha de tecnologias, de modo a aproveitar melhor cada elemento da estrutura, preservando resistência, durabilidade e funcionalidade.

No contexto brasileiro, essa mudança é especialmente relevante. Hoje, a cadeia de construção apresenta um nível tecnológico inferior ao de países mais desenvolvidos, mas essa realidade tende a mudar de forma acelerada nas próximas décadas. Entre os fatores que impulsionam essa transformação estão:

- A necessidade de expandir rapidamente a infraestrutura habitacional, industrial e de transporte;
- A provável redução da disponibilidade de mão de obra qualificada devido ao envelhecimento da população;
- E a adaptação das edificações para suportar eventos climáticos extremos.

Essas transformações criam condições para ganhos expressivos em eficiência e na redução das emissões do setor. Mas a consolidação desse avanço depende de políticas e diretrizes que orientem o mercado para práticas mais sustentáveis. Portanto, é estratégico estabelecer critérios mínimos de desempenho ambiental para materiais e sistemas construtivos, especialmente em obras públicas e programas de financiamento habitacional, priorizando alternativas de baixo carbono em toda a cadeia.

Alterações no Design das Construções

Alterar o design das construções significa reconfigurar projetos estruturais para garantir o mesmo desempenho mecânico com menor uso de materiais, melhor aproveitamento dos recursos e maior precisão na execução. As principais frentes dessa evolução incluem:

- **Otimização estrutural**

  Uso de soluções como lajes com vazios ou lajes protendidas, que garantem a mesma resistência usando menos concreto.

- **Otimização de projetos**

  Ajustes no espaçamento das colunas, na resistência do concreto e nas dimensões das estruturas, com apoio de ferramentas digitais que ajudam a otimizar o uso de materiais.

- **Novas tecnologias construtivas**

  Uso de impressão 3D para edificações, desenvolvimento de sistemas pré-fabricados mais eficientes e produção industrial de módulos estruturais padronizados para montagem no local da obra.

Remoções e Compensações

Participação do eixo na neutralidade para 2050

Recarbonatação	Soluções Baseadas na Natureza CCUS Metanização
7% (5Mt)	**39%** (26Mt)

Remoções e compensações são estratégias utilizadas para neutralizar emissões de gases de efeito estufa que não podem ser eliminadas por melhorias de eficiência ou substituição tecnológica e de recursos.

No contexto da indústria do cimento, essas medidas tornam-se essenciais para lidar com a parcela de emissões que é inevitável, especialmente aquelas resultantes de processos químicos intrínsecos à produção de clínquer.

As remoções e compensações são compostas por uma combinação de alternativas: recarbonatação, captura, utilização e estocagem de carbono (CCUS), soluções baseadas na natureza e contabilização das emissões evitadas de metano pelo uso de resíduos urbanos como combustível. Cada uma dessas abordagens apresenta desafios específicos relacionados à maturidade tecnológica, viabilidade econômica ou necessidade de regulamentação para inclusão nos inventários de carbono.

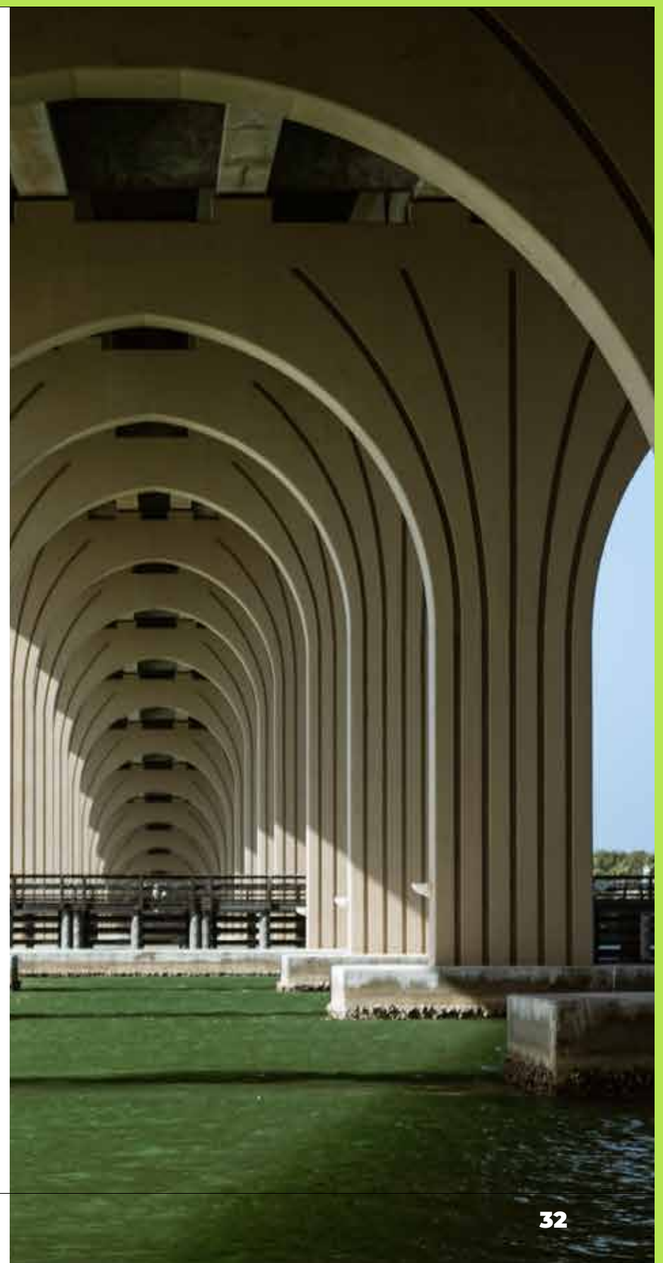
Em 2050, as reduções associadas a remoções e compensações totalizarão 31 Mt, correspondendo a 46% das emissões totais do setor. Desse total, aproximadamente 5 Mt estão vinculadas às reduções da recarbonatação e 26 Mt às reduções associadas às Soluções Baseadas na Natureza (SbN), Captura, Utilização e Estocagem de Carbono (CCUS) e contabilização das emissões evitadas de metano pelo uso de resíduos urbanos como combustível (Metanização).

Recarbonatação 7%

A recarbonatação é um processo natural em que o concreto reabsorve parte do CO_2 presente na atmosfera, formando carbonatos estáveis que passam a fazer parte da estrutura do material. Esse fenômeno acontece ao longo do tempo em praticamente todas as estruturas de concreto e resulta na retenção permanente desse carbono. Por causa disso, cidades inteiras podem ser vistas como verdadeiros “sumidouros” de carbono, ajudando a reduzir as emissões em toda a cadeia de valor do cimento e do concreto.

Pesquisas mostram que a recarbonatação pode reabsorver entre 20% e 50% do CO_2 emitido na produção do cimento utilizado em uma estrutura. No entanto, o reconhecimento oficial desse processo na contabilidade de carbono só ocorreu em agosto de 2021, com a publicação do 6º Relatório de Avaliação do IPCC.

Para este roadmap, a quantificação da recarbonatação foi feita com base no nível 1 (IVL01) da metodologia desenvolvida pelo Swedish Environmental Research Institute (IVL). Foi adotada a premissa de que apenas 20% das emissões do clínquer presente no concreto seriam reabsorvidas, valor mínimo previsto pela metodologia. Essa escolha conservadora se deve ao fato de ser a primeira vez que o processo é incluído no modelo de redução de emissões do setor de cimento e concreto no Brasil, e porque os estudos ainda estão em andamento para detalhar melhor esse potencial. Para que a recarbonatação possa ser adotada em escala global como uma estratégia de mitigação climática, será necessário ampliar o reconhecimento internacional, além de criar padrões e mecanismos de certificação.



Soluções Baseadas na Natureza – SbN

As Soluções Baseadas na Natureza (SbN) englobam estratégias que aproveitam processos e ecossistemas naturais para enfrentar desafios ambientais e sociais, incluindo a mitigação das mudanças climáticas. Essas iniciativas envolvem a conservação, restauração e manejo sustentável de ambientes naturais, capazes de sequestrar carbono, melhorar a qualidade do ar e aumentar a resiliência das comunidades frente a eventos extremos.

No caso do Brasil, o potencial é expressivo: há extensas áreas de biomas alterados ou degradados que poderiam receber projetos de reflorestamento e regeneração ecológica de grande porte, com elevada capacidade de captura de carbono.

Na indústria do cimento, as SbN ganham relevância por atuarem justamente sobre as emissões químicas do processo produtivo, que não podem ser eliminadas por medidas como troca de combustíveis ou ganhos de eficiência energética. Essas soluções são um instrumento complementar de compensação para alcançar a neutralidade climática. Sendo uma alternativa mais simples, robusta e de menor custo em comparação com tecnologias como o CCUS.

No entanto, sua adoção exige atenção a alguns princípios essenciais:

1. É necessário instituir métodos de gestão das soluções para que se reduza o risco de liberação futura desse carbono.

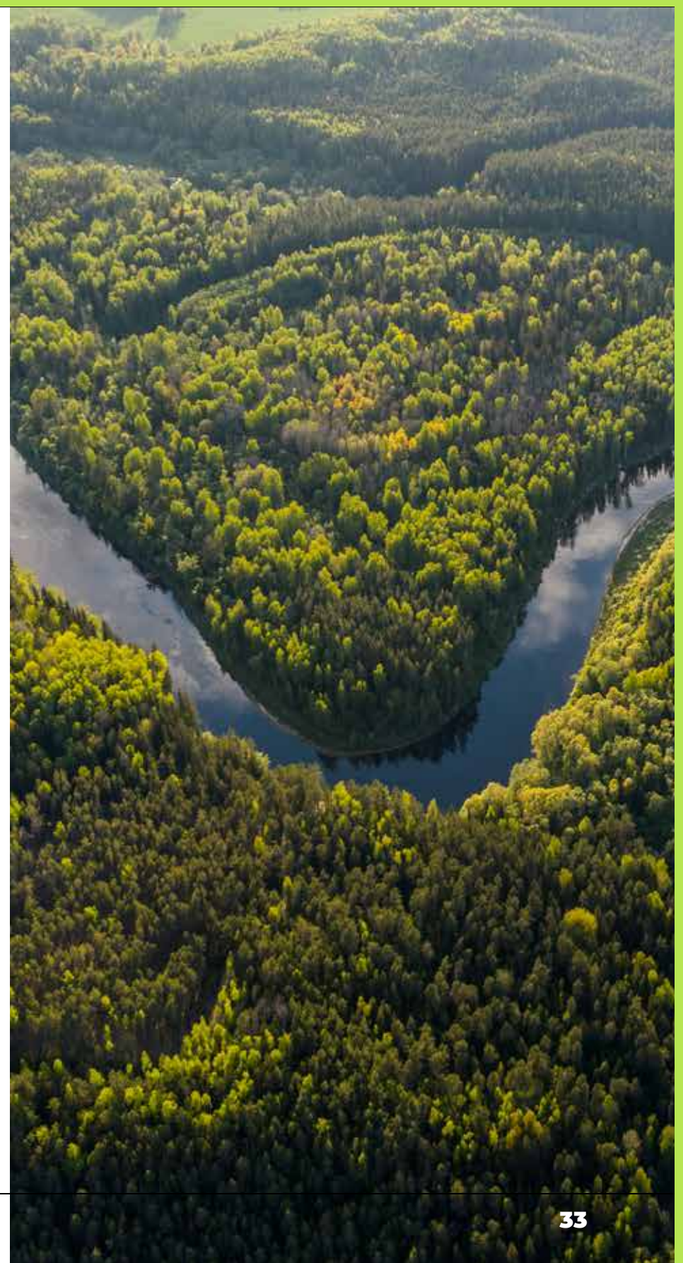
2. Devem ser empregadas apenas por empresas que mantenham estratégias rigorosas de redução de emissões diretas e indiretas, evitando que se tornem um substituto indevido para ações de mitigação dentro do próprio controle operacional;

3. Abordagens padronizadas devem ser utilizadas para avaliar sua eficácia e seu potencial de abatimento de emissões ao longo do tempo.

Uso das SbN pela indústria do cimento

A indústria do cimento pode usar as Soluções Baseadas na Natureza (SbN) para compensar parte de suas emissões e, ao mesmo tempo, gerar benefícios ambientais e sociais duradouros. Alguns exemplos incluem:

- **Reflorestamento e restauração de áreas degradadas →** ajuda a capturar carbono, melhorar o solo e recuperar a biodiversidade.
- **Proteção de bacias hidrográficas →** conserva matas e nascentes, reduz o risco de escassez e melhora o equilíbrio dos ecossistemas.
- **Criação de áreas verdes urbanas →** investir em parques e corredores ecológicos melhora o clima local e o bem-estar das comunidades.



Captura, Utilização e Estocagem de Carbono – CCUS

CCUS é o conjunto de tecnologias usadas para capturar o dióxido de carbono (CO_2) emitido em processos industriais e dar a ele um destino seguro — seja em aplicações que evitem sua liberação na atmosfera, seja em locais de armazenamento permanente, como formações geológicas subterrâneas.

No setor de cimento, o CCUS é uma das poucas soluções capazes de tratar diretamente as emissões geradas na reação química de calcinação do calcário, que representam boa parte das emissões totais da produção.

Além disso, apesar do potencial, a adoção do CCUS no Brasil ainda enfrenta desafios importantes. As tecnologias devem se tornar viáveis técnica e financeiramente em cerca de 10 a 15 anos, mas os custos de captura continuam altos: acima de USD 100 por tonelada de CO_2, valor superior ao preço do cimento em muitos mercados. Além disso, o país ainda carece de infraestrutura para transporte do gás e de regras claras para o armazenamento e alguns processos demandam grande consumo de energia. Nos fornos de clínquer, por exemplo, os gases liberados contêm de 25% a 30% de CO_2. Para que o transporte, o uso ou o armazenamento sejam viáveis, é necessário concentrar esse gás a pelo menos 90% de CO_2 ainda dentro da fábrica.

Considerando essas barreiras e a prioridade inicial de outras alavancas de redução, estima-se que os primeiros projetos-piloto no Brasil surjam apenas por volta de meados da década de 2030. Implantação em escala mais ampla deverá ocorrer a partir de 2040.

Contabilização das emissões evitadas de Metano

Neste item, consideram-se as emissões de metano evitadas pelo aproveitamento de resíduos como combustível nos fornos de clínquer. Ao serem coprocessados, esses resíduos deixam de se decompor em condições anaeróbias e, portanto, não geram metano; essa parcela é registrada como abatimento adicional nas emissões do setor.

O roadmap propõe que essa redução de metano seja incorporada como parte das compensações setoriais.

Para isso, recomenda-se:

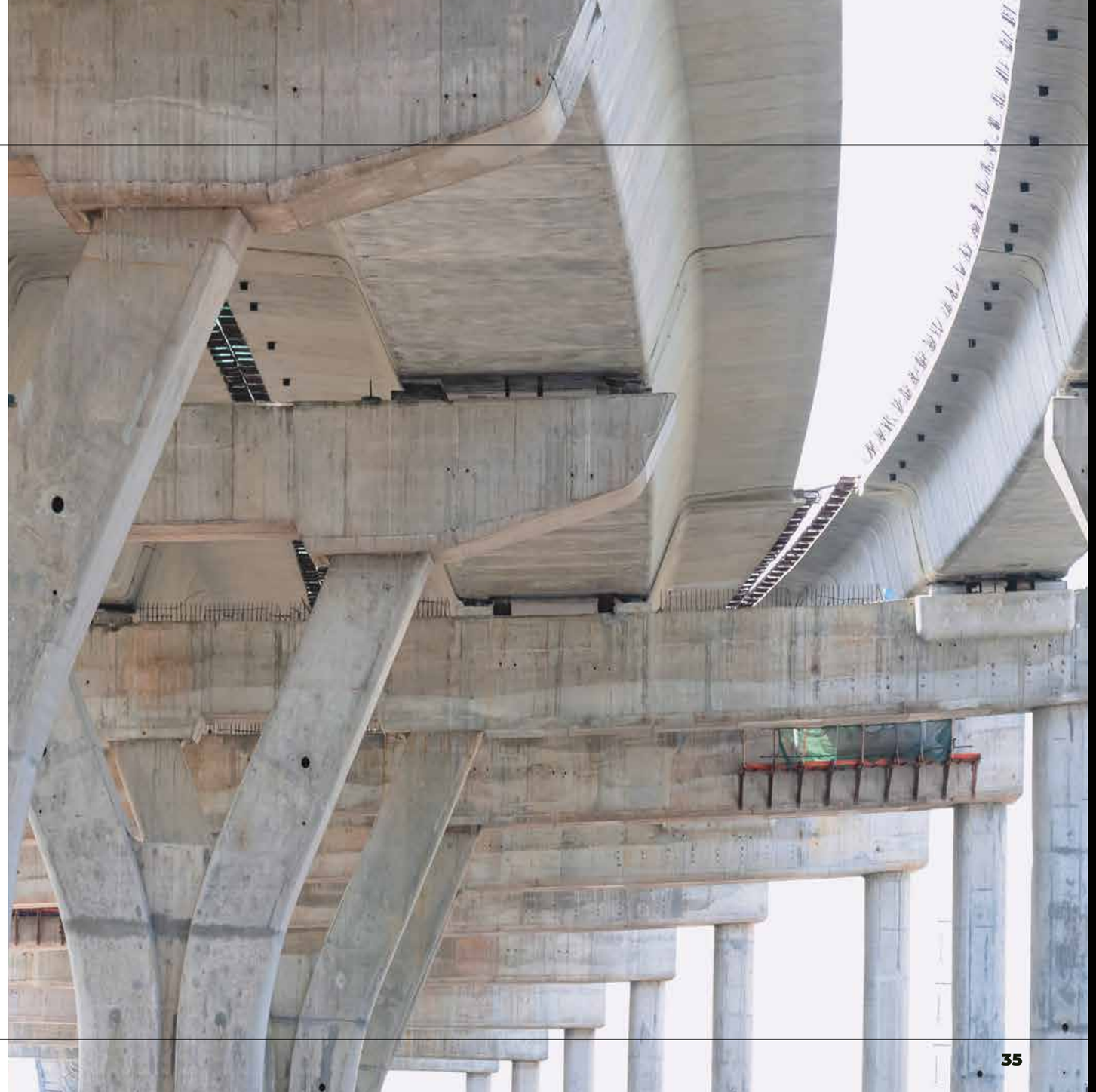
- Estabelecer políticas que permitam a indústrias com dificuldades de abatimento de CO_2 compensar suas emissões pelo metano evitado;
- Garantir que essas políticas considerem a evolução do manejo de resíduos sólidos urbanos no país;
- Desenvolver metodologias reconhecidas para estimar o volume de metano evitado pelo coprocessamento;
- Aumentar a participação de biomassa passível de metanização na matriz de combustíveis;
- Prevenir a dupla contagem nos inventários de emissões, assegurando transparência e credibilidade.

5. Implementação

A descarbonização da indústria do cimento no Brasil exige uma transformação estrutural, ancorada no alinhamento entre políticas industriais, de demanda e de incentivos econômicos. Essa transformação só se viabiliza com ação coordenada de governo, indústria e sociedade, combinando o papel regulador e indutor do Estado, a capacidade de execução e inovação do setor produtivo e o engajamento da sociedade.

No decorrer deste roadmap, traçamos um caminho olhando para o passado e projetando o futuro, identificando marcos temporais e definindo as estratégias necessárias para viabilizar a descarbonização. Agora, avançamos para responder como chegaremos lá: quais medidas, instrumentos e mecanismos precisam ser implementados para que os cenários apresentados anteriormente se concretizem. Esta é a tradução das metas e visões em ações concretas, organizadas de forma estruturada e alinhadas com a realidade do setor.

No quadro a seguir, trazemos uma avaliação qualitativa dos desafios e oportunidade para a implementação de cada alavanca, com classificação por complexidade e recomendações para viabilizar sua implementação.



Roadmap do cimento

Eixos	Alavancas	Maturidade tecnológica	Fatores externos	Custos relativos	Legislação	Recomendações
Reduções Diretas (Clínquer)	Uso de Combustíveis Alternativos (Biomassa)	Tecnologia já em uso na indústria	Disponibilidade limitada e regional de biomassas	Baixo impacto no custo final do cimento	Existe legislação relacionada indiretamente, mas não há legislação aplicada para uso na industria	1. Facilitar o licenciamento para uso de biomassa em substituição, com processo mais simples e prazos claros. 2. Incluir o uso de biomassa na indústria nas políticas de incentivo aos combustíveis (metas, créditos/isenções e linhas dedicadas). 3. Criar linhas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para otimização da produção e do uso de biomassa para fins térmicos em fornos de clínquer.
	Uso de Combustíveis Alternativos (CDRU)	Tecnologia disponível e em uso em vários países, principalmente Europa	O atual modelo de negócio de tratamento de resíduos urbanos não viabiliza projetos de CDRU em grande parte do país	Custos de projetos são conhecidos, porém falta segurança econômica / jurídica para contratos de longo prazo de destinação dos resíduos	Política Nacional de Resíduos Sólidos	1. Aplicar integralmente a PNRS e implementar mecanismos que incentivem rotas de aproveitamento com preferência ambiental do uso de resíduos, como o coprocessamento na indústria, desestimulando a destinação em usos mais emissores, como aterros. 2. Facilitar o processo de licenciamento para o uso de CDRU no coprocessamento, com redução de prazos, modalidade de licença por faixas/características de resíduos e possibilidade de proporções flexíveis, com foco na redução de GEE e controle por desempenho.
	Uso de combustíveis alternativos (hidrogênio de baixa emissão)	Tecnologia disponível	Alto custo do energético. Falta de infraestrutura para transporte do combustível	Impacto altíssimo no custo, inviabilizando o uso no setor. Evoluções da tecnologia podem reduzir custos no futuro	Não há legislação específica para uso ou reconhecimento da redução de carbono	1. Criar projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para avaliar a viabilidade econômica e técnica do uso de hidrogênio na indústria. 2. Criar marco regulatório do uso de hidrogênio, incluindo critérios de elegibilidade, certificação da redução de emissões e requisitos de segurança e operação.
	Otimização da eficiência do processo produtivo	Tecnologia já em uso na indústria	Falta de direcionamento de programas para setor do cimento	Alto custo de retrofit de instalações antigas	Existem programas de incentivo para eficiência energética na indústria, mas não é direcionada para setor de cimento	1. Criar um programa setorial de incentivo à eficiência do processo produtivo, com incentivos fiscais, redução de impostos para equipamentos que promovam melhoria ambiental e linhas de financiamento com juros reduzidos.

Roadmap do cimento

Eixos	Alavancas	Maturidade tecnológica	Fatores externos	Custos relativos	Legislação	Recomendações
Reduções Diretas (Cimento)	Uso de filler calcário	Necessidade de desenvolvimento de sistemas de moagem	Disponibilidade de material em todas as regiões	Baixo impacto no custo final do cimento	Norma existente, mas demanda atualização	1. Promover nova revisão da Norma de Cimento, elevando o percentual de calcário permitido no cimento. 2. Estabelecer a normalização dos cimentos ternários.
	Uso de pozolana calcinada	Necessidade de desenvolvimento de produtos com alta adição de pozolana	Disponibilidade de argilas para produção de pozolanas	Custos de CAPEX e operação de novas instalações	Norma existente	1. Promover a redução do fator clínquer por meio de advocacy setorial e incentivar o uso de cimentos com maior adição, viabilizando linhas de financiamento a juros reduzidos para sua adoção. 2. Implementar uma política de compras públicas que considere critérios de sustentabilidade e remunere iniciativas que gerem incremento de custo de produção, integrando-se ao mercado regulado de carbono.
Reduções Indiretas	Uso de eletricidade renovável	Garantia de estabilidade de fornecimento com sistemas 100 % renováveis	Variações cíclicas no ambiente de negócio para o sistema energético brasileiro	Baixo impacto no custo final do cimento	Não existe legislação específica para contabilização de carbono para indústria que usem fontes 100% renováveis	1. Promover a manutenção dos benefícios de Autoprodutor de energia e de Energia Incentivada (MP 1.304). 2. Solucionar o Curtailment e os cortes na geração renovável, acelerando investimentos em linhas de transmissão e priorizando o corte de até 100% nas térmicas para manutenção da geração renovável.
	Implementação de sistemas de cogeração WHR	Tecnologia disponível com casos de uso na Asia	Falta de direcionamento de programas para setor do cimento (gases quentes residuais de processo)	Viabilidade financeira altamente prejudicada por impostos sobre CAPEX	Existem programas de incentivo para eficiência energética na indústria, mas não é direcionada para setor de cimento	1. Incentivar o desenvolvimento de tecnologia nacional e estruturar programa para incentivo da cogeração (ex.: programa de redução de demanda). 2. Isentar de impostos de importação os equipamentos WHR.

Roadmap do cimento

Eixos	Alavancas	Maturidade tecnológica	Fatores externos	Custos relativos	Legislação	Recomendações
Desmaterialização	Eficiência na produção do concreto	Necessidade de P&D para desenvolvimento de novos processos de redução do carbono no concreto (aditivos, agregados...)	Aceitação dos agentes de mercado (construtoras, governo, empresas do setor) para consenso sobre soluções	Dependem das alterações materiais definidas após estudos	Existem normas para sistemas construtivos, mas não contemplam essas alterações da produção de concreto	1. Implementar política de compras públicas que considerem critérios de sustentabilidade e remunerem iniciativas que gerem incremento de custo de produção, incluindo o mercado regulado de carbono.
	Eficiência na construção	Necessidade de P&D para desenvolvimento de novos métodos construtivos e estudos de durabilidade de estruturas	Aceitação dos agentes de mercado (construtoras, governo, designers) para consenso sobre soluções	Dependem das alterações de design propostas	Existem normas para sistemas construtivos, mas não contemplam essas alterações	1. Implementar política de compras públicas que considerem critérios de sustentabilidade e remunerem iniciativas que gerem incremento de custo de produção, incluindo o mercado regulado de carbono. 2. Revisar os códigos de construção.

Roadmap do cimento

Eixos	Alavancas	Maturidade tecnológica	Fatores externos	Custos relativos	Legislação	Recomendações
Remoções e Compensações	Recarbonatação	Comprovação científica da quantidade real de carbono absorvidos em estruturas de concreto em andamento	Avaliação de efeito regionais na contabilização do carbono - clima, temperatura, concentração	Sem impacto no custo final do produto	Legislação para contabilização inexistente, sendo necessário suporte para sua aceitação - UNFCCC	1. Definir diretrizes e metodologia nacional para medir e comprovar a recarbonatação (parâmetros regionais e por tipologia de obra). 2. Integrar no inventário setorial e no Inventário Brasileiro, com projetos-piloto de monitoramento para dar lastro técnico.
	Captura, Utilização e Estocagem de Carbono (CCUS)	Em desenvolvimento. Sistemas pilotos em processo de aumento de capacidade, necessita uma década para comprovação, redução de custos e adaptação local	Não há no Brasil nenhum incentivo (mercado de carbono, outro) ou condições estruturais (gasodutos, locais de estocagem) que viabilizem projetos de CCUS no Brasil na próxima década	Projeções indicam que custos de tecnologia possam no mínimo dobrar os custos de produção de cimento no Brasil se a tecnologia for adotada em larga escala na maioria das plantas	O uso de tecnologia deverá possuir legislação sobre incentivos à captura, como transportar e principalmente como e onde estocar o CO2 capturado	1. Criar marco legal de CCUS (captura, transporte e estocagem geológica), com integração ao mercado de carbono e mapeamento de bacias e infraestrutura necessária. 2. Estabelecer programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) pilotos em plantas de cimento, com linhas de financiamento e estudos de viabilidade técnica e econômica.
	Contabilização das emissões evitadas de Metano	Necessidade de desenvolver uma metodologia para estimar o metano evitado pelo coprocessamento	Evolução do tratamento de resíduos sólidos no Brasil	Demanda análises da porcentagem de biomassa metanizável usada em fornos de clínquer para estimar o seu impacto no custo final do produto	Não existe legislação específica para contabilizar carbono para a indústria que use a metanização	1. Criar metodologia oficial para medir e comprovar o metano evitado pelo coprocessamento e incorporá-la à PNRS e ao mercado de carbono. 2. Aplicar integralmente a PNRS, desestimulando aterros e reconhecendo, nas regulações e mercados de carbono, o abatimento pelo coprocessamento.
	Soluções baseadas na natureza (SBN)	Soluções e práticas já disponíveis, mas demandam adaptação a cada bioma e escala do projeto	Dependência de disponibilidade de áreas adequadas, governança fundiária e engajamento comunitário	Custos de implementação relativamente baixos, mas alta variabilidade conforme o tipo de projeto e região	Existem marcos legais e políticas de incentivo, mas faltam diretrizes padronizadas para contabilização e certificação dos créditos de carbono	1. Promover a garantia de integração entre o mercado regulado e o voluntário no SBCE (uso de offsets), para assegurar a redução de emissões com maior custo-efetividade. 2. Estabelecer leis públicas que incentivem e reconheçam atividades de reflorestamento como fonte de abatimento das emissões residuais.

6. Considerações Finais

O setor cimenteiro apresenta, neste roadmap, sua visão e compromisso com o futuro do país, reforçando e ampliando seu papel histórico como agente estratégico para o desenvolvimento nacional e tornando-se um componente ativo na construção de uma infraestrutura mais sustentável e resiliente para o Brasil. O objetivo é transformar a crescente demanda por infraestrutura em uma oportunidade para o desenvolvimento de baixo carbono, um esforço que requer o engajamento de governo, setor produtivo e sociedade.

E o ponto de partida para esse engajamento é a plena consciência da complexidade do desafio. A descarbonização do cimento não é uma tarefa trivial, pois enfrenta barreiras técnicas inerentes ao seu processo produtivo. Esse desafio se torna ainda mais acentuado pelo fato de a indústria já ter alcançado um alto patamar de eficiência em diversas frentes, o que significa que os ganhos mais simples foram, em grande parte, realizados. Por isso, avanços mais profundos dependem agora do amadurecimento e da viabilização econômica de novas soluções tecnológicas, que ainda se encontram em desenvolvimento.

Diante dessa realidade, a estratégia delineada não se baseia em uma solução única, mas em um portfólio diversificado de ações. **O setor se propõe a atuar em múltiplas frentes simultaneamente: no curto prazo, o foco é otimizar processos já estabelecidos e acelerar a implementação de alavancas de impacto imediato. Ao mesmo tempo, são direcionados esforços para o futuro, com o apoio ao desenvolvimento de tecnologias disruptivas e a expansão da colaboração para toda a cadeia da construção, promovendo o uso mais eficiente e inteligente dos materiais.**

Para potencializar essa estratégia o roadmap incentiva o desenvolvimento de uma rota tecnológica “tropicalizada”, que aproveite os ativos estratégicos nacionais. A vasta disponibilidade de biomassa, a rica diversidade de argilas para cimentos de baixo carbono são vantagens competitivas que permitem inovar a partir das vocações do país, gerando uma descarbonização eficiente e com forte impacto socioeconômico.

Esse movimento de redução da pegada de carbono não se limita à adoção de novas tecnologias — ele transforma também o próprio produto. À medida que a descarbonização avança, o cimento passa a incorporar diferentes composições e aplicações: a redução do fator clínquer, ou o desenvolvimento de novos tipos de cimento e a adoção de sistemas construtivos alternativos **modificam o desempenho e o posicionamento de mercado do material. Essa evolução exige uma visão ampliada, que considere não apenas o processo produtivo, mas também a demanda, a valorização do atributo verde e a criação de mercados para os novos produtos de baixo carbono.**

Nesse contexto, é fundamental assegurar que o cimento continue a ser um produto acessível para as necessidades de habitação e infraestrutura do país. **Uma transição justa é também aquela que garante estabilidade de preço, evitando que o custo da descarbonização recaia desproporcionalmente sobre a sociedade.**

Alcançar todos esses objetivos — tecnológicos, econômicos e sociais — representa mais do que um plano setorial. É um convite ao diálogo e a um esforço coordenado. A jornada rumo à neutralidade climática é um objetivo comum, e seu sucesso dependerá de uma colaboração efetiva e contínua entre a indústria, o governo, a academia e a sociedade. O setor cimenteiro se posiciona para fazer sua parte e convida a todos para, juntos, construírem as bases de um futuro mais próspero e sustentável.

Para que essa trajetória se torne realidade, é fundamental traduzir essa visão em ações concretas. As mensagens-chave a seguir sintetizam as prioridades para a implementação do roadmap e indicam os caminhos para transformar o compromisso em resultados.

Mensagens-Chave para a Implementação

A transição para a neutralidade climática exige ação conjunta. O setor cimenteiro está comprometido em avançar e convida indústria, governo, academia e sociedade a unir esforços para transformar essa visão em resultados concretos.

1 Modernização Regulatória e Segurança Jurídica

A velocidade da descarbonização está diretamente atrelada à agilidade e clareza das regras. Muitas tecnologias, como o uso de biomassa e de resíduos, já estão maduras, mas seu avanço em larga escala depende de processos de licenciamento mais ágeis e previsíveis. É essencial atualizar normas técnicas, como a norma ABNT para ampliar o uso de adições, agilizar o processo de licenciamento ambiental e desenvolver marcos legais específicos para novas frentes, como o hidrogênio e Soluções baseadas na Natureza (SbN). Um arcabouço regulatório claro, coerente e estável é um pilar fundamental para destravar investimentos e dar escala à inovação tecnológica no setor.

2 Apoio Financeiro e Incentivos Econômicos Direcionados

Tecnologias de baixo carbono requerem instrumentos específicos de apoio. Linhas de crédito com juros diferenciados, incentivos fiscais para equipamentos de baixo carbono e políticas de estímulo ao uso de combustíveis alternativos são pilares para viabilizar investimentos e acelerar a adoção das soluções de descarbonização. Adicionalmente, é importante criar fundos setoriais e mecanismos de mitigação de risco para projetos de inovação e de implantação industrial.

3 Integração da Cadeia de Valor

A descarbonização impacta na composição e performance do produto final. A redução da proporção de clínquer, a introdução de novos tipos de cimento e a adoção de soluções construtivas inovadoras requerem a mobilização e integração de toda a cadeia da construção civil — fabricantes, projetistas, construtoras e consumidores finais. O aumento da eficiência da cadeia da construção, por meio da desmaterialização, do uso racional de materiais e da otimização do ciclo construtivo, é essencial para reduzir impactos e promover o projeto de estruturas mais resilientes e duráveis com menor pegada de carbono.

4 Valorização do Atributo Sustentável e Estímulo à Demanda

A criação de um mercado para o cimento de baixo carbono depende da valorização efetiva do seu atributo ambiental. É fundamental incorporar critérios de sustentabilidade nas compras públicas e em grandes programas de infraestrutura, utilizando o poder de compra do Estado como indutor da demanda. Além disso, deve-se desenvolver sistemas de certificação, rastreabilidade e rotulagem ambiental, que permitam diferenciar produtos de menor emissão e reconhecer o desempenho climático nas cadeias de suprimentos. Essas medidas geram uma demanda qualificada e previsível, fortalecendo o sinal de mercado para investimentos sustentáveis.

5 Inovação Aplicada e Desenvolvimento Tecnológico

Enquanto algumas soluções estão prontas para serem escaladas, outras, essenciais para alcançar o Net Zero, ainda demandam amadurecimento. É prioritário criar programas contínuos de P&D e inovação aplicada, com foco em temas como otimização de processos, uso de matérias-primas e combustíveis alternativos, desenvolvimento tecnológico da cadeia de valor da construção e desenvolvimento e adoção de metodologias robustas de contabilização e monitoramento de Soluções baseadas na Natureza (SbN). Também é essencial fomentar projetos-piloto e plantas de demonstração para tecnologias de fronteira, como o hidrogênio e o CCUS, reduzindo o risco tecnológico e financeiro da adoção. O fortalecimento de parcerias entre indústria, universidades e centros de pesquisa é determinante para acelerar o ciclo de inovação e ampliar a competitividade tecnológica do setor.

6 Coordenação de Políticas e Governança Integrada

Nenhuma alavanca de descarbonização opera de forma isolada. A implementação efetiva do roadmap depende da articulação entre políticas industriais, energéticas, ambientais e urbanas, sob uma estrutura de governança coordenada entre diversos atores. É necessário instituir mecanismos permanentes de coordenação público-privada, capazes de alinhar incentivos, acompanhar metas e garantir coerência entre as diversas frentes de ação. Essa governança deve promover a sinergia entre instrumentos regulatórios, financeiros, tecnológicos e de mercado, assegurando que todos os elos da cadeia de valor atuem de forma alinhada à trajetória de neutralidade climática.

Abreviaturas

Unidades de medida

°C → Grau Celsius
Kg → Quilograma
kWh → Quilowatt-hora
MJ → Megajoule
Mt → Milhão de toneladas
Mt/ano → Milhão de toneladas por ano
t → Tonelada

ABCP → Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT → Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAPEX → Investimento em bens de capital (Capital Expenditure)

CCS → Captura e Estocagem de Carbono (Carbon Capture and Storage)

CCUS → Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono (Carbon Capture, Utilization and Storage)

CDRU → Combustível Derivado de Resíduos Urbanos

CO_2 → Dióxido de carbono

ESG → Ambiental, Social e Governança (Environmental, Social and Governance)

GCCA → Associação Global de Cimento e Concreto (Global Cement and Concrete Association)

IPCC → Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change)

IVL → Instituto de Pesquisa Ambiental (Environmental Research Institute)

LULUCF → Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (Land Use, Land-Use Change and Forestry)

MDIC → Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços

P&D → Pesquisa e Desenvolvimento

PIB → Produto Interno Bruto

PNRS → Política Nacional de Resíduos Sólidos

SBCE → Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões

SbN → Soluções baseadas na Natureza

SNIC → Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

UNFCCC → Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (United Nations Framework Convention on Climate Change)

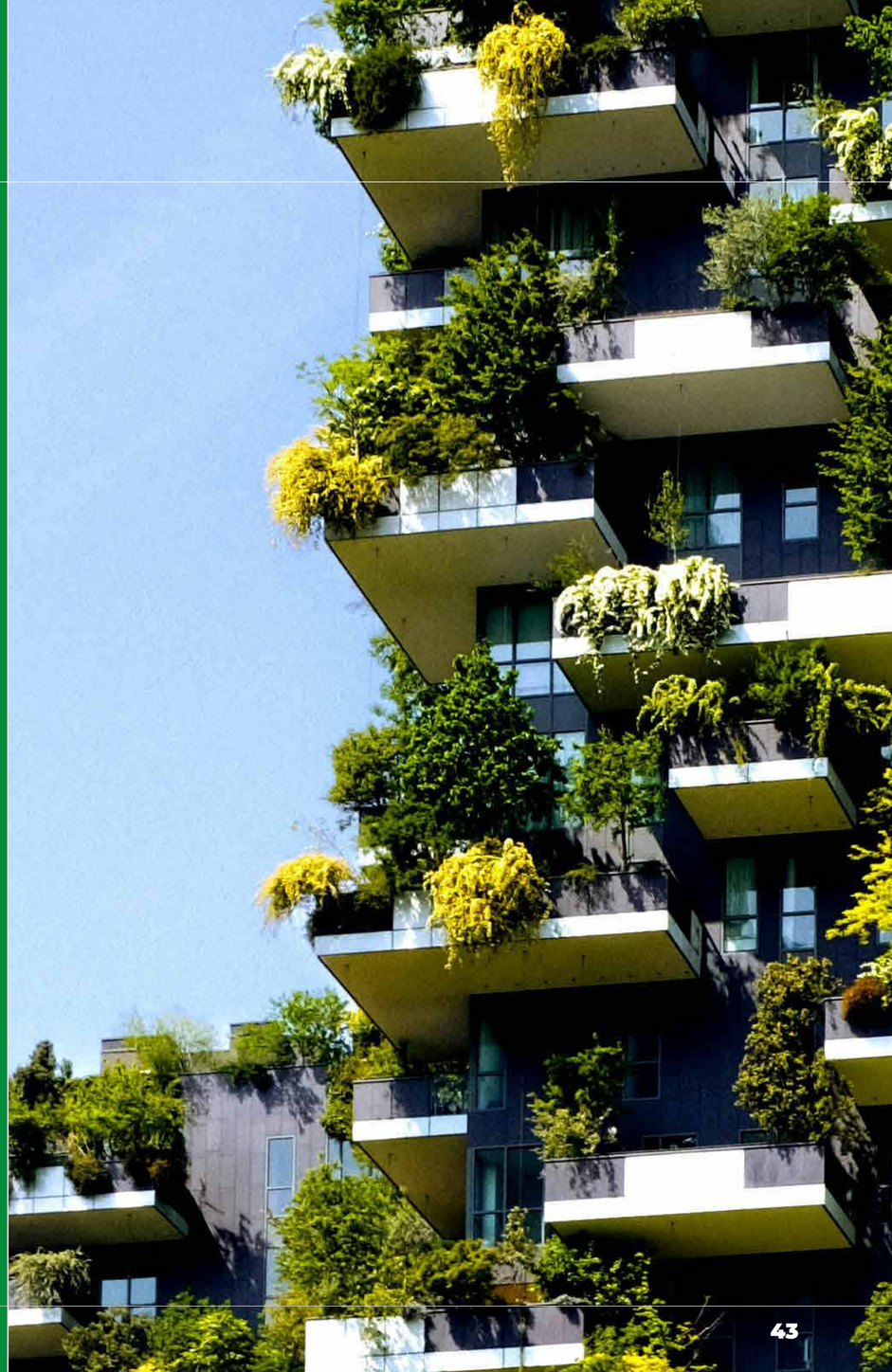
UNIDO → Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (United Nations Industrial Development Organization)

WHR → Recuperação de calor residual (Waste Heat Recovery)

Disclaimer

Os resultados desta curva de neutralidade são fruto de visões compartilhadas dentro da indústria do cimento brasileira, em consultas a diferentes comitês temáticos, bem como a outros stakeholders externos da cadeia do concreto e da construção. Estas visões ajudaram a alimentar o modelo de projeção de emissões da Global Cement and Concrete Association (GCCA) - parceira desta iniciativa - dentro do seu programa global Roadmap Accelerator Program.

Os diferentes potenciais aqui apresentados são resultantes da composição de complexos cenários integrados, passíveis de atualização e refinamento. Cada um deles representa um indicativo de possibilidades de mitigação, que pretende orientar políticas e esforços de descarbonização, dentro e fora do setor. O seu atingimento, entretanto, exigirá articulação e cooperação entre diferentes atores ao longo de todo o ciclo de vida do cimento e sua cadeia de valor.



Elaboração

Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC)
Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)

Presidente

Paulo Camillo Penna

Coordenação

Gonzalo Visedo

Daniel Mattos
Marcelo Pecchio
Fernando Dalbon

Instituto E+ Transição Energética

Coordenação

Stefania Relva

Luiz Germano Bernartt
Marina Almeida
Maria Eduarda Silva de Souza

Design

Rebeca Pelaquim
Larissa Kimberly de Andrade

Indústrias Associadas

Apoio