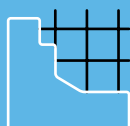




Construction
to Zero



Manual Setorial de Descarbonização

PRODUTOS BETÃO

CAE 23610

FICHA TÉCNICA

Designação do documento

Roteiro de Descarbonização para a fileira da construção e atividades industriais associadas

Manual Setorial de Descarbonização

Produtos de Betão para a Construção – CAE 23610

Promotor/Editor

Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC) e Associação Portuguesa de Cimento (ATIC)

Autoria

Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC) e Associação Portuguesa de Cimento (ATIC), com o apoio da 3drivers – Engenharia, Inovação e Ambiente SA e BUILT CoLAB – Laboratório Colaborativo para o Ambiente Construído do Futuro

Equipa de trabalho

Coordenação

Fátima Rato (ATIC) e Filomena Duarte (PTPC/Cluster AEC)

Equipa Técnica

Ana Mestre (3drivers), António Lorena (3drivers), Carolina Rosa (Ecoprogresso), Catarina Silva (BUILT CoLAB), João Pedro Capa (ATIC), Leonor Santos (BUILT CoLAB), Lurdes Laranjeira (BUILT CoLAB), Susana Ribeiro (Ecoprogresso), Vanessa Tavares (BUILT CoLAB), Vera Durão (3drivers)

Co-financiamento

Elaborado com o apoio da União Europeia – NextGenerationEU, no âmbito do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência.



Data

Outubro de 2025

ÍNDICE

01. Acrónimos	4
02. Sumário Executivo	4
03. Enquadramento	4
04. Caracterização do Setor	5
Empresas e Mercado	5
Processo Produtivo e Ciclo de Vida	5
Perfil Energético e de Emissões	6
05. Boas Práticas Setoriais	6
06. Medidas de Descarbonização	7
Avaliação de Impacte das Medidas de Descarbonização	9
07. Trajetórias de Descarbonização	11

01. ACRÓNIMOS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
BAU	Business-as-usual
CCUS	Carbon Capture, Utilisation and Storage
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GNC	Gás Natural Comprimido
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
UPAC	Unidades de Produção para Autoconsumo

02. SUMÁRIO EXECUTIVO

O Manual de Descarbonização do Setor dos Produtos de Betão para a Construção constitui um instrumento técnico e estratégico essencial para apoiar a transição de um dos subsectores industriais mais relevantes da cadeia da construção — um setor estrutural, intensivo em recursos naturais e com impacto económico expressivo a nível nacional. Este setor abrange a produção de elementos pré-fabricados de betão, incluindo peças estruturais e não estruturais, componentes para infraestruturas urbanas, sistemas de drenagem, saneamento, edificação e mobiliário urbano, desempenhando um papel determinante na consolidação do ambiente construído.

Face aos compromissos assumidos a nível nacional e europeu, nomeadamente a meta de neutralidade carbónica até 2050 e os objetivos vinculativos em matéria de redução de emissões e eficiência energética, torna-se imperativo que o setor dos Produtos de Betão para a Construção adote medidas concretas de descarbonização. Esta transformação deve assentar numa abordagem integrada, assente nos princípios de eficiência no uso dos recursos e dos princípios de economia circular e que combine inovação tecnológica, reconfiguração de processos, valorização de materiais alternativos e reorganização logística, sem comprometer a qualidade, a fiabilidade e o desempenho do produto.

Entre os temas abordados neste Manual incluem-se, de forma transversal, a valorização de resíduos e subprodutos industriais, a otimização do uso de energia, a incorporação de tecnologias de produção e monitorização digital e o prolongamento da vida útil dos produtos de betão por via de formulações mais duráveis e adaptadas às condições ambientais. Estas ações, quando articuladas, permitem ganhos simultâneos em termos ambientais, técnicos e económicos.

O setor é composto por um número reduzido de empresas que são, na sua maioria, micro e pequenas empresas. Pela sua natureza, é um setor orientado para o mercado interno e, em 2023, registou um volume de negócios de 378 milhões de euros. É um setor de elevada intensidade energética e carbónica, com uma dependência significativa de combustíveis fósseis e de matérias-primas muito intensivas em carbono, como o cimento, que torna, por sua vez, a pegada carbónica do setor muito significativa.

Com a crescente exigência de desempenho ambiental, é de notar a adopção de boas práticas na fabricação de Produtos de Betão para a Construção, apoiadas nos princípios de economia circular e de eficiência na utilização de recursos. Entre as mais significativas destacam-se a integração de materiais reciclados e adições minerais, a utilização de cimentos com menor teor de clínquer, a melhoria da eficiência energética e hídrica nos processos produtivos e a digitalização das operações, contribuindo para a redução da pegada carbónica e para a valorização sustentável do setor.

Neste Manual são modelados um conjunto de possíveis trajetórias de descarbonização que ilustram diferentes graus de evolução até 2050: o cenário *Business-As-Usual* (BAU), *Baseline* e *Neutralidade Carbónica*.

O cenário BAU considera a projeção de crescimento do setor até 2050, sem que nenhuma ação de descarbonização seja implementada. Neste cenário, as emissões do setor reduzem apenas 6% até 2050, sobretudo devido à diminuição projetada da produção. No cenário *Baseline*, a descarbonização parcial dos setores a montante e jusante (cimento, transportes e energia) permite uma redução de cerca de 50%, mantendo o cimento como principal fonte de emissões. Já no cenário de Neutralidade Carbónica, a implementação de medidas no fabrico e transporte, aliada à captura de carbono CCUS na produção de cimento e aos benefícios da recarbonatação e reciclagem, permite atingir uma redução total próxima de 100%, conduzindo à neutralização da pegada carbónica do setor dos Produtos de Betão para a Construção.

03. ENQUADRAMENTO

O setor da fabricação de Produtos de Betão para a Construção ocupa uma posição estratégica e transversal na cadeia de valor da construção civil e das infraestruturas urbanas, assumindo-se como um dos principais consumidores de matérias-primas minerais e como um relevante emissor de gases com efeito de estufa (GEE) associados à fase industrial de fabrico de componentes construtivos. Esta intensidade carbónica decorre, em grande medida, da utilização predominante do cimento *Portland* nas formulações de Betão, cuja produção é altamente intensiva em energia e emissões, bem como do consumo significativo de energia nos processos industriais específicos, como a dosagem, mistura, vibrocompactação, cura térmica, manuseamento e transporte das peças pré-fabricadas.

Face aos compromissos vinculativos assumidos a nível nacional e europeu no quadro da ação climática, nomeadamente os objetivos preconizados no Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050)¹, e o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC), o setor dos Produtos de Betão para a Construção encontra-se perante o imperativo de reduzir de forma significativa a sua pegada carbónica ao longo do ciclo de vida do produto. A descarbonização deste setor, crucial para a sustentabilidade da construção civil, exige a implementação integrada de medidas técnicas, operacionais e organizacionais estruturadas em quatro pilares fundamentais:

- Eficiência de materiais:** otimização das formulações de Betão, incorporação de materiais suplementares cimentícios, redução do teor de cimento *Portland* e aumento da durabilidade do produto, de modo a minimizar a intensidade carbónica específica do Betão produzido;
- Energia e Eficiência Energética:** substituição progressiva dos combustíveis fósseis por fontes renováveis e de baixo carbono nos processos produtivos, promovendo a electrificação das operações e a utilização de biocombustíveis, gás natural renovável (biometano), hidrogénio verde e outros vetores energéticos inovadores e de baixo carbono;
- Transportes e Logística:** reestruturação das cadeias de abastecimento e transporte, visando a minimização das emissões associadas ao transporte das matérias-primas e do produto acabado, através de rotas optimizadas, meios de transporte de baixo carbono e eficiência na gestão de frota;
- Inovação e Digitalização:** aplicação de tecnologias digitais para monitorização em tempo real, controlo e optimização dos processos produtivos e logísticos, inovação e apoio à tomada de decisão baseada em dados, contribuindo para a redução dos desperdícios e melhoria contínua dos indicadores ambientais.

¹ Resolução do Conselho de Ministros n.º 107/2019, de 1 de julho, que aprova o RNC 2050.

As medidas de descarbonização propostas dentro de cada eixo atuam ao longo do ciclo de vida do produto, garantindo que os impactos são reduzidos em toda a cadeia de valor, desde a incorporação das matérias-primas na fase de produção, passando pela fase operacional, contribuindo para uma melhor gestão ao longo da sua vida útil até à fase de fim de vida.

O presente Manual visa fornecer um referencial técnico e estratégico abrangente, que apoie as entidades do setor dos Produtos de Betão para a Construção na adoção de práticas e tecnologias alinhadas com os princípios da sustentabilidade ambiental, da eficiência no uso de recursos e da inovação tecnológica. Através da implementação destas orientações, pretende-se contribuir decisivamente para a redução das emissões líquidas de carbono do setor, garantindo simultaneamente a qualidade, segurança e desempenho dos materiais e soluções construtivas.

04. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

Empresas e Mercado

Em 2023, o setor da fabricação de Produtos de Betão para a Construção (CAE 23610) em Portugal, registava 214 empresas². Ao longo dos últimos cinco anos, verificou-se um ligeiro decréscimo no número total de empresas, indicando uma possível tendência de concentração ou racionalização do mercado.

A composição empresarial é fortemente dominada por microempresas, que representam a grande maioria dos operadores do setor. Pequenas e médias empresas têm uma presença mais reduzida, refletindo um perfil típico de mercado fragmentado com predominância de unidades de menor escala.

Em termos económicos, a evolução do volume de negócios e do valor acrescentado bruto nas empresas do setor demonstrou alguma estabilidade e crescimento moderado durante o período entre 2019 e 2023. O setor mantém uma forte orientação para o mercado interno, com cerca de 89% das vendas concentradas em território nacional, totalizando aproximadamente 378 milhões de euros³.

A atividade exportadora e as importações apresentam uma expressão residual, revelando a dependência do setor na dinâmica do mercado doméstico. Geograficamente, a distribuição das empresas está concentrada em cinco regiões principais do país, classificadas segundo a NUTS III. Estas regiões agrupam a maioria das unidades produtivas e refletem os principais polos industriais associados à fabricação de Produtos de Betão para a Construção.

Processo Produtivo e Ciclo de Vida

O setor da fabricação de Produtos de Betão para a Construção envolve um conjunto diversificado de processos industriais que transformam matérias-primas básicas – como cimento, agregados, água e aditivos – em elementos pré-fabricados essenciais para a construção civil e infraestruturas. Estes produtos incluem blocos, painéis, lajes, tubos e outros componentes estruturais ou não estruturais utilizados em edifícios, infraestruturas viárias, sistemas de saneamento e equipamentos urbanos.

O processo produtivo inicia-se com a receção e armazenamento das matérias-primas, seguido da dosagem e mistura rigorosa para garantir a homogeneidade e as propriedades técnicas exigidas. Esta mistura é geralmente realizada em centrais industriais automatizadas, que controlam parâmetros como a quantidade de água, cimento e aditivos, assegurando a qualidade do betão fresco. O betão é então moldado em formas específicas e submetido a processos de cura controlada, que podem incluir métodos tradicionais, como cura em estufa ou ao ar livre, ou técnicas avançadas, como a cura acelerada em autoclaves, dependendo do tipo de produto e das exigências técnicas. As operações logísticas associadas à distribuição dos produtos finais até aos locais de obra constituem outra fase importante, exigindo transporte especializado para garantir a integridade e qualidade dos produtos durante o percurso. A Figura 1 esquematiza as etapas do ciclo de vida dos Produtos de Betão.

Ao longo de todo o ciclo de fabricação de Produtos de Betão para a Construção, desde a extração das matérias-primas até à fase de demolição e valorização no fim de vida, diversos fatores influenciam o impacto ambiental das operações industriais.

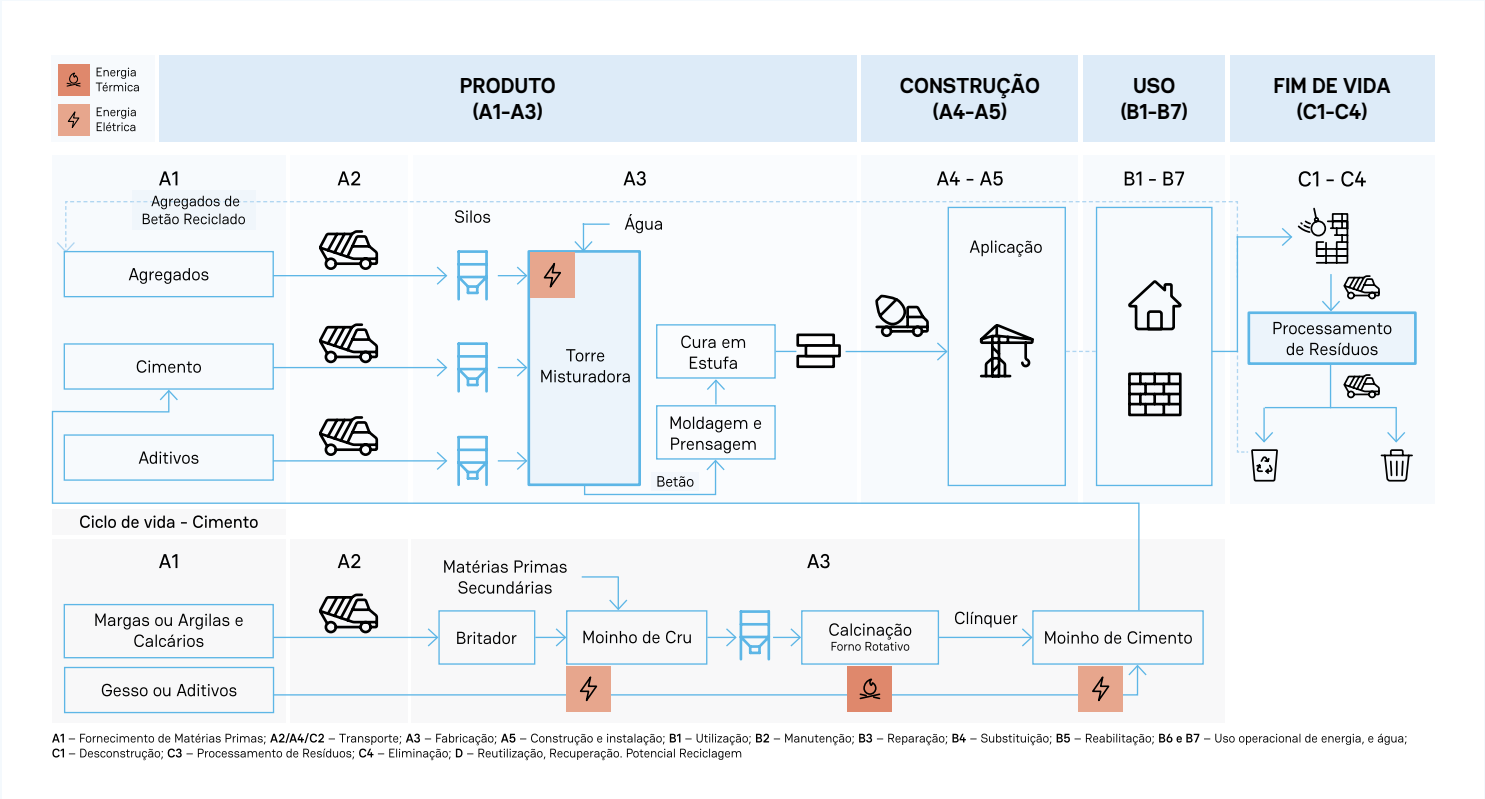


Figura 1. Etapas do Ciclo de Vida dos Produtos de Betão para a Construção

A produção de cimento, componente essencial nos produtos de betão, representa a etapa com maior intensidade energética e emissões de gases com efeito de estufa, em virtude do consumo de combustíveis fósseis e das reações químicas inerentes à formação de clínquer. A estas emissões somam-se os impactos associados ao transporte de matérias-primas e produtos acabados, cuja otimização logística tem um peso significativo no perfil ambiental do setor.

Durante a fase de fabrico em unidade industrial — que inclui operações como dosagem, mistura, moldação, vibrocompactação e cura — os consumos energéticos (eletricidade e, em alguns casos, energia térmica) e a eficiência dos equipamentos utilizados são determinantes para o desempenho ambiental das unidades produtivas. A diversidade de produtos fabricados (blocos, manilhas, lancis, pavês, painéis, entre outros), muitas vezes em pequenas séries ou por medida, impõe desafios adicionais à padronização e otimização energética dos processos.

A durabilidade, resistência e desempenho técnico dos produtos têm influência direta na sua longevidade e nas necessidades de manutenção das construções em que são aplicados. Produtos de maior qualidade e durabilidade contribuem para ciclos de vida mais longos, reduzindo intervenções futuras e os impactos ambientais associados à substituição ou reparação.

No fim de vida das infraestruturas e edifícios, os produtos de betão podem ser demolidos e os seus constituintes, como os agregados, reciclados e reintegrados em novos ciclos produtivos. Esta valorização contribui para a redução da extração de recursos naturais, a minimização de resíduos enviados para aterro e o reforço de uma lógica de economia circular.

A transição para práticas mais sustentáveis no setor passa pela adoção de soluções técnicas e operacionais que permitam reduzir as emissões e os consumos de energia. Entre estas, destacam-se a substituição parcial do clínquer por adições minerais com propriedades hidráulicas ou pozolánicas (como escórias, cinzas volantes, fillers ou argilas calcinadas), a incorporação de agregados reciclados, a modernização dos equipamentos produtivos e a utilização de fontes de energia renovável. Adicionalmente, a eficiência logística pode ser melhorada através da redução das distâncias de transporte e da renovação das frotas para veículos de menor impacto ambiental, especialmente relevante dada a elevada densidade e volume dos produtos transportados.

Por fim, o desenvolvimento e fabrico de produtos de betão com elevado desempenho técnico e durabilidade é crucial para alargar a vida útil das soluções construtivas, diminuir a frequência de intervenções e contribuir para uma construção mais sustentável. Estas práticas são fundamentais para que o setor responda às exigências crescentes de regulamentação ambiental, metas climáticas e preferências do mercado, cada vez mais orientadas para materiais com menor pegada carbónica e melhor desempenho ao longo do ciclo de vida.

Perfil Energético e de Emissões

De acordo com dados disponibilizados pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), a atividade industrial de fabricação de produtos de betão registou, em 2023, um consumo total de energia final de 130 335 GJ⁴. A eletricidade representa cerca de 67% deste consumo, refletindo a importância da energia elétrica nos processos produtivos, nomeadamente na operação dos equipamentos de mistura, moldagem e controlo de qualidade. Por outro lado, o gasóleo corresponde a 33% do consumo energético, sendo indicativo do uso de combustíveis fósseis nas operações logísticas e de suporte industrial.

Relativamente às emissões diretas e indiretas de GEE (âmbito 1 e 2) do setor em 2023, totalizaram 5 658 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), com a maior parte das emissões resultantes da combustão de gasóleo, em que 54% das emissões são resultantes da combustão de gasóleo. A eletricidade consumida tem um impacto emissivo reduzido neste balanço, devido à origem da eletricidade no mix energético nacional, que incorpora uma elevada percentagem de fontes renováveis.

Contudo, verifica-se que 46% do total das emissões de GEE são relativas à utilização deste vetor energético.

Este padrão de consumo de energia e emissões associadas, destaca a necessidade de intervenções direcionadas para a eficiência energética e para a substituição progressiva dos combustíveis fósseis por alternativas descarbonizadas, a fim de reduzir a pegada carbónica do setor.

As emissões associadas à etapa de extração e transporte de matérias-primas e fim de vida dos Produtos de Betão também foram estimadas para a situação de referência, e são apresentadas na Figura 2.

A estimativa da pegada de carbono dos Produtos de Betão totaliza 133 kgCO₂e por tonelada de produto. A extração das matérias-primas tem um impacto muito significativo na pegada de carbono dos Produtos de Betão, representando mais de 73% das emissões totais (âmbito 1, 2 e 3) de GEE. Dentro da extração das matérias-primas, a descarbonatação do cimento representa 63% das emissões, pelo que consubstancia um eixo fundamental na descarbonização do setor dos Produtos de Betão para a Construção.

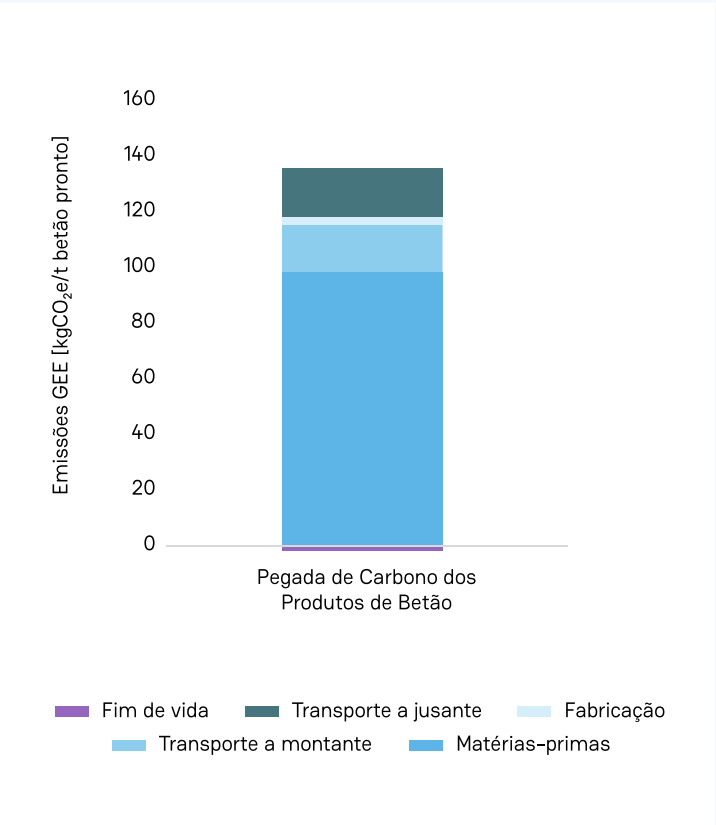


Figura 2. Contribuição das diferentes etapas de ciclo de vida para a pegada de carbono dos Produtos de Betão (situação de referência: 2023).

05. BOAS PRÁTICAS SETORIAIS

A crescente exigência de desempenho ambiental, regulatório e funcional no setor da construção tem vindo a impulsionar transformações significativas na forma como os produtos de betão são concebidos, fabricados e aplicados. Estas transformações têm como objetivo principal alinhar a atividade industrial com os princípios da sustentabilidade, promovendo uma utilização mais eficiente dos recursos naturais, a redução dos impactos ambientais diretos e indiretos e a melhoria do desempenho global dos produtos ao longo do seu ciclo de vida.

Neste contexto, a **integração de material reciclado** na produção representa uma das práticas com maior impacto positivo. A substituição de agregados naturais por agregados reciclados provenientes de resíduos de construção e demolição (RCD) permite reduzir a pressão sobre jazidas de inertes, prolongar a vida útil de recursos não renováveis e contribuir para a redução do volume de resíduos enviados para aterro.

⁴ Dados disponibilizados pela DGEG (2025) relativos ao CAE 26230.

Quando devidamente triados, processados e classificados, estes agregados podem ser incorporados em diferentes tipos de produtos pré-fabricados – como blocos, pavimentos ou elementos de drenagem – mantendo os níveis de desempenho exigidos pelas normas de qualidade e resistência estrutural. Esta abordagem está em linha com os princípios da economia circular e reforça o contributo da indústria para a gestão sustentável dos materiais.

Paralelamente, a **utilização de cimentos com baixa incorporação de clínquer** surge como uma estratégia essencial na redução da pegada carbónica do betão. O clínquer é o principal responsável pelas emissões associadas à produção de cimento, devido ao seu processo de fabrico altamente energético e emissor de CO₂. A substituição parcial deste componente por materiais com propriedades pozolânicas ou hidráulicas latentes permite reduzir as emissões diretas do ligante e, ao mesmo tempo, melhorar propriedades técnicas como a durabilidade, a resistência química e o comportamento em ambientes agressivos.

Neste âmbito, ganha relevo a **adição de compostos minerais** à produção, como cinzas volantes, escórias moídas de alto-forno, sílica ativa ou filler calcário⁵. Estas adições contribuem para densificar a matriz cimentícia, melhorando a trabalhabilidade, a compacidade e a resistência à penetração de agentes agressivos. A incorporação destas adições está, assim, associada não apenas à redução do teor de clínquer, mas também à melhoria do desempenho técnico dos produtos.

Do ponto de vista da eficiência operacional, a **melhoria da eficiência energética dos processos de produção** constitui uma prioridade crescente. A modernização de equipamentos industriais, o uso de sistemas de controlo automatizado e a otimização do consumo energético nas etapas de mistura, moldagem e cura permitem reduzir significativamente a intensidade energética por unidade de produto. A integração de fontes de energia renovável, como a solar fotovoltaica, nas instalações produtivas pode ainda reforçar a sustentabilidade energética do setor e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Complementarmente, a **reciclagem interna do betão fresco excedentário**, através da utilização de sistemas de separação de agregados e recuperação de pasta cimentícia, constitui uma medida eficaz para evitar desperdícios de material. Esta prática permite recuperar materiais com características adequadas à reincorporação em novas formulações, assegurando o cumprimento dos requisitos técnicos. Quando associada à otimização do mix de betão com menor utilização de ligante hidráulico, permite reduzir de forma significativa o consumo de cimento, sem comprometer o desempenho mecânico dos produtos.

A inovação no setor tem igualmente promovido a otimização da fabricação através de prefabricação e modularidade. A produção em ambiente controlado, com moldes padronizados e processos repetitivos, garante maior qualidade dimensional, menores perdas de material e redução do tempo de execução em obra. Esta abordagem, quando combinada com a fabricação para a montagem e para a desmontagem, facilita a manutenção, a desmontagem seletiva no fim de vida útil e a reutilização dos componentes, contribuindo para a circularidade do setor da construção.

Relativamente ao desempenho energético na fase de utilização, os produtos de betão apresentam um contributo relevante devido à sua elevada inércia térmica. Esta propriedade permite reduzir as oscilações térmicas no interior dos edifícios, o que se traduz numa menor dependência de sistemas de aquecimento e arrefecimento, aumentando a eficiência energética global.

A manutenção preventiva para aumento da resiliência e longevidade é igualmente uma prática com impacto relevante. A conceção de produtos com elevada durabilidade e resistência à agressividade ambiental – como a carbonatação, os cloretos, os ciclos gelo-degelo ou os sulfatos – permite estender a vida útil das estruturas, reduzir a frequência de intervenções e os custos associados à reabilitação.

A implementação de programas de inspeção periódica e manutenção preventiva contribui para prevenir falhas estruturais, aumentar a fiabilidade dos ativos e reduzir o impacto ambiental associado à substituição prematura.

No que diz respeito à inovação tecnológica, destaca-se a captura do CO₂ na produção de cimento e sua incorporação na produção de betão como uma abordagem emergente e promissora. As tecnologias de carbonatação acelerada e mineralização do CO₂ permitem fixar quimicamente o carbono em produtos de betão, criando ciclos fechados entre a produção de cimento e os elementos fabricados. Em particular, a utilização de aditivos para carbonatar agregados provenientes de RCD representa uma inovação que alia a valorização de resíduos à mitigação das emissões de gases com efeito de estufa.

A implementação destas boas práticas – que incluem desde a formulação de betões mais sustentáveis até à gestão eficiente dos recursos hídricos e energéticos, passando por estratégias circulares e inovações tecnológicas – constitui uma base robusta para a transição do setor dos Produtos de Betão para a Construção para um modelo de baixo carbono. A sua aplicação sistemática contribui de forma significativa para o cumprimento das metas definidas pelo Pacto Ecológico Europeu, pela taxonomia ambiental da União Europeia e pelas normas técnicas de construção sustentável, reforçando o papel do setor na transformação ecológica da economia.

06. MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO

A Fabricação de Produtos de Betão com baixa pegada carbónica exige a implementação coordenada de medidas técnicas, regulatórias e organizacionais, suportadas por políticas públicas que assegurem a existência de incentivos adequados, normas harmonizadas e acesso facilitado ao financiamento verde.

A descarbonização deste setor implica uma atuação integrada em quatro vetores fundamentais, nomeadamente:

Eficiência de Recursos, Materiais e Processos

Através da reformulação das composições dos produtos de betão, promovendo a incorporação de cimentos com menor emissão de CO₂, a incorporação de materiais reciclados e subprodutos industriais, bem como a maximização do potencial de circularidade ao longo do ciclo de vida do produto;

Energia e Eficiência Energética

Promovendo a adoção de fontes de energia renovável e a melhoria contínua do desempenho energético das unidades fabris, especialmente nas operações de mistura, moldação e cura;

Transportes e Logística

Através da substituição progressiva da frota de equipamentos e veículos por alternativas de baixo carbono, e da otimização dos fluxos logísticos internos e externos, com enfoque nas particularidades do transporte de produtos pesados e volumosos;

Ecodesign, Inovação e Digitalização

Integrando soluções tecnológicas e digitais que permitam o controlo em tempo real da produção, a rastreabilidade dos materiais, o aumento da eficiência dos processos e o desenvolvimento de soluções construtivas inovadoras com menor impacto ambiental.

⁵ A incorporação destes compostos minerais pressupõe uma avaliação técnica das misturas que garanta o cumprimento das necessárias características técnicas do betão.

Eficiência de Recursos, Materiais e Processos



01. Integração de Material Reciclado na Produção

A incorporação de materiais reciclados na produção de componentes para construção constitui uma via essencial para a promoção da circularidade e para a redução da pegada ambiental do setor. No entanto, enfrenta entraves técnicos e normativos significativos, destacando-se a exigência de conformidade com especificações técnicas e estéticas rigorosas, nomeadamente em produtos com visibilidade final elevada. A variabilidade das matérias-primas recicladas pode comprometer a uniformidade e a qualidade dos produtos finais, sendo por isso fundamental garantir mecanismos robustos de controlo da qualidade. A aceitação pelo mercado e a criação de incentivos para os clientes são fatores-chave para alavancar esta solução.

02. Adição de Compostos Minerais à Produção

A substituição parcial de ligantes convencionais por compostos minerais (fillers, cinzas volantes, argilas calcinadas, pozolanas artificiais) encontra-se amplamente disseminada em Portugal, sendo uma estratégia eficaz para reduzir a incorporação de clínquer e, consequentemente, as emissões associadas. Esta medida contribui para a melhoria de propriedades específicas do betão, como a durabilidade e a resistência química. A escassez de escórias de alto forno limita a sua aplicação atual, sendo as argilas calcinadas apontadas como uma alternativa promissora pela sua previsível disponibilidade. A adoção desta medida requer uma avaliação rigorosa da resistência mecânica a longo prazo e, regra geral, é suportada por investimento próprio, dado depender das opções estratégicas de cada operador.

03. Utilização de Cimentos com Baixa Incorporação de Clínquer

A adoção de cimentos com menor teor de clínquer representa uma medida prioritária para a descarbonização do setor dos Produtos de Betão para a Construção. Esta solução permite reduzir a intensidade carbónica por tonelada de ligante, mantendo-se os requisitos de desempenho mecânico e de durabilidade em conformidade com as exigências estruturais e normativas.

Entre os principais constrangimentos técnicos destacam-se a menor resistência inicial, que impacta nos tempos de descofragem e na rotatividade de moldes, a necessidade de reconfiguração dos traços de betão e a adequação dos processos industriais. Adicionalmente, é fundamental rever as especificações em cadernos de encargos e o recurso a novos adjuvantes para minimizar os efeitos referidos.

04. Otimização do Mix de Betão com Menor Utilização de Ligante Hidráulico

A reformulação do traço do betão com menor teor de ligante hidráulico visa a redução do conteúdo de cimento sem comprometer o desempenho técnico. A eficácia desta abordagem está condicionada à disponibilidade de adições minerais de elevada reatividade, como as escórias, cuja escassez no mercado limita a aplicabilidade imediata. Os constrangimentos normativos também representam uma barreira, dado que as formulações atuais já se encontram no limite inferior permitido. Trata-se de uma medida tecnologicamente exigente, com elevado potencial de inovação, que requer forte investimento em I&D, nomeadamente por parte da indústria cimenteira. Para os operadores de produtos de betão, que utilizam cimento fornecido externamente, os requisitos de investimento são menos intensivos.

Energia e Eficiência Energética



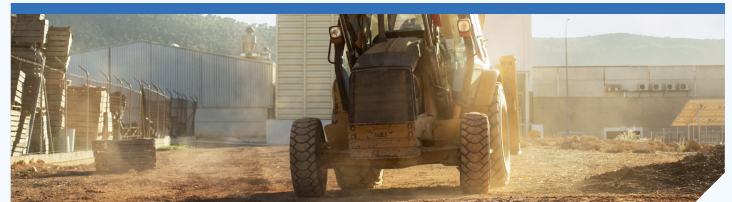
01. Melhoria da Eficiência Energética dos Processos de Produção

A racionalização do consumo energético nas unidades produtivas constitui um vetor fundamental de descarbonização. As empresas do setor, em especial as de menor dimensão, já realizam monitorização periódica dos consumos, embora a instalação de sistemas de monitorização contínua ainda não seja comum. A substituição por equipamentos energeticamente mais eficientes implica investimentos consideráveis, especialmente em unidades fabris mais antigas, cujo layout dificulta alterações estruturais. A diversidade de produtos e a elevada customização das encomendas dificultam, adicionalmente, a padronização de soluções. A otimização sazonal das formulações, com o recurso a sistemas de aquecimento no inverno, evidencia a necessidade de adaptação energética contínua para manter a qualidade dos produtos.

02. Produção de Energia Elétrica e Térmica a Partir de Fontes Renováveis

A integração de sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis (solar, biomassa, entre outras) está em curso no setor, mas os elevados custos iniciais continuam a ser a principal barreira à sua disseminação. Para empresas de maior dimensão, o investimento pode ser parcialmente compensado pelos ganhos associados à redução de emissões (nomeadamente no contexto de regimes como o CELE). Esta medida contribui diretamente para a redução das emissões de escopo 1 e 2 e alinha-se com as estratégias nacionais e europeias de transição energética.

Transportes e Logística



01. Substituição de veículos a combustão fóssil por combustíveis de baixo carbono

A transição para veículos movidos a combustíveis com menores emissões (biocombustíveis, gás natural comprimido [GNC], hidrogénio verde ou eletricidade), representa um desafio relevante para o setor, devido às especificidades operacionais das fábricas (como pavimentos e layout interno), bem como aos elevados pesos transportados.

Esta transição exige investimentos significativos, análise de viabilidade técnico-económica, e o desenvolvimento paralelo de infraestruturas de abastecimento e manutenção.

Inovação, Ecodesign e Digitalização



01. Digitalização dos Fluxos Operacionais de Produção

A digitalização dos processos produtivos e logísticos constitui uma medida com elevado potencial de redução de impacte ambiental, nomeadamente na redução de consumos, otimização de recursos e rastreabilidade dos fluxos operacionais. Embora não represente um investimento inicial elevado, a sua adoção é condicionada pela escassez de recursos humanos qualificados e pela dificuldade de integração em fábricas com infraestruturas mais antigas. Esta medida apresenta um horizonte de implementação curto, sendo normalmente realizada com recurso a capital próprio e associada a ganhos operacionais e energéticos indiretos.

Avaliação de Impacte das Medidas de Descarbonização

As medidas de descarbonização propostas foram avaliadas em vários momentos de auscultação ao setor. Foi realizada uma avaliação técnica da viabilidade de implementação das medidas e do seu custo e retorno económico esperado, cujos resultados da auscultação são apresentados na Figura 3 e 4, respetivamente.



Figura 3. Avaliação do impacte das medidas em sede de auscultação ao setor

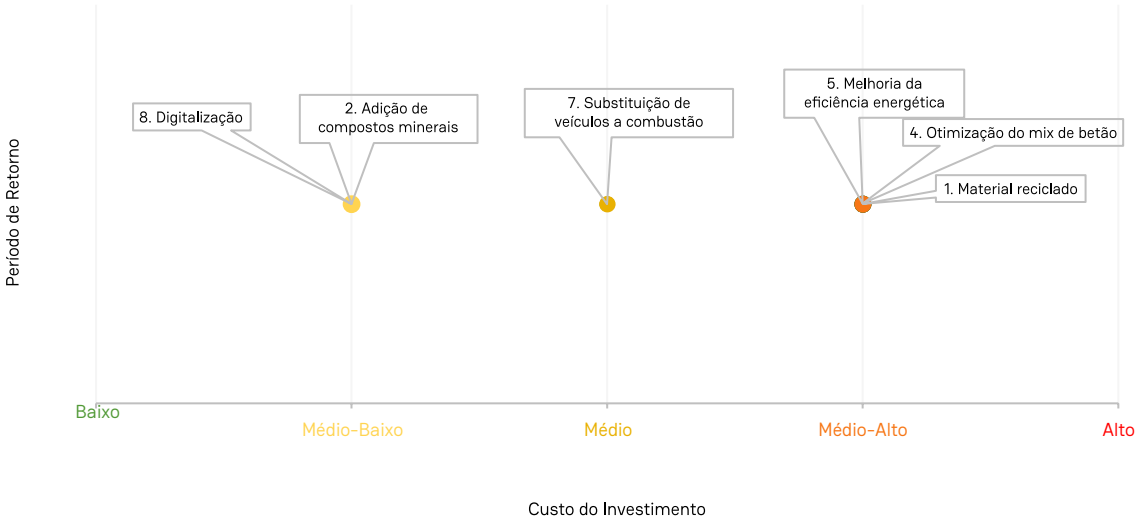


Figura 4. Avaliação do custo de investimento e período de retorno esperado das medidas propostas em sede de auscultação ao setor⁸.

A Tabela 1 apresenta o conjunto de medidas de descarbonização avaliadas para o setor dos Produtos de Betão para a Construção, agrupadas por vetor de descarbonização e comparando as abordagens do modelo de ACV com as propostas recolhidas na auscultação ao setor.

Para cada medida, é estimado o seu potencial de redução de emissões de GEE face à situação de referência e, sempre que possível, uma avaliação qualitativa dos custos e do retorno económico esperado.

⁸ Por questões associadas à plataforma de avaliação (Mentimeter) não foi possível avaliar o período de retorno esperado para as medidas dos Produtos de Betão. Desta forma, foi distribuída de igual forma a ponderação pelos 4 parâmetros de avaliação disponíveis, atribuindo-se um peso de 25%.

Tabela 1 – Medidas de descarbonização avaliadas no setor dos Produtos de Betão

Vetor de Descarbonização	Medidas do modelo de ACV	Medidas propostas e avaliadas em sede de auscultação ao setor	Redução da pegada de carbono face à situação de referência	Custo (€) / Retorno (●) avaliados em sede de auscultação ao setor
Eficiência de Recursos, Materiais e Processos	Aumento de eficiência na fase de extração e processamento de agregados (50% da medida - reciclados e 50% - melhoria de eficiência de processos de extração e processamento) e aumento da reciclagem em fim de vida	Incorporação de agregados reciclados ⁷	-2,4% (eficiência e uso de reciclados) -0,8% (encaminhamento no fim de vida)	€/ / ●●
	Descarbonatação (por utilização de matérias secundárias e redução de quantidade de clínquer)	Integração de subprodutos industriais com propriedades cimentícias (escórias de fundição, cinzas volantes, fillers e outros)	-15,2%	€ / ●
	Aumento de eficiência na fase de extração e processamento de matérias-primas	Utilização de cimentos com baixa incorporação de clínquer	-2,7%	€/ / ●
	Descarbonização da produção de aço (50% aço Português e 50% aço médio EU27 2017-2022 ⁸)	-	-9,8%	-
	Recarbonatação na vida útil	-	-2,4%	-
	Recarbonatação fim de vida	Uso de aditivos para carbonatar agregados provenientes de RCD	-2,2%	€/€/ / ●●
Energia e Eficiência Energética	Descarbonização da energia elétrica, p. ex. através da instalação de UPACs	Produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energia renováveis	<-0,1%	€/ / ●
	Substituição de combustíveis fósseis por outros alternativos nos processos de extração e processamento de matérias-primas do cimento e de agregados	-	-2,7% (matérias-primas cimento) -2,4% (agregados)	€/ / ●●
	Utilização de combustíveis alternativos (coprocessamento) na produção de clínquer	-	-15,9%	€/ / ●●
Transportes e Logística	Melhoria de eficiência e substituição de combustíveis fósseis por outras alternativas no transporte de matérias-primas e no de produto	Substituição de veículos a combustão fóssil por combustíveis de baixo carbono	-8,8% (transporte a montante) -9,4 % (transporte a jusante)	€/ / ●●
CCUS na produção de cimento (<i>Carbon Capture, Utilisation and Storage</i>)			-20,6%	€/€/ / ●●●●
Medidas de compensação de carbono			-5,1%	€/€/ / ●●●
TOTAL			-100%	

Legenda

Período de Retorno:

- Até 5 anos ●● Entre 5 e 10 anos ●●● Entre 10 a 20 anos
- Sem retorno, mas custos com tendência decrescente
- Sem retorno e custos não apresentam uma tendência decrescente

Custo Investimento:

- € - Baixo
- €/ - Médio
- €/€ - Alto

⁷ Bampanis, I., & Vasilatos, C. (2023). Recycling concrete to aggregates. Implications on CO2 footprint. Materials Proceedings, 15(1), 28. ⁸ <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138138>

07. TRAJETÓRIAS DESCARBONIZAÇÃO

A definição de trajetórias de descarbonização permite projetar o impacto das medidas de mitigação nas emissões de GEE ao longo do tempo, avaliando diferentes níveis de ambição tecnológica, operacional e regulatória.

A situação de referência para o setor dos Produtos de Betão para a Construção foi definida como sendo o ano de 2023⁹, a partir da qual se estimaram três cenários ao longo do período temporal 2025-2050. Foi definido um cenário de referência, *Business as Usual* (BAU), e dois cenários de descarbonização (*Baseline* e *Neutralidade Carbónica*).

Com base nas projeções constantes no PNEC2030 e RNC2050 para a produção nacional de cimento, considera-se um ligeiro abrandamento na taxa de crescimento anual, passando de -0,27% entre 2025 e 2034, a -0,23% entre 2035 e 2050, que se assume também para o setor dos Produtos de Betão para a Construção.

O cenário de referência **Business-As-Usual (BAU)** assume a manutenção da situação atual (2023), apenas tendo em conta a taxa de crescimento anual do setor, não contemplando qualquer medida de descarbonização.

O cenário **Baseline** assume que a transformação decorre principalmente de fatores exógenos, isto é, que não se encontram na influência direta das empresas do setor dos Produtos de Betão para a Construção. Assume as tendências de descarbonização em setores que impactam diretamente o dos Produtos de Betão: eficiência energética de processos industriais a montante e a jusante, descarbonização no setor dos transportes (através de substituição de combustíveis) e descarbonização da rede elétrica nacional. A estas é também considerada a recarbonatação do betão durante a sua vida útil (12%).

O cenário **Neutralidade Carbónica** inclui todas as medidas de descarbonização passíveis de implementar pelo setor, que são apresentadas neste Manual. Inclui também as medidas de descarbonização dos setores que o impactam diretamente e que foram incluídas no cenário *Baseline*.

A Figura 5 apresenta o cenário de referência e os cenários de descarbonização que foram modelados, até 2050.

No **cenário BAU** observa-se uma redução de 6% nas emissões totais do setor em 2050, face à situação de referência (2023). Isto deve-se à projeção futura de produção de Produtos de Betão que foi considerada como negativa, com uma redução anual. Com a concretização das medidas de descarbonização no cenário *Baseline* e *Neutralidade Carbónica*, é possível atingir reduções totais (líquidas, considerando a redução absoluta de emissões e o benefício da reciclagem, recarbonatação e CCUS) de cerca de -50% no *Baseline* e -100% no cenário da *Neutralidade Carbónica*.

No **cenário Baseline**, a redução face ao BAU ocorre sobretudo das medidas relacionadas com as Matérias-primas (-20,83 kgCO₂e/t), Transporte a montante e jusante (-17,00 kgCO₂e/t) e Fabrico (-1,46 kgCO₂e/t), medidas essas que ocorrem de forma independente ao setor dos Produtos de Betão. A descarbonização em setores a montante e jusante permite que o setor dos Produtos de Betão consiga descarbonizar cerca de 48% da sua pegada de carbono, mas para atingir a neutralidade carbónica, o setor necessita de implementar ações de descarbonização de forma consistente e integrada.

No **cenário Neutralidade Carbónica**, é possível atingir uma redução total de emissões de 98%. Apesar das medidas implementadas, as emissões remanescentes (Fabrico, Transporte a montante e a jusante e Matérias-primas), ascendem a 46,56 kgCO₂e/t. A implementação da tecnologia de CCUS na produção de cimento permite a redução da pegada de carbono do betão em 34,17 kgCO₂e/t, que juntamente com a etapa da Recarbonatação e do Fim de vida, elevam a redução para 43,96 kgCO₂e/t, atingindo uma pegada de carbono do produto de 2,61 kgCO₂e/t.

Não é possível atingir a completa neutralidade no setor apenas com a implementação destas medidas, devido a processos que ocorrem a montante, nomeadamente, no setor do aço, tal como ilustrado na Figura 6.

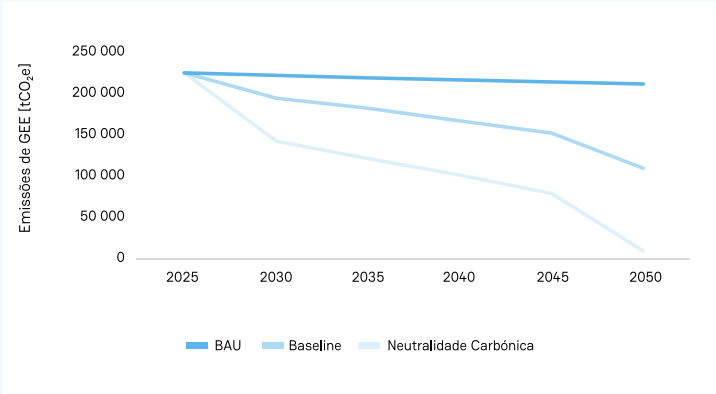


Figura 5. Comparação da trajetória de referência com as trajetórias de descarbonização do setor dos Produtos de Betão para a Construção até 2050

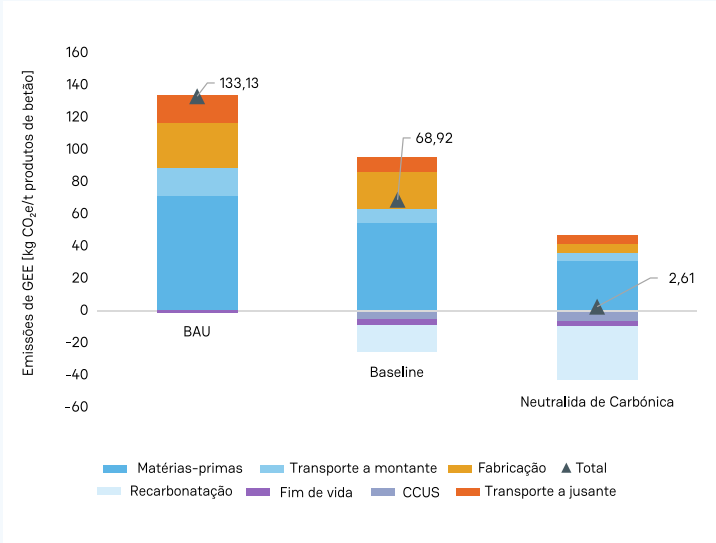


Figura 6. Comparação do cenário de referência com os cenários de descarbonização e pelas etapas de ciclo de vida dos Produtos de Betão (emissões de GEE por tonelada de Produtos de Betão)

As medidas com maior potencial de descarbonização no setor dos Produtos de Betão para a Construção são relacionadas com a produção de cimento, a montante, dado que esta constitui a principal fonte de emissões incorporadas nos produtos. A tecnologia de CCUS terá a capacidade de capturar em 2050 cerca de 77% das emissões a montante do setor, ou seja, a quase totalidade das emissões que não são possíveis de evitar, constituindo por isso um fator crucial para a neutralidade carbónica.

No processo produtivo, existem também oportunidades relevantes de mitigação, nomeadamente através da otimização dos consumos energéticos nas fases de mistura, vibrocompactação e cura, e da substituição de combustíveis fósseis por biocombustíveis ou outros vetores energéticos renováveis (como o HVO ou o hidrogénio verde).

Complementarmente, a melhoria da eficiência logística - incluindo a otimização das cargas e das rotas de transporte entre unidades fabris e estaleiros - pode contribuir para a redução das emissões indiretas associadas à distribuição dos produtos.

Estas medidas, em conjunto com a utilização de ligantes com menor teor de clínquer, a incorporação de materiais reciclados e o recurso a energia de origem renovável, serão determinantes para o alinhamento do setor com os objetivos nacionais e europeus de neutralidade carbónica até 2050.

⁹ Para o cimento, foi definido 2017 como o ano de referência, com base no Roteiro da Indústria Cimenteira nacional para a Neutralidade Carbónica 2050 (2021).



Construction
to Zero

 www.construction2zero.pt