

Arranjo Básico de Investimentos Necessários para a Implementação da NDC do Brasil

Setor de Cimento



Keyassociados

Data do Relatório:

13/10/2016 – V1

Consultora:

- Natalia Pasishnyk

nataliap@keyassociados.com.br

Sumário

Sumário Executivo.....	1
1. Objetivos.....	1
2. Caracterização do Setor	1
3. Emissões de GEE no processo de fabricação de cimento.....	3
4. Redução de emissões no processo de fabricação de cimento.....	6
5. Cenários de crescimento e emissões.....	7
6. Potencial de redução de emissões na produção de cimento.....	10
7. Cenários de investimento e redução de emissões	14
8. Apoio financeiro à implementação das NDCs.....	19
9. Recomendações finais	19

Sumário Executivo

1. Objetivos

O objetivo principal do presente estudo é de realizar uma projeção da demanda de investimento no setor de produção de Cimento necessária para a redução de emissão prevista na NDC brasileira a ser realizada entre 2020-2030.

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- 1). Fornecer subsídios técnicos ao Ministério do Meio Ambiente para amparar negociações e cooperações com o setor siderúrgico;
- 2). Identificar / estimar, por meio dos dados disponibilizados pelo setor, os custos de redução associados aos setores em estudo com relação ao atendimento das NDCs;
- 3). Mapear as barreiras de implementação de novas tecnologias pelo setor;
- 4). Direcionar os esforços de captação de recursos externos, bem como sua aplicação direta no setor, para mitigar as barreiras existentes aos novos investimentos, por meio de mecanismos de redução de riscos e promoção da escalabilidade/replicabilidade;

2. Caracterização do Setor

O cimento é um material cerâmico que, em contato com a água, produz reação exotérmica de cristalização de produtos hidratados, ganhando assim resistência mecânica. É o principal material de construção usado como aglomerante. É uma das principais commodities mundiais, servindo até mesmo como indicador econômico.

As matérias-primas necessárias para a produção de cimento (carbonato de cálcio, sílica, alumínio e minério de ferro) são geralmente extraídas de rocha calcária ou argila. Essas matérias-primas são extraídas das minas por meio de detonações. Em seguida, são trituradas e transportadas para a fábrica onde são armazenadas e homogeneizadas.

O cimento é uma commodity de baixa substitutibilidade, pois está presente em todo tipo de construção, da mais simples moradia até a mais complexa obra de infraestrutura, do início ao acabamento final. É o componente básico do concreto, que é o material mais consumido no planeta mundo depois da água.

É um produto homogêneo, com variedade limitada de tipos e com especificações e processos de fabricação semelhantes em todo o mundo.

Cimento Portland é a denominação técnica utilizada mundialmente para o produto conhecido como cimento, que o diferencia de outros tipos como o cimento de aluminato de cálcio, o cimento polímero, o cimento para uso odontológico, o cimento betuminoso etc.

Seu processo de fabricação se dá pela mistura homogênea de sulfato de cálcio (gesso) e clínquer, este último obtido a partir da queima de mistura adequada de calcário e argila, em fornos a altas temperaturas (1.500o C) e resfriados bruscamente. Ao receber adições normalizadas como escória de alto forno, cinzas volantes, argilas calcinadas e *filler* calcário, o cimento se transforma nos cinco tipos básicos existentes no mercado brasileiro:

- Cimento portland comum,
- Cimento portland composto,
- Cimento portland de alto forno,
- Cimento portland pozolânico, e
- Cimento portland de alta resistência inicial.

Figura 1: Processo de fabricação de cimento.



Fonte: Votorantim Cimentos.

Com a adição de água, o produto se torna uma pasta homogênea, capaz de endurecer e conservar sua estrutura, mesmo em contato novamente com a água. A mistura do cimento com água e outros materiais como pedra, areia e cal possibilita a produção de concretos e argamassas, utilizados na construção de casas, edifícios, pontes, barragens e estradas. As características e propriedades desses produtos dependem da qualidade e proporções dos materiais que os compõem. O cimento – o mais ativo do ponto de vista químico – é responsável pela transformação da mistura em produto final, como blocos, lajes, vigas, pilares, revestimentos etc.

Os três tipos de cimento usados no mercado brasileiro – comum, siderúrgico e pozolânico – diferem pelo tipo de aditivo que é usado para sua fabricação. Na fabricação do cimento siderúrgico, é adicionada escória dos altos fornos, a qual traz ao cimento propriedades importantes para a construção de estruturas como viadutos, pontes ou portos. No cimento pozolânico, o principal aditivo é a cinza de usinas termoelétricas e de outras indústrias, cuja adição permite produzir um cimento com resistência mecânica e ao ataque da água e de organismos, propriedades físicas do cimento necessárias na construção de grandes barragens hidroelétricas. É possível assim notar que uma parte da indústria de cimento tem dependência de insumos com relação a outras atividades industriais.

O Brasil encontrava-se em sexto lugar na produção mundial de cimento em 2011, conforme informações do Relatório Anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento de 2012 (SNIC, 2012) e a produção ocorria em diversas unidades da Federação. Em 2012 o parque industrial cimenteiro era constituído por 83 fábricas, das quais 53 eram fábricas integradas (sendo 46 associadas ao SNIC e 7 não associadas), com forno de produção de clínquer, e 30 eram apenas moagens (sendo 22 associadas ao SNIC e 8 não associadas), que partem do clínquer pronto.

O tempo necessário para a implantação de um projeto, dos estudos preliminares até a “posta em-marcha” de uma fábrica de cimento, é de 3 a 5 anos.

Atualmente, a escala mínima nas unidades industriais é de 1 milhão de toneladas / ano de capacidade instalada, com investimento de 200 a 300 milhões de dólares. As despesas com combustíveis e energia elétrica representam mais de 50% na formação do custo direto de produção em uma fábrica de cimento.

3. Emissões de GEE no processo de fabricação de cimento

De acordo com a Nota Metodológica¹ – Processos Industriais e Uso de Produtos, do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG), divulgada em dezembro de 2014 e atualizada em novembro de 2015, as emissões de gases de efeito estufa relacionadas à estão associadas à descarbonatação do calcário e da dolomita (CaCO₃ e MgCO₃, respectivamente) nos fornos de clínquerização onde esse mineral se transforma em cal (mistura de CaO e MgO) que é parte integrante do clínquer, matéria-prima da fabricação do cimento. O dióxido de carbono (CO₂) é o outro produto dessa reação.

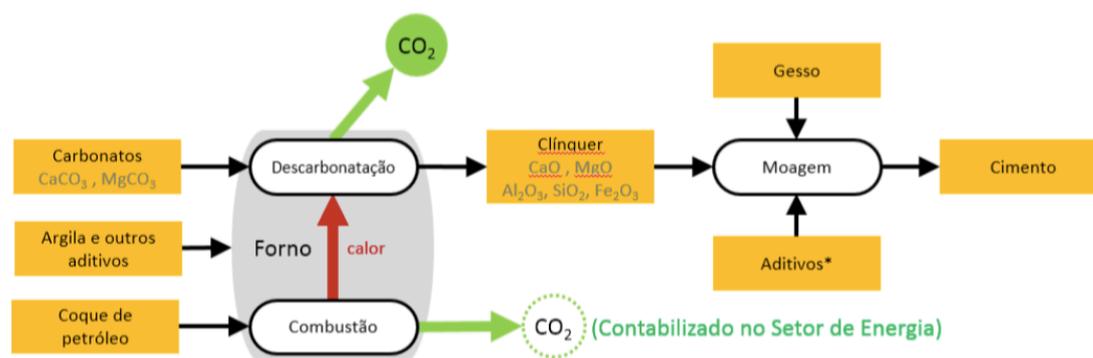
¹ <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/seeg.tracersoft.com.br/notas2015/Nota+Metedologica+-+SEEG+3.0+-+PROCESSOS+INDUSTRIAIS+-+23.11.2015.pdf>

Esse componente resulta da calcinação do calcário e da dolomita, cujo principal componente é o carbonato de cálcio e associações (CaCO_3 e $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, respectivamente). O aquecimento do calcário promove a reação química de decomposição térmica do carbonato de cálcio, dando como resultado a cal (CaO) e o dióxido de carbono (CO_2) que é liberado para a atmosfera. A calcinação ocorre em fornos onde também são adicionados argila e outros compostos e a massa resultante dessas reações é denominada clínquer, que é usado para produzir cimento pela adição de gesso (CaSO_4) e outras substâncias que podem conter metais e outros minerais. Em todo esse processo, há queima de combustível para o fornecimento de calor e consumo de energia elétrica para movimentar a massa que é levada aos fornos e dali para os demais processos de mistura, homogeneização e secagem.

As emissões de GEE tem origem, portanto, no processo industrial e no uso de combustíveis para o aquecimento e secagem.

A Figura 2 ilustra as emissões contabilizadas além de representar o processo produtivo de cimento. Não são aqui contabilizadas emissões provenientes da queima de combustíveis nos fornos de clínquerização; essas emissões são reportadas no Setor de Energia, no subsetor industrial Cimento.

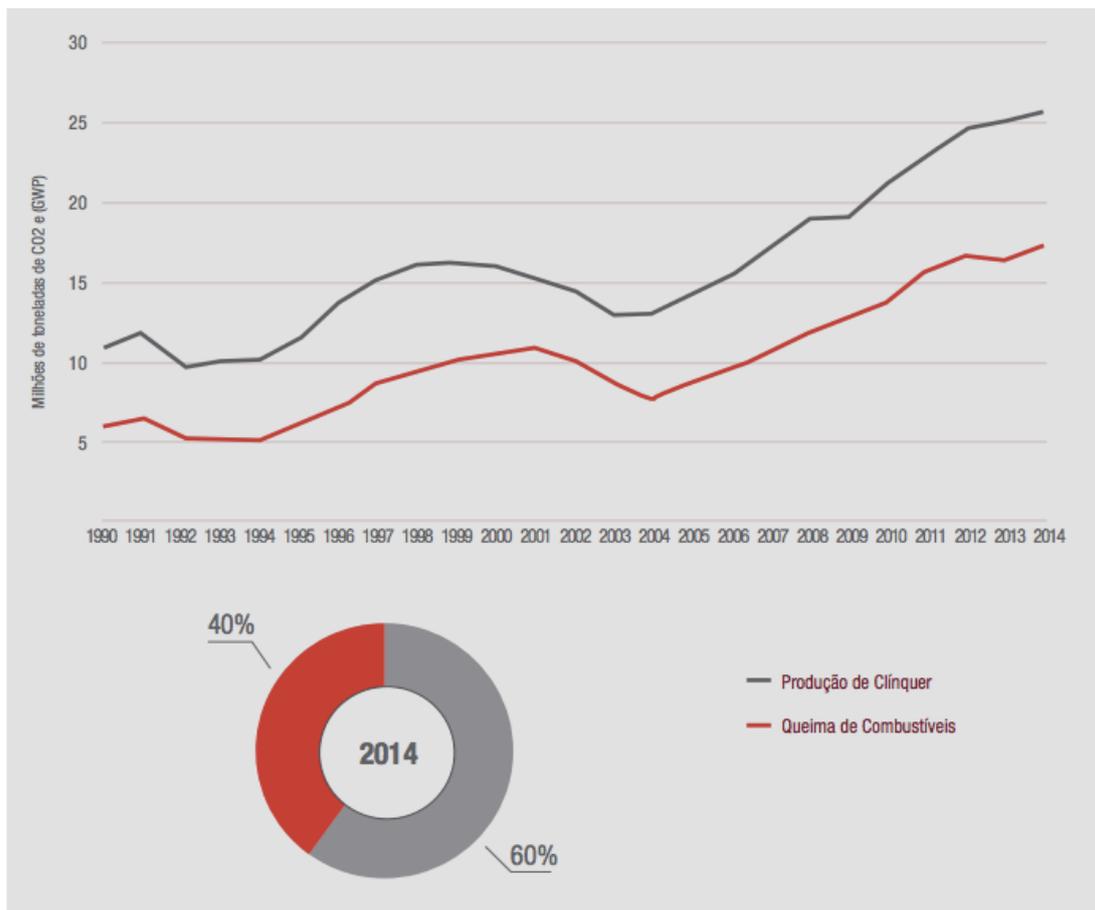
Figura 2: Produção de cimento e processos que geram emissões



Fonte: Nota Metodológica – Processos Industriais e Uso de Produtos, do Sistema de Estimativa de Emissão de Gases de Efeito Estufa (SEEG), 2015

O Gráfico 1 aponta essas características das emissões associadas à produção de cimento, sendo que, das aproximadas 43 MtCO₂ e emitidas em 2014, 60% estão associados à produção de clínquer e 40% à queima de combustíveis.

Gráfico 1: Emissões de GEE associadas à produção de cimento, por fonte de emissão.



Fonte: Emissões do Setor de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos. Instituto de Energia e Meio Ambiente, IEMA, 2016².

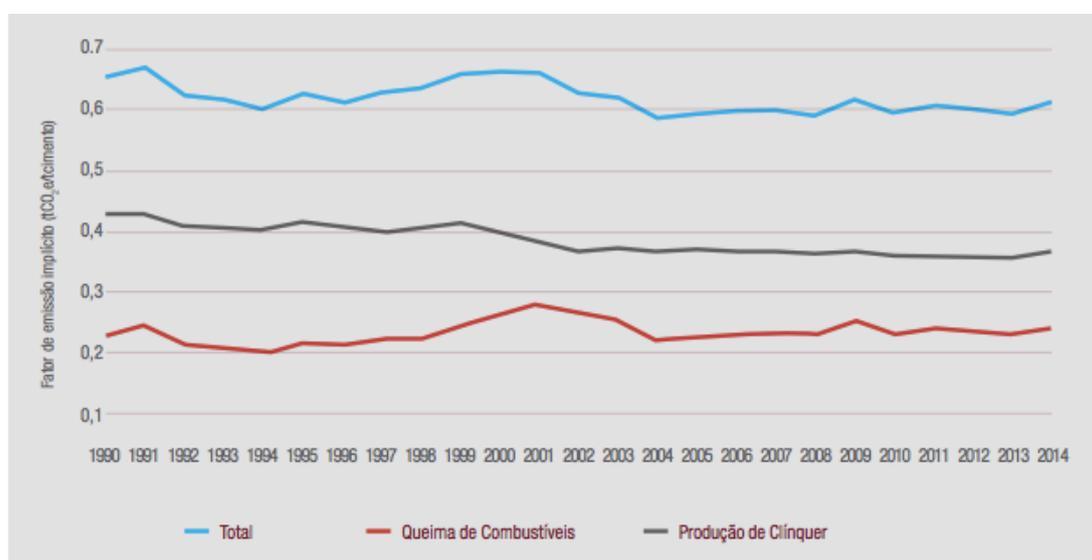
O Gráfico 2 a seguir apresenta a evolução das emissões de GEE por tonelada de cimento produzida. Nele, é possível constatar a queda desse índice no que diz respeito às emissões da produção de clínquer (redução de 14,7% entre 1990 e 2014); resultado de otimizações locais do processo fabril, como a pré-calcinação e o uso de matérias primas provenientes de outros processos industriais – notadamente escória de siderúrgicas e cinzas de termoeletricas e de outros processos industriais – além do co-processamento de resíduos sólidos, como pneus, nos seus fornos.

Entretanto, ao se analisar o índice correspondente às emissões totais por tonelada de cimento produzida o mesmo comportamento não é observado, estando nos últimos dez anos oscilando em torno de um patamar relativamente constante. Isso pode ser explicado pela grande quantidade de fatores que influenciam esse índice, entre eles a variedade de fontes energéticas, de tipos de produto e de características locais de

²http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/FINAL-16-09-23-RelatoriosSEEG-PIUP_.pdf

produção (tecnologia de aquecimento e eficiência energética dos equipamentos produtivos em geral).

Gráfico 2: Fator de Emissão implícito da produção de cimento (tCO₂e/t de cimento), por fonte de emissão.



Fonte: Elaborado a partir de SNIC e MME (2015)

Fonte: Emissões do Setor de Energia, Processos Industriais e Uso de Produtos. Instituto de Energia e Meio Ambiente, IEMA, 2016³.

4. Redução de emissões no processo de fabricação de cimento

De acordo com a Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, Volume III, indústria do cimento nacional tem tradição no uso de cimentos com adições, com aproveitamento de subprodutos de outras atividades (como escórias siderúrgicas e cinzas de termelétricas) e matérias-primas alternativas. Essa adição é realizada há mais de 50 anos no país, prática que só mais recentemente vem sendo adotada no mundo e que, além de diversificar as aplicações e características específicas do cimento, propicia a redução das emissões de CO₂, tanto pela diminuição da produção de clínquer, quanto pela redução do uso de combustíveis fósseis. A crescente utilização, desde longa data, de adições ao cimento no Brasil tem representado uma das mais eficazes medidas de controle e redução das emissões de CO₂ da indústria.

Por esse motivo o setor cimenteiro brasileiro tem se empenhado na obtenção de informação detalhada necessária à aplicação da metodologia setorial da *Cement Sustainability Initiative* (CSI), uma iniciativa dos maiores grupos cimenteiros do mundo vinculada ao *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), com o

³http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/FINAL-16-09-23-RelatoriosSEEG-PIUP_.pdf

objetivo de desenvolver uma série de ações de caráter ambiental, dentre as quais o controle e monitoramento das emissões de GEE. Essas informações são compatíveis com a abordagem Tier 3 das Diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa de 2006 do IPCC (IPCC, 2006), que considera as composições das matérias-primas (carbonatos) utilizadas, corrige as emissões pelo conteúdo de MgO e inclui outros parâmetros específicos como a correção da poeira do forno de cimento (*Cement Kiln Dust* – CKD), que é considerada como uma perda do sistema, e o carbono da matéria orgânica contido nas matérias-primas.

As principais publicações que tratam de medidas e tecnologias passíveis de contribuição para redução das emissões de GEE no setor de cimento são:

- A. O Mapa Tecnológico Global da Indústria do Cimento, publicado em 2009 pela Agência Internacional de Energia;
- B. O Mapa Tecnológico Indiano da Indústria do Cimento, publicado em 2009 pela Agência Internacional de Energia;
- C. Relatórios da Iniciativa de Parceria Para Tecnologia de Baixo Carbono (LCTPi, da sigla em inglês) para a indústria do Cimento, liderado pelo Conselho Mundial de Empresas para o Desenvolvimento Sustentável (WBCSD), chamado de LCTPi Cimento, de 2015.

De acordo com uma série de estudos internacionais e nacionais as reduções de emissões no setor de cimento estão classificadas em cinco grupos de alavancas, quais sejam: (a) combustíveis alternativos e matérias-primas (*Alternative Fuel and Raw Material*), (b) eficiência energética térmica e elétrica, (c) Substituição de clínquer, (d) Recuperação de calor residual e (e) Novas tecnologias.

5. Cenários de crescimento e emissões

Para calcular os cenários de crescimento das emissões no setor de cimento, foram consideradas premissas para sua projeção, cujas fontes são públicas e passíveis de verificação.

Crescimento

Os cenários de crescimento da economia foram calculados com base nas projeções oficiais divulgadas pelo Banco Central do Brasil⁴ para crescimento da produção

⁴ Fonte: Séries estatísticas consolidadas do Banco Central de projeção do PIB (Boletim Focus), versão 30/09/16
<https://www3.bcb.gov.br/expectativas/publico/consulta/serieestatisticas>

industrial de 2016 a 2020, conforme tabela 1. Para o período 2021-2030 foi mantida a projeção de crescimento do último ano disponível da série (2020).

- Cenário de baixo crescimento: considerado o mínimo das expectativas de mercado, divulgadas em 30/09/2016
- Cenário business-as-usual: considerada a mediana das expectativas de mercado, divulgadas em 30/09/2016
- Cenário de alto crescimento: considerado o máximo das expectativas de mercado, divulgadas em 30/09/2016

Tabela 1 – Expectativas de mercado para crescimento da produção industrial, divulgadas pelo Banco Central

Cenários	Produção Industrial						
		2016	2017	2018	2019	2020	
Baixo crescimento econômico	Mínimo	30/09/2016	-7,63%	-1,29%	0,60%	1,50%	2%
Business as usual	Mediana	30/09/2016	-5,96%	1,10%	2,25%	2,10%	2,15%
Alto crescimento econômico	Máximo	30/09/2016	0%	6,50%	4%	3%	3%

Para projeção da produção da indústria do cimento até 2030, foi considerado o nível de produção divulgado pelo Ipeadata⁵ para 2015, e aplicados os cenários de crescimento descritos acima.

Tabela 2 – Projeção de crescimento da indústria do cimento para 2020-2030 (toneladas de cimento)

Cenários - Produção de cimento (t)	2020	2025	2030
Baixo crescimento econômico	61.994.932,91	68.447.415,32	75.571.477,29
Business as usual	66.189.806,26	73.617.822,02	81.879.431,67
Alto crescimento econômico	76.710.939,30	88.929.003,15	103.093.087,80

O investimento em novas plantas industriais foi avaliado seguindo o critério de priorização da utilização de 100% da capacidade instalada atual do parque produtivo de cimento nacional, antes de realizar novos investimentos. Segundo este critério e considerando a projeção da produção de cimento no Brasil, seria necessário um

⁵ Ipeadata: <http://www.ipeadata.gov.br/>

Produção - cimento - qde. - Tonelada - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) - SNIC12_QSCC12

incremento na capacidade produtiva nacional de 1.463.380,48 milhões de toneladas de cimento por ano, até 2030.

Emissões

Para os cenários de emissões, foram consideradas as emissões históricas de GEE divulgadas pelo Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa para o período 2010 a 2014.

O primeiro passo foi calcular o fator de emissão médio do setor, com base nas emissões observadas para o período 2000-2014 em relação à produção total do setor para o mesmo período, considerando os dados de produção utilizados para cálculo dos cenários de crescimento. O fator médio de emissões encontrado foi de 0,38 tCO₂e/tonelada cimento. Este fator foi utilizado para converter os cenários de projeção da produção de cimento, em cenários de emissões de CO₂e para os anos de 2020-2030, conforme resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Projeção das emissões da indústria do para 2020-2030 (toneladas de CO₂e)

Cenários de Emissões (tCO₂e)	2020	2025	2030
Baixo crescimento econômico	23.633.513,29	26.093.308,33	28.809.120,82
Business as usual	25.232.669,71	28.064.354,51	31.213.819,35
Alto crescimento econômico	29.243.502,95	33.901.234,81	39.300.822,60

Considerando o compromisso assumido pelo governo brasileiro nas NDCs, de acordo com os fundamentos para elaboração das NDCs brasileiras, divulgado pelo Ministério de Meio Ambiente – MMA, a redução de emissões compromissada para o setor de processos industriais foi de 7% até 2025 e 8% até 2030 em relação à 2005, correspondendo a um teto de emissões de 98 milhões tCO₂e em 2025 e 99 milhões tCO₂e em 2030. Este teto de emissões para 2025 e 2030 foi convertido para o setor de cimento, considerando as contribuições de cada setor divulgadas pelo Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação – MCTI, nas Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 2013. Segundo os dados do MCTI, a contribuição do setor de produção de cimento foi de 27,6% das emissões totais contabilizadas em Processos Industriais em 2010. Esta participação foi aplicada então ao teto de emissões em 2025 e 2030, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Teto de emissões para o setor de produção de cimento em 2025 e 2030 (mil tCO₂e)

	2025	2030
Teto de emissões na NDC - Processos industriais (mil tCO₂e)	98.000,00	99.000,00
Teto de emissões na NDC - Cimento (mil tCO₂e)	27.084,84	27.361,21

A partir do cruzamento dos cenários de emissões para 2025 e 2030, com o teto de emissões no setor para o mesmo período, foi possível mapear a necessidade de redução de emissões do setor para este período, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Necessidade de redução de emissões no setor de cimento em 2025 e 2030.

Cenários de redução de emissões (tCO₂e) - com base nas NDCs Brasileiras	2025	2030
Baixo crescimento econômico	-	1.447.909,14
Business as usual	979.518,70	3.852.607,67
Alto crescimento econômico	6.816.399,00	11.939.610,92

6. Potencial de redução de emissões na produção de cimento

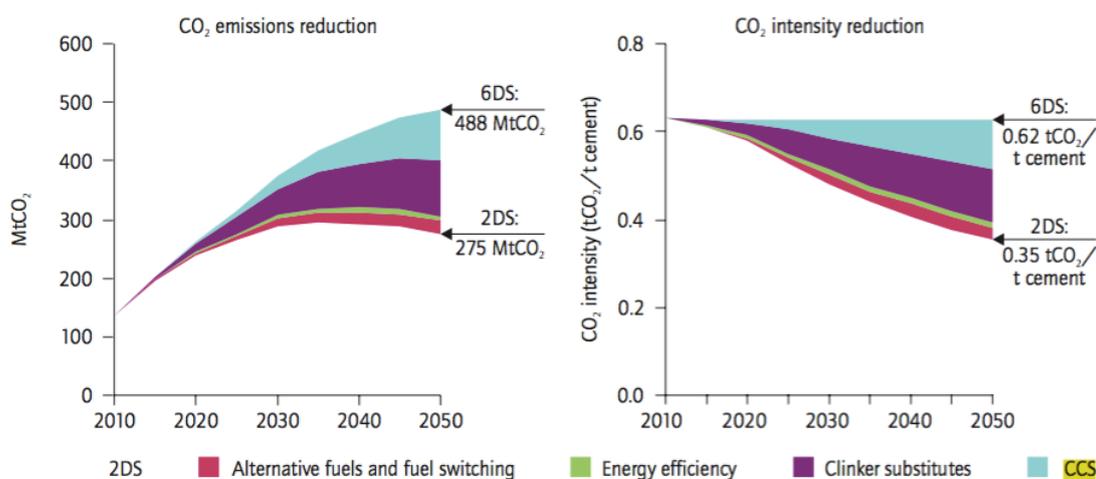
De acordo com o Mapa Tecnológico Global da Indústria do Cimento (IEA, 2009), com o Mapa Tecnológico Indiano da Indústria do Cimento (IEA, 2013) e com os relatórios da Iniciativa de Parceria Para Tecnologia de Baixo Carbono para a indústria do Cimento, (LCTPi Cimento, 2015), as reduções de emissões no setor de cimento serão realizadas até 2050 em cinco grupos de alavancas tecnológicas, quais sejam:

- a) **combustíveis alternativos e matérias-primas (*Alternative Fuel and Raw Material*):** a promoção do uso de resíduos industriais, classificados como resíduos municipais e de biomassa para compensar o uso de combustíveis fósseis intensivos em carbono e matérias-primas naturais. AFRs incluem resíduos que de outra forma seriam queimados em incineradores, destinados a aterros ou imprópriamente destruídos.
- b) **eficiência energética térmica e elétrica:** implantação de tecnologias *state-of-the-art* existentes em novas fábricas de cimento, e a instalação de equipamentos de energia eficiente em plantas existentes, onde economicamente viável.
- c) **Substituição de clínquer:** aumento da utilização de materiais de mistura (ou seja, matérias que não sejam de calcário materiais) e aumento da produção de cimento misturado, ambos oferecendo uma redução de clínquer intensivos em carbono (intermediário na fabricação de cimento) no cimento.
- d) **Recuperação de calor residual:** a adoção de tecnologias WHR (*Waste Heat Recovery*) para converter a energia térmica, caso contrário perdido na fabricação de cimento, à eletricidade, compensando parcialmente o requerimento de energia elétrica no processo de fabricação de cimento.

- e) **Novas tecnologias:** com foco em tecnologias emergentes, como a captura e armazenamento ou uso de carbono (CCS ou CCU), plantação de culturas energéticas e injeção de carbono através do crescimento de algas.

A Figura abaixo mostra o potencial de redução de emissões para cada tipo de alavanca tecnológica.

Figura 3: Redução de Emissão de CO₂ direta e intensidade de emissões para cada tipo de tecnologia na Índia.



Notes: Includes only direct CO₂ emissions from cement manufacturing; indirect emissions from the use of electricity are not taken into account.

Fonte: Mapa Tecnológico Indiano da Indústria do Cimento (IEA, 2013).

A IFC, membro do Grupo Banco Mundial, assinou um acordo com o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC) e a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para apoio na elaboração do Mapeamento Tecnológico do Cimento no Brasil.

O projeto está sendo desenvolvido em parceria com a Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês) e com o Conselho Mundial de Desenvolvimento Sustentável-Iniciativa do Cimento Sustentável (WBCSD-CSI, na sigla em inglês), com a Coordenação Técnica do professor José Goldemberg, ex-ministro de Educação e ex-secretário de Meio Ambiente e Ciência e Tecnologia.

A edição brasileira do Mapeamento Tecnológico do Cimento, estudo conhecido internacionalmente como Cement Technology Roadmap, vai mapear atuais e futuras tecnologias e seu potencial para a melhoria da eficiência energética e redução das emissões relativas de gases de efeito estufa por tonelada de cimento produzido, tendo como horizonte o ano de 2050. O Brasil, segundo a IEA, é o país com o menor potencial de redução de emissões de CO₂ por tonelada de cimento produzida no mundo, em função do grau de excelência já alcançado. Entretanto, quatro grandes temas estão sendo analisados no Roadmap - Brasil, que tem a participação direta de

grandes instituições acadêmicas e de pesquisa das mais diversas regiões brasileiras. São eles: Eficiência Energética; Uso de Combustíveis Alternativos, como biomassa e resíduos para coprocessamento; Uso de Adições para substituir o clínquer, produto intermediário do cimento; e Captura, Estocagem e Utilização de Carbono.

No mundo, outros dois estudos sobre a indústria do cimento já foram realizados anteriormente seguindo a mesma metodologia e com os mesmos parceiros (IEA e WBCSD) – o Mapeamento Global em 2009, e o da Índia, em 2013 – este último também com apoio da IFC. No Brasil, o projeto foi lançado em setembro de 2014 e deve ser concluído no primeiro semestre de 2017. O desenvolvimento do Roadmap - Brasil conta com apoio de mais de 90% dos produtores de cimento do país.

A contribuição de cada tecnologia par redução de emissão na indústria indiana, de acordo com informações obtidas por meio de entrevistas com lideranças de instituições representantes de classe do setor do cimento no Brasil, para identificar medidas e tecnologias reais para redução de emissão no setor de cimento até 2050, é muito semelhante ao caso brasileiro.

Entretanto, considerando o horizonte do presente estudo, o nível de desenvolvimento de algumas dessas medidas e tecnologias (muitas em fase de Pesquisa e Desenvolvimento, testes em escala piloto e estudos preliminares de viabilidade técnica e econômica sem implantação em escala comercial), foi necessário mapear alternativas para um cenário de médio e longo prazo, de 2017 a 2030, o que totaliza 13 anos de investimento pela indústria do cimento brasileira, factíveis de investimento. E para refinar as informações e compor o presente trabalho, foram consultadas lideranças de instituições representantes de classe do setor do cimento para identificar medidas e tecnologias reais para redução de emissão no setor de cimento até 2030, ano em que os países que assumiram compromissos em suas NDCs na Conferência do Clima das Nações Unidas em Paris (2015).

Com isso, dos cinco grupos de tecnologias / medidas com potencial de contribuição para redução de emissão até 2030, a recuperação de calor (Waste Heat Recovery) foi descartada dentre as medidas não tem sido considerada pelo setor brasileiro como alternativa relevante. Da mesma forma, conforme apresentado na tabela abaixo, as *Novas Tecnologias*, que envolvem o desenvolvimento de plantas com medidas de captura e estocagem de carbono (CCS) ou captura e uso de carbono (CCU), demandam um prazo de desenvolvimento muito longo no desenvolvimento do projeto, implantação e início de operação. Segundo informações setoriais, não haveria tempo hábil para desenvolver tecnicamente plantas de cimento no Brasil que comportem o uso de CCS/CCU até 2030. Por esses motivos, medidas de WHR e CCS/CCU não serão

consideradas para efeitos de estimativas de investimento pelo setor para reduzir as emissões até 2030.

A Tabela abaixo sumariza as alternativas / medidas tecnológicas com potencial de contribuição para as reduções de emissão até 2050, seus respectivos fatores de contribuição global para o setor de cimento.

Tabela 6: Alternativas tecnológicas no setor de cimento para cumprir com os compromissos definidos nas NDCs brasileiras

Alternativas tecnológicas no setor de cimento para cumprir com os compromissos definidos nas NDCs brasileiras	Contribuição das alternativas tecnológicas / medidas de redução de emissão até 2030, segundo dados coletados com representantes da Indústria de Cimento no Brasil, para os quais devem ser enveredados esforços de investimento*
Combustíveis e matérias-primas alternativas	
Resíduos industriais; RESÍDUOS INDUSTRIAIS NÃO PERIGOSOS; Resíduos pré-processados (plásticos não recicláveis, têxteis e resíduos de papel)	até 25% de contribuição para atingir as metas de redução de emissões de CO2 do setor e/ou redução do teor de clínquer na composição do cimento
Resíduos sólidos urbanos (RSU);	
Pneus Descartados e Chips de Pneus;	
Biomassa (tais como casca de arroz, casca de coco e cascas de amendoim);	
Lodo de tratamento de efluentes, de tratamentos de água e de águas residuais plantas; e	
Substituição de clínquer	
Escória de alto forno	até 70% de contribuição para atingir as metas de redução de emissões de CO2 do setor e/ou redução do teor de clínquer na composição do cimento
Cinzas Volantes	
Argilas Calcinadas	
Pó de calcário - filler	
Novas Tecnologias	
Promoção do crescimento de algas e uso de biocombustíveis (CCU)	Tecnologias do tipo CCS/CCU não serão implantadas no Brasil, considerando o prazo de análise dos compromissos definidos nas NDCs brasileiras até 2030
Carbon capture and storage (CCS) / Carbon Capture and Use (CCU)	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 5px; margin-right: 5px;">Traduzir</div> <div style="margin-right: 5px;"><input type="checkbox"/></div> <div style="margin-right: 5px;"><input type="checkbox"/></div> <div>Eficiência energética: térmica e elétrica</div> </div>	até 5% de contribuição para atingir as metas de redução de emissões de CO2 do setor e/ou redução do teor de clínquer na composição do cimento
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid gray; padding: 2px 5px; margin-right: 5px; width: 80px;">Traduzir</div> <div> <p>Combinação de processos de fabricação seca com pré-aquecedores, tecnologias de pré-calcinação e tecnologias de refrigeração de clínquer;</p> <p>Substituição e retrofit de equipamentos na indústria.</p> </div> </div>	

Fonte: Elaboração própria, com informações preliminares do Mapa Tecnológico do Cimento no Brasil, obtidos em entrevistas com instituições representativas do setor.

Considerando as informações acima e os tetos de emissão para o setor de cimento, estão apresentadas abaixo as contribuições de redução de emissão de cada tecnologia para em 2025 e 2030.

Tabela 7: Redução de emissão por alternativa tecnológica em 2025 e 2030 em diferentes cenários de crescimento econômico.

Redução de Emissões por tipo de medida / alternativa tecnológica, em tCO₂e	2025	2030
<i>Combustíveis e matérias-primas alternativas</i>		
Baixo crescimento econômico	-	361.977,29
Business as usual	244.879,68	963.151,92
Alto crescimento econômico	1.704.099,75	2.984.902,73
<i>Substituição de clínquer</i>		
Baixo crescimento econômico	-	1.013.536,40
Business as usual	685.663,09	2.696.825,37
Alto crescimento econômico	4.771.479,30	8.357.727,64
<i>Eficiência energética: térmica e elétrica</i>		
Baixo crescimento econômico	-	72.395,46
Business as usual	48.975,94	192.630,38
Alto crescimento econômico	340.819,95	596.980,55

Fonte: Elaboração própria, com informações preliminares do Mapa Tecnológico do Cimento no Brasil.

Esse potencial de redução de emissão, segundo informações das entidades de classe, será possível de ser atingido em 2030 em função também da redução do conteúdo de clínquer no cimento acabado. Atualmente, o teor de clínquer no cimento brasileiro é de 67%, já em 2030, esse conteúdo deverá atingir um patamar de 60%. Segundo estimativas do SNIC, para cada tonelada de clínquer produzida são emitidos 800 kg de CO₂e. Com essa redução, a produção de cimento no Brasil terá um dos menores fatores de emissão do mundo por tonelada de clínquer produzido.

7. Cenários de investimento e redução de emissões

Os cenários de investimento e de redução de emissões foram calculados com base nos benefícios de redução de emissões para cada alternativa tecnológica discutida no item 6.

Investimentos recentes em uma nova planta de fabricação de cimento realizado pela Votorantim Cimentos no estado do Pará, cuja operação se inicial em 2016, teve o

investimento de R\$860 milhões em uma capacidade instalada de 1,2 milhão de toneladas. Estimativas da Associação Brasileira de Cimento Portland indicam a necessidade de investimentos em novas plantas na ordem de 200 a 300 milhões de dólares para cada 1 milhão de toneladas, sendo essa a capacidade mínima estimada para viabilizar uma nova planta no Brasil.

A necessidade de ampliação da produção do cimento até 2030, que no cenário de alto crescimento contaria com um incremento da ordem de 37.810.117,80 toneladas, seriam então necessários investimentos na ordem de US\$ 9,25 bilhões nesse período. Esse investimento considera apenas a expansão de capacidade do parque produtivo brasileiro, não avalia e inclui a redução da capacidade ociosa do setor; caso fosse considerado, os investimentos seriam menores⁶.

Já no que diz respeito aos investimentos nas tecnologias identificadas no item 6 desse relatório, deve-se ressaltar que em nenhum dos casos há a necessidade de desenvolvimento de projetos de engenharia de grande porte, na aquisição de equipamentos com elevado CAPEX, que o possa ser comparado com novos investimentos ou retrofit, ou que requeiram grandes alterações em processos. Nos três casos, (i) uso de combustíveis e matérias-primas alternativas, (ii) substituições de clínquer (com uso de aditivos) e a promoção de (iii) eficiência energética (térmica ou elétrica), nota-se ampla adoção dessas tecnologias pelo setor de produção de cimento no Brasil.

Dentre outras questões importantes, cabe destacar os limites da ampliação no uso dessas tecnologias, conforme apresentado abaixo:

a. Substituição de Clínquer

De um ponto de vista técnico, é possível ter baixos teores de clínquer nos diferentes tipos de cimento, mas existem outros fatores não técnicos que devem ser levados em consideração no investimento:

- disponibilidade regional de materiais de substituição de clínquer (risco de mercado);
- aumento dos preços de materiais de substituição (risco de mercado);
- propriedades dos substitutos e da aplicação pretendida do cimento (risco operacional e tecnológico);

⁶ A capacidade instalada de produção de cimento no Brasil é de 100 milhões de toneladas. Fonte: <http://cimento.org/cimento-no-brasil/>. A ampliação projetada prevê em 2030 a necessidade de produção 103.093.087,80 de toneladas de cimento.

- mudanças os padrões nacionais para Cimento Portland ordinário e cimentos compósitos (risco regulatório);
- a prática comum e aceitação dos cimentos por empreiteiros de construção e clientes (risco de mercado);

Novos substitutos de clínquer, como o caso do pó de calcário (*filler*), um material que tem alta capacidade de substituição do clínquer requer principalmente a alteração dos padrões normativos do cimento no Brasil. Tecnicamente, já existem diversos estudos que apontam a possibilidade de aumento de cerca de 10% para 30% na composição do cimento.

Os investimentos necessários para utilizar esse composto ocorreriam principalmente no redesenho de processos nas plantas, mudança de padrões produtivos, dentre outros listados acima.

b. Combustíveis e Matérias-Primas Alternativas

Embora, tecnicamente, fornos de cimento possam utilizar até 100% de combustíveis alternativos, existem algumas limitações práticas. As propriedades físicas e químicas de combustíveis alternativos diferem significativamente de combustíveis convencionais. Enquanto alguns (tais como farinha de carne e de ossos) pode ser facilmente utilizada pela indústria de cimento, muitos outros podem causar desafios técnicos. Como por exemplo, o baixo valor calórico, o alto teor de umidade, ou alta concentração de cloro ou de outras substâncias.

Por exemplo, metais voláteis (por exemplo, mercúrio, cádmio, tálio) devem ser geridos com cuidado, e a remoção adequada do pó de forno de cimento é necessária. Isto significa que o pré-tratamento muitas vezes é necessário para garantir uma composição mais uniforme e uma combustão ideal.

No entanto, a substituição elevada de combustíveis e matérias-primas em elevadas taxas tem barreiras políticas e legais mais fortes do que os fatores técnicos:

- a legislação relativa à gestão de resíduos causa impactos significativos na disponibilidade: a substituição de combustíveis ocorre de maneira mais efetiva se a legislação de resíduos local ou regional restringe o envio para aterros ou incineração dedicada, e permite a coleta de resíduos controlada e tratamento de combustíveis alternativos.
- redes de coleta de resíduos locais devem ser adequadas.
- custos de combustível alternativos são susceptíveis a aumento. Então, pode-se tornar cada vez mais difícil para a indústria de cimento: fonte de quantidades significativas de biomassa em preços aceitáveis.

- o nível de aceitação social do coprocessamento de combustíveis derivados de resíduos em fábricas de cimento pode afetar fortemente a absorção local. As pessoas são muitas vezes preocupadas com as emissões nocivas de coprocessamento, embora os níveis de emissões de fábricas de cimento sejam bem geridos com ou sem o uso de combustível alternativo.

Além disso, o uso de combustível alternativo tem o potencial de aumentar o consumo de energia térmica, por exemplo quando pré-tratamento é necessário, conforme descrito acima.

Os investimentos necessários para utilizar esse composto ocorreriam principalmente no redesenho de processos nas plantas, mudança de padrões produtivos, de aquisição de matéria-prima e combustíveis alternativos, dentre outros. Ou seja, em muitos casos de usinas existentes não seriam necessários investimentos nas instalações para comportar o uso de combustíveis e matérias-primas alternativas.

c. Eficiência energética: térmica e elétrica

Na construção de novas fábricas de cimento, os empreendedores instalam as tecnologias mais recentemente desenvolvidas, que também são tipicamente mais eficientes no uso da energia.

Portanto, novos fornos são comparativamente muito eficientes no uso da energia. Tecnologias mais eficientes geralmente fornecem uma vantagem de custo para o produtor através de menores custos de energia, de modo que a eficiência faz aumentar gradualmente ao longo do tempo com a adição de novas plantas e modernização de plantas antigas.

A principal barreira para reduzir o consumo específico de energia nas plantas de cimento é o de investimento, já que o mesmo é elevado para plantas antigas. Entretanto, tais investimentos permite a redução de custos operacionais nas plantas e tendem a ser financeiramente viáveis. Não existem barreiras tecnológicas, regulatórias, de mercado ou operacionais na adoção dessas medidas, mas existem limites para a realização de *retrofits*. Por isso, os investimentos necessários para aumentar a eficiência energética no setor serão realizados por meio de *retrofits* parciais e totais das plantas antigas existentes no Brasil.

Projeção de investimentos no setor

Para estimar os investimentos necessários no (i) uso de combustíveis e matérias-primas alternativas, (ii) substituições de clínquer (com uso de aditivos) e a promoção de (iii)

eficiência energética (térmica ou elétrica), foram utilizados: os cenários de produção de cimento até 2030⁷, as contribuições de cada tecnologia disponibilizados pelas entidades de classe do cimento no Brasil⁸ e nos investimentos projetados pela Agência Internacional de Energia no Mapa Tecnológico do Cimento, publicado em 2009. A partir dos resultados, foram calculados indicadores de mérito de contribuição por tipo de tecnologia nas reduções de emissões até 2030.

Os cenários de produção de utilizados para a projeção de investimentos no setor são apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Cenários de produção de cimento até 2030.

Cenários de produção de Cimento (bilhões de toneladas)	2030
Baixa Demanda	0,076
Business as usual	0,082
Alta Demanda	0,103

Considerando a implementação de todas as alternativas tecnológicas descritas no item 6, aplicadas aos cenários de produção de cimento, sínter e ferro gusa, apresentados na Tabela 6, o investimento requerido por tipo de tecnologia a ser adotada encontra-se na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Investimento requerido para atender as NDCs brasileiras até 2030, valores por tipo de tecnologia (valores em USD).

Investimento requerido em bilhões de USD no Brasil até 2030	Cenários de produção de Cimento	Substituição de clinker	Combustíveis e matérias-primas alternativas	Eficiência energética: térmica e elétrica	Total
	Baixa Demanda	5,07	1,81	0,36	7,25
	Business as usual	6,78	2,42	0,48	9,68
	Alta Demanda	8,48	3,03	0,61	12,11

Fonte: Elaboração própria, com base em informações públicas e obtidas junto às instituições representantes de classes.

O investimento necessários para atendimento do teto de emissões previsto para 2030 por tonelada de CO₂ reduzida mediante a implantação de todas as medidas previstas na Tabela 9, resultou em um investimento médio de 21.301,01 USD/ tCO₂ reduzida, em um cenário de crescimento da produção Business as Usual até 2030.

⁷ Baseado nos dados disponíveis no IPEADATA.

⁸ Obtidas por meio de entrevistas estruturadas com representantes do setor.

Tabela 10 – Investimento requerido no Brasil (bilhões de USD) por tCO₂e reduzida por tipo de medida / tecnologia e cenário de produção de cimento, em 2030 para atender à meta de redução de emissões da NDC (USD)

Investimento requerido (bilhões de USD) por tCO ₂ e reduzida por tipo de medida / tecnologia e cenário de produção de cimento, em 2030	Cenários de produção de Cimento	Substituição de clinker	Combustíveis e matérias-primas alternativas	Eficiência energética: térmica e elétrica
	Baixa Demanda	7.153,12	20.028,73	100.143,67
	Business as usual	3.590,06	10.052,16	50.260,81
	Alta Demanda	1.449,39	4.058,28	20.291,40

8. Apoio financeiro à implementação das NDCs

As alternativas de redução de emissão previstas no item 6 não necessitam de investimentos em P&D, reduzindo, portanto, o risco dos investimentos por parte do setor. Além disso, todas as alternativas apresentam benefícios diretos no consumo de outras fontes energéticas, o que significa redução de custos de produção.

As necessidades de investimento para implementação das NDCs podem, portanto, ser atendidas por meio de linhas de financiamento, com prazos e custos adequados às necessidades do setor, com exceção às medidas de eficiência energética, baseadas em investimentos em retrofits parciais ou completos de plantas de produção de cimento. Para este caso, seria necessário reduzir os custos financeiros efetivos das linhas de crédito dos bancos para destravar os investimentos. No entanto, cabe ressaltar que as tecnologias para ganho em eficiência energética no setor cimenteiro são as de menor contribuição no cenário geral do setor, visto que a substituição de clínquer por outros materiais, assim como o uso de combustíveis e matérias-primas alternativas contribuirão com até 95% no atendimento às NDCs brasileiras até 2030.

A atual crise financeira, uma perspectiva econômica fraca e as diminuições nos preços das *commodities* mudaram significativamente calendário de investimentos da indústria do cimento. Novos projetos foram atrasados ou cancelados devido a uma falta de financiamento (acessível) e à incerteza com relação à demanda futura. Sob este ambiente econômico, será crucial o governo apoiar o desenvolvimento de políticas de promoção das tecnologias de alta eficiência na redução de emissão de maneira tangível, por exemplo, através da construção de incentivos setoriais para reduzir os riscos de investimento em tecnologias *lowcarbon*.

9. Recomendações finais

- Revisão e atualização da regulação regional e nacional, para garantir a utilização de combustíveis alternativos e de biomassa na produção de cimento;

- Incentivar e facilitar o aumento da substituição de clínquer: Desenvolvimento de novas normas ou revisão das existentes para produção de cimento para permitir a utilização mais generalizada de cimento com novas adições, por exemplo, baseando-as sobre o desempenho dos materiais ao invés da composição do produto, e assegurar que eles sejam aceitos pelos seus stakeholders;
- Promover P&D em técnicas de coprocessamento para potenciais substitutos de clínquer que não podem atualmente ser utilizados devido a restrições de qualidade e normativas;
- Promover a adoção de melhores tecnologias de eficiência disponíveis (BAT – Best Available Technologies) para novas plantas, novos fornos e *retrofits*;
- Promover engajamento setorial com organismos de normalização (nacionais e internacionais) e institutos de acreditação para trocar experiências sobre a substituição de clínquer, desempenho dos produtos no médio e longo prazos, e de novos cimentos, seus impactos ambientais e econômicos;
- Incentivar parcerias internacionais de colaboração e promoção de parcerias público-privadas na implementação e disseminação de tecnológica;
- Promover processos de transferência tecnológica para as regiões específicas, reconhecendo que existem diferenças na disponibilidade de oferta (matérias-primas, combustíveis alternativos, substitutos de clínquer), apoio legislativo e de aplicação e na compreensão do público sobre processos de fabricação de cimento;
- Promover fontes alternativas de financiamento para tecnologias de baixo carbono na indústria de cimento, incluindo integração e apoio entre agências de fomento e bancos multilaterais de desenvolvimento (por exemplo, Fundos de Investimento Climático administrados pelo Banco Mundial, *International Finance Corporation*, Banco Europeu para a Reconstrução e Desenvolvimento, Banco Interamericano de Desenvolvimento), de modo a demonstrar os efeitos positivos para o setor na adoção de tais medidas;
- Estruturar linhas multi-setoriais para o financiamento de melhorias de eficiência energética não só na indústria do cimento;
- Revisar e atualizar a regulação regional e nacional, para garantir a utilização de combustíveis alternativos e de biomassa na produção de cimento.