



Construction  
to Zero



Manual Setorial de Descarbonização

# MISTURAS BETUMINOSAS

CAE 23991

# FICHA TÉCNICA

## Designação do documento

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

Manual Setorial de Descarbonização

Fabricação de Misturas Betuminosas (CAE 23991)

## 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.



**PRR**  
Plano de Recuperação  
e Resiliência



**REPÚBLICA  
PORTUGUESA**



Financiado pela  
União Europeia  
NextGenerationEU



**PTPC**  
Plataforma Tecnológica Portuguesa  
da Construção



**ATIC**  
ASSOCIAÇÃO  
PORTUGUESA  
DE CIMENTO

## Data

Outubro de 2025

# ÍNDICE

<b>01. Acrónimos</b>	<b>4</b>
<b>02. Sumário Executivo</b>	<b>4</b>
<b>03. Enquadramento</b>	<b>4</b>
<b>04. Caracterização do Setor</b>	<b>5</b>
Empresas e Mercado	5
Processo Produtivo e Ciclo de Vida	5
Perfil Energético e de Emissões	6
<b>05. Boas Práticas Setoriais</b>	<b>7</b>
<b>06. Medidas de Descarbonização</b>	<b>7</b>
Avaliação de Impacte das Medidas de Descarbonização	8
<b>07. Trajetórias de Descarbonização</b>	<b>11</b>

# 01. ACRÓNIMOS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
BAU	<i>Business-As-Usual</i>
CO <sub>2</sub> e	Dióxido de Carbono Equivalente
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HVO	<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>
MVC	Mercado Voluntário de Carbono
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
WMA	<i>Warm Mix Asphalt</i>

# 02. SUMÁRIO EXECUTIVO

O Manual de Descarbonização do Setor das Misturas Betuminosas constitui um instrumento técnico e estratégico essencial para apoiar o processo de transição climática de um dos segmentos industriais críticos da cadeia de valor da construção rodoviária e infraestrutural. Este setor é responsável pela produção e aplicação de misturas asfálticas que asseguram a funcionalidade e durabilidade das pavimentações, com desempenho técnico definido por propriedades mecânicas, aderência superficial, impermeabilização e resistência às solicitações dinâmicas e ambientais ao longo do ciclo de vida das infraestruturas viárias.

Do ponto de vista ambiental, o setor apresenta uma elevada pegada carbónica que resulta do consumo intensivo de agregados minerais, da utilização predominante de ligantes betuminosos derivados do petróleo, bem como do consumo energético associado à produção, caracterizado pelo uso de combustíveis fósseis em processos de aquecimento e mistura, e da eletricidade proveniente de fontes não renováveis.

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 de Fabricação de Misturas Betuminosas adote medidas concretas de descarbonização. Esta transformação deve assentar numa abordagem integrada, que combine inovação tecnológica, reconfiguração dos processos industriais, valorização de matérias-primas secundárias e reorganização logística, sem comprometer o desempenho técnico e a durabilidade das soluções aplicadas.

Entre os temas abordados neste Manual incluem-se, de forma transversal, as estratégias de eficiência de recursos, energia e processos, nomeadamente a incorporação de materiais reciclados e locais, a redução do conteúdo energético e carbónico das formulações, o aperfeiçoamento do desempenho e da durabilidade das misturas betuminosas utilizadas em pavimentação rodoviária e a otimização dos consumos energéticos nas centrais de produção. Estas medidas, quando articuladas, permitem benefícios ambientais, técnicos e económicos.

O setor é predominantemente constituído por micro e pequenas empresas, apresentando um volume de negócios de 55 milhões de euros em 2023. A atividade é intensiva em agregados minerais e energia, com elevada dependência de combustíveis fósseis e ligantes asfálticos, resultando numa pegada carbónica de 67 kgCO<sub>2</sub>e por tonelada de Mistura Betuminosa.

O setor da Fabricação de Misturas Betuminosas tem vindo a adotar práticas que integram inovação tecnológica, circularidade e eficiência de recursos. Destacam-se a incorporação de material fresado reciclado, a produção de misturas a baixa temperatura, a eficiência energética e a digitalização dos processos produtivos para maior controlo e qualidade. Estas medidas contribuem para diminuir a pegada carbónica, valorizar recursos locais e alinhar o setor com os princípios da sustentabilidade e neutralidade carbónica.

Neste Manual são modelados um conjunto de possíveis trajetórias de descarbonização que ilustram diferentes graus de evolução até 2050: *Business-As-Usual* (BAU), *Baseline* e *Neutralidade Carbónica*. A trajetória BAU considera a projeção de crescimento do setor até 2050, sem a implementação de quaisquer medidas de descarbonização. Por sua vez, a trajetória *Baseline* atinge uma redução global de emissões de 52% face ao BAU, resultante apenas da descarbonização parcial dos setores a montante e a jusante, que influenciam diretamente o setor das Misturas Betuminosas, nomeadamente o setor dos transportes de matérias-primas e produto, descarbonização gradual de processos que ocorrem em refinarias e que afetam a produção de betume, e a descarbonização da rede elétrica nacional. Na trajetória *Neutralidade Carbónica*, o setor adota medidas de descarbonização, tanto na fabricação como no transporte. Neste contexto, estima-se uma redução de cerca de 80% das emissões face ao cenário BAU, aproximando-se assim da neutralidade carbónica. Contudo, registam-se ainda emissões remanescentes de 10 932 tCO<sub>2</sub>e, que poderão ser compensadas através de iniciativas de compensação de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), como a participação no Mercado Voluntário de Carbono (MVC).

# 03. ENQUADRAMENTO

O setor das Misturas Betuminosas desempenha um papel fundamental na cadeia de valor da construção rodoviária e das infraestruturas, sendo responsável pela produção de materiais essenciais para a pavimentação, cuja qualidade influencia diretamente a durabilidade, a segurança e o desempenho funcional das vias. Este setor caracteriza-se por um consumo significativo de agregados minerais e ligantes betuminosos derivados do petróleo, sendo que a sua pegada resulta maioritariamente da extração dessas matérias-primas, do consumo energético associado ao aquecimento e mistura dos materiais, e das emissões associadas às operações logísticas de transporte e distribuição da matéria-prima e do produto.

Em conformidade com os objetivos climáticos internacionais e europeus, nomeadamente a meta de neutralidade carbónica até 2050 definida pela União Europeia, o setor enfrenta o desafio de reduzir as suas emissões ao longo do ciclo de vida dos produtos.

A descarbonização do setor requer a implementação coordenada de medidas técnicas, operacionais e estratégicas, organizadas em quatro áreas prioritárias:

**Eficiência de materiais:** desenvolvimento e aplicação de formulações que incorporem ligantes modificados e materiais reciclados, visando a redução da intensidade carbónica por tonelada produzida. A melhoria das propriedades técnicas das misturas, com foco na durabilidade e desempenho, contribui para prolongar a vida útil dos pavimentos e reduzir necessidades de manutenção;

**Energia e Eficiência Energética:** substituição progressiva de combustíveis fósseis por fontes energéticas com menor intensidade carbónica nos processos industriais, incluindo eletrificação de equipamentos, utilização de biocombustíveis e recuperação de energia térmica. A modernização das instalações, automatização e sistemas de gestão energética são fundamentais para a melhoria da eficiência operacional;

**Transportes e Logística:** reestruturação das cadeias de abastecimento e dos sistemas logísticos para minimizar as emissões associadas ao transporte de matérias-primas e produtos acabados. Estratégias incluem otimização de rotas, gestão avançada de frotas, localização estratégica das unidades de produção e adoção de veículos com menor impacto ambiental, como veículos elétricos ou movidos a combustíveis alternativos;

**Inovação e Digitalização:** aplicação de tecnologias digitais e sistemas de monitorização em tempo real para controlo, otimização e automatização dos processos produtivos e logísticos, permitindo a gestão baseada em dados, redução de perdas e aumento da rastreabilidade ambiental. A digitalização contribui para a melhoria contínua dos indicadores de sustentabilidade do setor.

O presente Manual de Descarbonização do Setor das Misturas Betuminosas pretende constituir um instrumento técnico e estratégico, que suporte as empresas na definição e implementação de planos de ação alinhados com os princípios da sustentabilidade ambiental, economia circular e inovação tecnológica.

## 04. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR

### Empresas e Mercado

O setor da Fabricação de Misturas Betuminosas (CAE 23991) constitui um segmento especializado da indústria dos materiais de construção, desempenhando um papel essencial na produção de composições utilizadas na pavimentação e manutenção de infraestruturas rodoviárias. Em 2023 a produção deste setor foi de 100 kt de Misturas Betuminosas a Quente e 42 kt de Misturas Betuminosas a Frio<sup>1</sup>.

Em 2023 estavam registadas 14 empresas<sup>2</sup>, mantendo-se uma relativa estabilidade no número de operadores ao longo dos últimos cinco anos. O setor apresenta um perfil empresarial dominado por microempresas, complementado por um número mais reduzido de pequenas e médias empresas. Esta configuração traduz-se numa elevada proximidade aos mercados de destino e numa maior capacidade de adaptação às necessidades específicas de cada projeto, mas limita o acesso a economias de escala e a investimentos significativos em inovação tecnológica, digitalização e soluções de baixo carbono.

Do ponto de vista económico, a atividade é marcadamente orientada para o mercado interno, estando dependente do investimento público em infraestruturas rodoviárias. Cerca de 87% das vendas são realizadas em território nacional e apresenta um volume de negócios aproximado de 55 milhões de euros em 2023<sup>3</sup>. As exportações são residuais, refletindo a baixa competitividade internacional do produto devido a fatores como custos de transporte, natureza perecível da mistura e presença de concorrência local bem estabelecida nos mercados-alvo.

A distribuição geográfica das empresas revela uma concentração significativa em cinco regiões NUT III, onde se localizam mais de 60% do total de operadores registados. Esta distribuição acompanha a densidade das redes rodoviárias e a localização de polos construtivos estratégicos, evidenciando a importância da proximidade entre unidades produtivas e áreas de elevado consumo de misturas betuminosas.

Embora não se observe um crescimento expressivo do número de operadores, o setor tem mantido estabilidade produtiva, acompanhando as oscilações da atividade da construção civil e respondendo às necessidades de manutenção e reabilitação das infraestruturas rodoviárias, tanto em projetos públicos como privados.

### Processo Produtivo e Ciclo de Vida

A fabricação de Misturas Betuminosas é um processo industrial que combina agregados minerais e betume, eventualmente com aditivos, para obter um material homogéneo destinado à construção e reabilitação de pavimentos rodoviários. Trata-se de uma operação contínua ou descontínua, executada em centrais de produção concebidas para garantir precisão na dosagem, homogeneidade da mistura e cumprimento rigoroso das especificações técnicas. O processo inicia-se com o apropriação e armazenamento das matérias-primas.

Os agregados minerais, como britas, areias e filler calcário ou mineral, são recebidos de pedreiras ou centrais de britagem e armazenados de forma segregada por granulometria, prevenindo contaminações e mantendo a rastreabilidade dos lotes. O betume, proveniente da refinação do petróleo ou modificado com polímeros, é armazenado em tanques aquecidos com controlo de temperatura e agitação para preservar as propriedades reológicas, enquanto aditivos e modificadores, como fibras ou pigmentos, são acondicionados segundo requisitos específicos.

A alimentação dos agregados na linha de produção é feita por tapetes ou caçambas até ao tambor secador, onde são aquecidos e secos por queimadores a gás, fuelóleo ou biocombustíveis. Esta etapa tem como objetivo remover a humidade e atingir a temperatura adequada para a incorporação eficiente do betume, sendo monitorizada para evitar degradação do ligante e assegurar o desempenho mecânico da mistura. Após a secagem, os agregados passam por peneiros vibratórios que os separam por frações granulométricas, as quais são armazenadas em silos quentes para posterior dosagem.

A dosagem dos agregados, do filler e do betume é efetuada automaticamente segundo uma fórmula de trabalho definida para otimizar parâmetros como resistência mecânica, coesão, flexibilidade e resistência à fadiga. A mistura é realizada em misturadores de eixo duplo, misturadores de pás ou misturadores contínuos, garantindo a distribuição homogénea do ligante e dos aditivos sobre os agregados. Em algumas centrais, são utilizadas tecnologias de fabrico de misturas temperadas (Warm Mix Asphalt - WMA), que permitem reduzir as temperaturas de produção e, consequentemente, o consumo energético e as emissões.

Durante a produção, são aplicados protocolos de controlo de qualidade para verificar parâmetros como granulometria, teor de ligante, temperatura de mistura e descarga, densidade e compacidade, assim como propriedades mecânicas como módulo de rigidez, resistência à fadiga e resistência à deformação permanente. Estes controlos são essenciais para assegurar a conformidade com as especificações e a adequação da mistura às condições de tráfego e clima previstas.

Após a mistura, o produto é descarregado diretamente em camiões basculantes equipados com lonas ou sistemas isotérmicos para preservar a temperatura até à aplicação em obra. O tempo de transporte é crítico, pois a perda de calor compromete a trabalhabilidade e a compactação da mistura. A fabricação de Misturas Betuminosas implica consumos energéticos relevantes, principalmente no aquecimento de agregados e betume, e está associado a emissões de gases com efeito de estufa.

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), segundo a norma EN 15804+A2<sup>4</sup>, permite analisar os impactes ambientais desde a extração das matérias-primas até ao fim de vida do pavimento, considerando consumos energéticos, transporte, aplicação e gestão de materiais no final da vida útil (Figura 1). Contudo, no âmbito deste estudo, foram consideradas apenas as etapas de extração, produção e transporte da matéria-prima e do produto acabado (Etapas A1 a A4).

O perfil ambiental do setor é influenciado pelo consumo energético associado ao aquecimento, secagem e mistura dos agregados minerais, pelo uso de combustíveis fósseis nos processos produtivos e logísticos e pelas emissões de GEE relacionadas com a extração dos materiais utilizados, em particular o betume, sendo que 80% das emissões de GEE do ciclo de vida do produto, estão associadas com as etapas de extração de matérias-primas, manufatura da mistura e do transporte quer das matérias-primas, quer do produto final. Existe um potencial para a incorporação de material fresado reciclado e de outros subprodutos industriais como matérias-primas alternativas, contribuindo para a redução da pegada carbónica do produto final e para a integração de princípios de economia circular no setor.

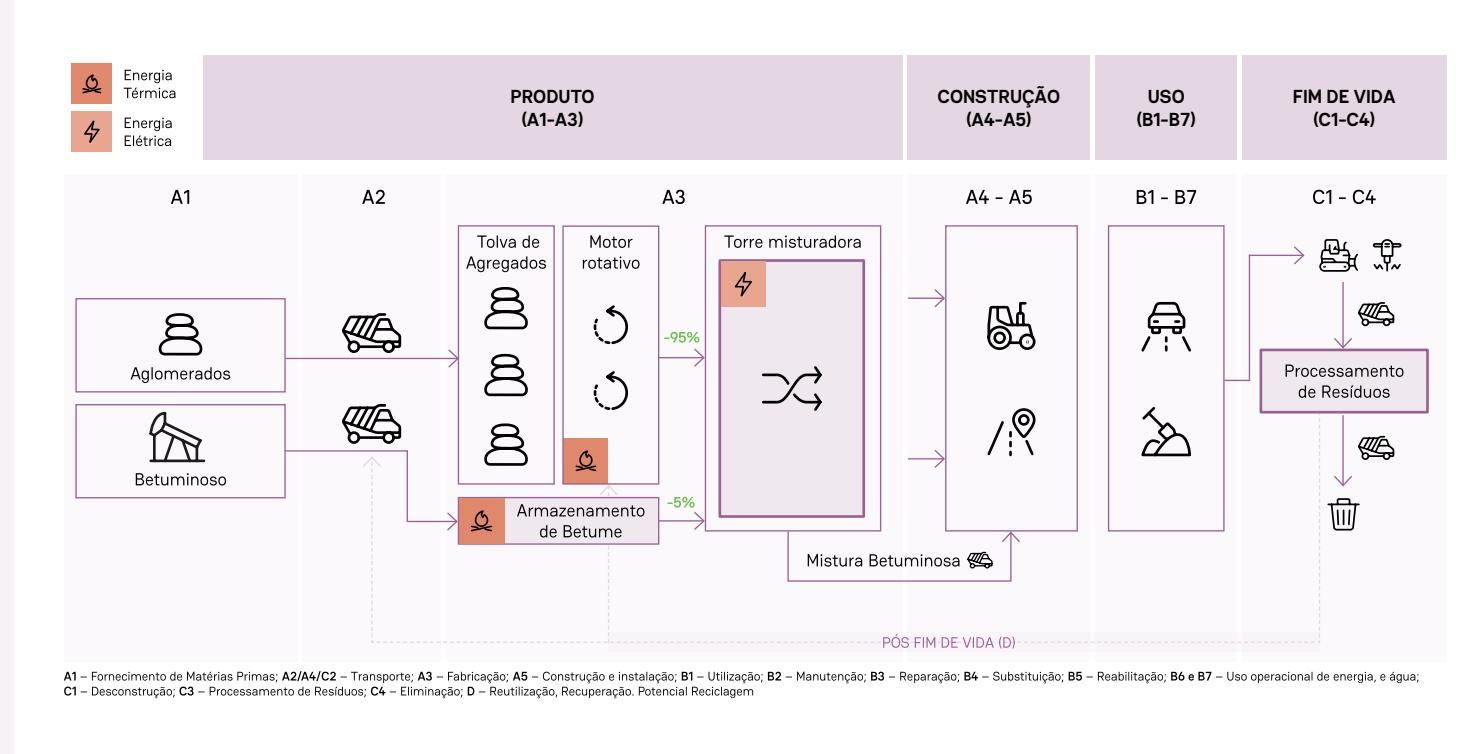


Figura 1. Etapas do ciclo de vida das Misturas Betuminosas

## Perfil Energético e de Emissões

Em 2023, o consumo final de energia do setor totalizou 43 668 GJ<sup>5</sup>, evidenciando uma matriz energética diversificada, porém fortemente dependente de combustíveis fósseis e de eletricidade.

Os produtos petrolíferos como o GPL e o gasóleo representam cerca de 27% do consumo energético total, sendo predominantemente utilizados no transporte de materiais e no processo produtivo das misturas. Os resíduos renováveis e o gás natural, contribuem com aproximadamente 28% e 12%, respectivamente. Por fim, a eletricidade representa 33% do consumo total, também referente ao processo produtivo das misturas.

As emissões de GEE associadas ao consumo energético atingiram 1 511 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e) em 2023. A maior parcela destas emissões é atribuída ao consumo de gasóleo, 610,80 tCO<sub>2</sub>e, seguido pelo gás natural 302,55 tCO<sub>2</sub>e. A eletricidade apresenta um impacte de aproximadamente 421,85 tCO<sub>2</sub>e. A Figura 2 representa, em termos percentuais, a matriz de emissões de GEE associada a cada vetor energético, onde se observa que 88% das emissões são provenientes de três vetores energéticos: GPL, energia elétrica e gás natural.

Com base nestes dados e na análise de ciclo de vida do produto, é possível estimar as emissões diretas e indiretas de GEE (âmbito 1, 2 e 3) do setor em 2023, que totalizaram cerca de 57 108 tCO<sub>2</sub>e, e que permitem caracterizar a situação de referência. Destas, 45% são decorrentes da etapa de extração e processamento das matérias-primas, mais concretamente a extração de agregados e o processo produtivo do betume. As emissões remanescentes, dividem-se entre a etapa de fabricação, o transporte de matérias-primas (montante) e o transporte do produto (jusante), que representam cerca de 31% e 16% das emissões totais em 2023, respectivamente. A Figura 3, representa as etapas do ciclo de vida do produto consideradas no cálculo das emissões de GEE da situação de referência.

Este perfil de emissões evidencia um elevado potencial para a incorporação de material reciclado e a consequente diminuição de matérias primas virgens, a substituição progressiva dos combustíveis fósseis por vetores energéticos de baixo carbono e da otimização da eficiência energética dos processos térmicos.

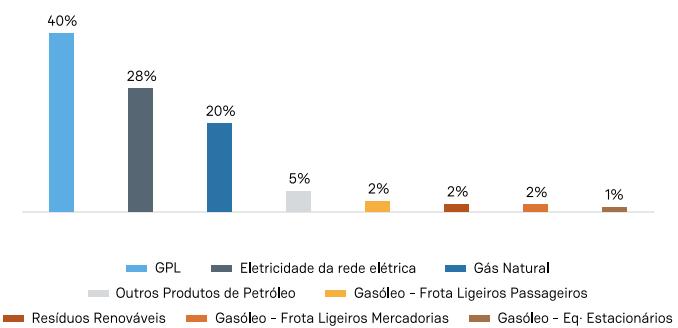


Figura 2. Distribuição das emissões de GEE por vetor energético, no setor das Misturas Retumínicas

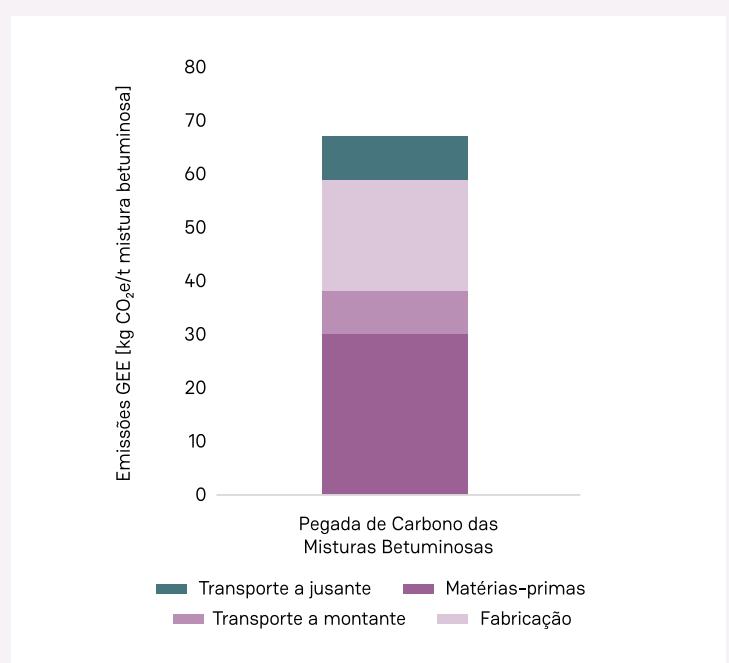


Figura 3. Contribuição das diferentes etapas de ciclo de vida para a pegada de carbono das Misturas Betuminosas (situação de referência: 2023).

## 05. BOAS PRÁTICAS SETORIAIS

O setor das Misturas Betuminosas tem vindo a evoluir no sentido de integrar soluções mais sustentáveis, impulsionado por requisitos normativos, pressões do mercado e pela necessidade de reduzir os impactes ambientais associados à construção rodoviária. Neste contexto, têm-se consolidado práticas que visam otimizar o desempenho técnico, prolongar a durabilidade das infraestruturas e reduzir o consumo de recursos, alinhando o fabrico e a aplicação com os princípios da economia circular, da eficiência energética e da neutralidade carbónica.

Entre estas práticas, destaca-se a **produção de misturas betuminosas a baixa temperatura**, obtida através de tecnologias que permitem reduzir a temperatura de fabrico e compactação sem comprometer a trabalhabilidade ou o desempenho mecânico. Esta abordagem traduz-se numa diminuição das necessidades energéticas, na redução das emissões de gases com efeito de estufa e na melhoria das condições de trabalho em obra.

A **reciclagem e utilização de material fresado reciclado (Reclaimed Asphalt Pavement – RAP)** representam outra medida de elevado potencial, permitindo reduzir a extração de matérias-primas virgens, minimizar o envio de resíduos para aterro e incorporar fluxos secundários na cadeia produtiva. A otimização dos teores de RAP e a sua correta caracterização laboratorial asseguram o cumprimento dos requisitos de desempenho, enquanto reforçam a circularidade no setor.

A **integração de sistemas de sensorização para manutenção preventiva** das infraestruturas rodoviárias constitui igualmente uma área em crescimento. A monitorização em tempo real de parâmetros como a deformação, a temperatura e a humidade do pavimento possibilita intervenções mais direcionadas e atempadas, evitando degradações prematuras e prolongando a vida útil do pavimento.

Do ponto de vista funcional, a **adequação da resistência ao rolamento das misturas betuminosas** desempenha um papel relevante na eficiência energética do transporte rodoviário, uma vez que pavimentos otimizados reduzem o consumo de combustível dos veículos. Esta otimização é obtida através de ajustes granulométricos, controlo de textura superficial e seleção adequada de ligantes.

A **utilização de aditivos** modificadores, como polímeros e antioxidantes, contribui para o aumento da longevidade das misturas, melhorando a resistência a deformações permanentes, à fadiga e à ação de agentes climáticos. Ao prolongar a vida útil, estas soluções reduzem a frequência de intervenções e, consequentemente, os impactes ambientais e económicos associados à manutenção.

Outra inovação relevante é a **aplicação de asfaltos reflexivos**, concebidos com o objetivo de mitigar o efeito de ilha de calor em meio urbano. A incorporação de ligantes de tonalidade clara ou de pigmentos com elevada refletância solar permite aumentar o albedo da superfície pavimentada, contribuindo para a redução das temperaturas superficiais e para a melhoria do conforto térmico em zonas densamente edificadas. Não obstante, trata-se de uma tecnologia emergente com reduzida aceitação no mercado, em virtude dos benefícios associados serem maioritariamente indiretos e observáveis apenas a longo prazo, o que condiciona a sua valorização económica e, consequentemente, a sua aplicação prática.

A implementação destas medidas depende de um enquadramento normativo claro, de investimento em investigação aplicada e da capacitação técnica dos agentes envolvidos. A adoção generalizada destas soluções poderá desempenhar um papel significativo na redução da pegada carbónica do setor, na promoção da economia circular e na melhoria do desempenho global das infraestruturas rodoviárias.

## 06. MEDIDAS DE DESCARBONIZAÇÃO

A produção e aplicação de misturas betuminosas com reduzida pegada carbónica requer a adoção coordenada de soluções tecnológicas, normativas e organizacionais, sustentadas por políticas públicas integradas que assegurem incentivos eficazes, normalização de requisitos técnicos e acesso facilitado a instrumentos de financiamento verde.

A descarbonização do setor deve ser conduzida de forma integrada, intervindo em quatro eixos estratégicos fundamentais:

### Eficiência de Recursos, Materiais e Processos

Privilegiando a utilização de materiais reciclados e alternativos, a reformulação de misturas para otimizar propriedades mecânicas e ambientais, e a maximização da circularidade no ciclo de vida dos pavimentos;

### Energia e Eficiência Energética

Promovendo a redução da temperatura de produção, a transição para fontes energéticas renováveis e a otimização dos consumos energéticos nas centrais;

### Transportes e Logística

Incentivando a substituição progressiva da frota e maquinaria pesada por soluções de baixo carbono e otimizando fluxos logísticos;

### Ecodesign, Inovação e Digitalização

Integrando tecnologias digitais, sensorização e soluções inovadoras para prolongar a vida útil dos pavimentos, reduzir emissões indiretas e melhorar a gestão operacional.

### Eficiência de Recursos, Materiais e Processos



#### 01. Reciclagem e incorporação de materiais reciclados

A reciclagem e incorporação de materiais reciclados nas misturas betuminosas constitui uma prática central para a redução do impacte ambiental no setor rodoviário. Esta abordagem recorre a materiais como fresado de pavimentos (RAP), resíduos de construção e demolição (RCD), escórias siderúrgicas e borracha moída proveniente de pneus reciclados, permitindo diminuir significativamente a extração e o consumo de matérias-primas virgens. A reciclagem pode ser realizada a quente ou a frio, em central fixa ou móvel (*in situ*), sendo que as taxas de incorporação variam normalmente entre 10% e mais de 50%, consoante os requisitos de desempenho e as especificações técnicas aplicáveis. A sua implementação implica, em geral, um investimento de nível médio a elevado, sobretudo para a adaptação de centrais e equipamentos, com retorno económico estimado entre cinco e dez anos. Este retorno pode ser acelerado através do acesso a fundos de apoio à economia circular e a instrumentos de financiamento verde.

## Energia e Eficiência Energética



### 01. Produção de Misturas Betuminosas Temperadas

A produção de Misturas Betuminosas Temperadas (WMA) consiste na utilização de tecnologias que permitem reduzir as temperaturas de fabrico e aplicação do betume, mantendo as propriedades de desempenho mecânico das misturas. Baseia-se na redução da temperatura de fabrico para valores entre 100 a 140°C, inferiores aos das misturas tradicionais a quente (140 a 180 °C). Esta diminuição é viabilizada pela incorporação de aditivos orgânicos ou químicos, ou pela aplicação de processos de espuma de betume. A técnica permite reduzir significativamente o consumo de combustível, as emissões de gases com efeito de estufa e a exposição dos trabalhadores a fumos durante a aplicação. A sua implementação requer um investimento de nível médio, associado à aquisição de aditivos e à adaptação dos processos produtivos, apresentando um retorno económico previsível a curto ou médio prazo (um a cinco anos). O investimento pode ainda ser apoiado por linhas de crédito verdes e incentivos fiscais destinados à promoção da eficiência energética.

### 02. Utilização de energias renováveis nas centrais de produção

A substituição parcial ou total de fontes fósseis por energias renováveis no aquecimento dos agregados e do betume nas centrais de produção constitui outra medida estratégica, recorrendo a soluções como energia solar térmica, biomassa ou eletricidade proveniente de fontes renováveis certificadas. Esta transição permite reduzir a dependência energética e a pegada carbónica da operação, embora implique um investimento inicial elevado, com amortização prevista a médio ou longo prazo, entre cinco e doze anos. O financiamento pode ser viabilizado através de fundos nacionais para a transição energética, emissão de títulos verdes e parcerias público-privadas.

### 03. Melhoria da eficiência energética das centrais

A melhoria da eficiência energética das centrais de produção envolve a substituição de equipamentos obsoletos por sistemas de maior desempenho energético, a implementação de programas de manutenção preventiva e a monitorização contínua dos consumos de energia. Esta medida requer um investimento de nível médio e apresenta retorno rápido, entre um e três anos, devido à redução de custos operacionais, podendo ser financiada por capital próprio ou programas de apoio à eficiência energética.

## Transportes e Logística



### 01. Substituição de maquinaria pesada por versões elétricas, híbridas ou de baixo carbono

A modernização da frota de maquinaria pesada - incluindo pavimentadoras, cilindros, pás carregadoras, geradores e sistemas auxiliares - por modelos elétricos, híbridos ou alimentados por combustíveis de baixo carbono, como biodiesel avançado, *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO) ou hidrogénio verde, constitui uma medida eficaz para reduzir significativamente as emissões diretas do setor.

Apesar de implicar um investimento inicial elevado, com retorno projetado para o longo prazo (sete a quinze anos), esta modernização pode ser apoiada por programas de incentivos à substituição de equipamentos e por fundos europeus direcionados à mobilidade sustentável.

### 02. Otimização logística e redução de resistências ao rolamento

O desenvolvimento de misturas betuminosas com textura superficial e rigidez otimizadas permite reduzir a resistência ao rolamento, diminuindo o esforço requerido aos veículos e, consequentemente, o consumo de combustível. Esta solução contribui para aumentar a eficiência energética do transporte rodoviário a jusante, apresentando um investimento de nível médio e um retorno indireto, materializado na melhoria global do desempenho e durabilidade da rede viária.

## Inovação, Ecodesign e Digitalização



### 01. Aplicação de asfalto reflexivo para mitigação do efeito ilha de calor

A utilização de misturas de elevada refletância solar contribui para a redução da temperatura superficial em áreas urbanas, mitigando efeitos microclimáticos e aumentando a durabilidade do pavimento. Esta medida implica um investimento de nível médio e proporciona retorno indireto, associado a ganhos em conforto térmico, saúde pública e manutenção da infraestrutura.

### 02. Sensorização e manutenção preditiva

A integração de sensorização e manutenção preditiva representa outra vertente inovadora, consistindo na instalação de sensores para monitorizar variáveis críticas como temperatura, tráfego, deformações e humidade, de modo a prever e prevenir falhas estruturais. Esta abordagem possibilita a otimização dos planos de manutenção e a redução das intervenções corretivas, exigindo investimento médio e oferecendo retorno a médio prazo, resultante da diminuição dos custos de manutenção.

### 03. Digitalização de fluxos produtivos e construtivos

A digitalização dos fluxos produtivos e construtivos, com recurso a tecnologias como *Building Information Modelling* (BIM), modelos digitais gémeos (*Digital Twins*), drones e inteligência artificial, permite otimizar o planeamento, a monitorização e a gestão de recursos, reduzindo desperdícios e as emissões indiretas associadas a ineficiências operacionais. A implementação desta medida requer investimento que pode variar entre médio e elevado, apresentando retorno estimado entre dois e oito anos, consoante a escala e o grau de integração tecnológica alcançado.

## 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 4 e Figura 5, respetivamente.

MEDIDA		Adequação ao setor (20%)	Facilidade de Implementação (20%)	Maturidade tecnológica (20%)	Custo investimento (20%)	Período de retorno (20%)	
1	Reciclagem e utilização de material reciclado	1	2	2	2	1,5	<div style="width: 190px;"></div> 1,9
2	Redução do consumo de combustível através da diminuição da temperatura de produção	1	3	2	4	2	<div style="width: 220px;"></div> 2,2
4	Utilização de energias renováveis para o aquecimento da central	1	2	3	4	2	<div style="width: 240px;"></div> 2,4
5	Melhoria da eficiência energética dos processos de produção	1	3	3	4	2,5	<div style="width: 270px;"></div> 2,7
9	Digitalização dos fluxos operacionais de produção	1	3	3	4	2,5	<div style="width: 270px;"></div> 2,7
6	Asfalto reflexivo para a redução do efeito ilha de calor	2	3	3	2	3	<div style="width: 300px;"></div> 3,0
7	Adequação da resistência ao rolamento para a redução do consumo de combustível dos veículos	2	3	4	4	1,5	<div style="width: 310px;"></div> 3,1
3	Utilização de equipamentos elétricos ou movidos a combustíveis de baixo carbono	3	3	4	4	3,5	<div style="width: 310px;"></div> 3,1
8	Sensorização para o aumento de longevidade	3	4	3	3	5	<div style="width: 340px;"></div> 3,4

Figura 4. Avaliação do impacte das medidas em sede de auscultação ao setor

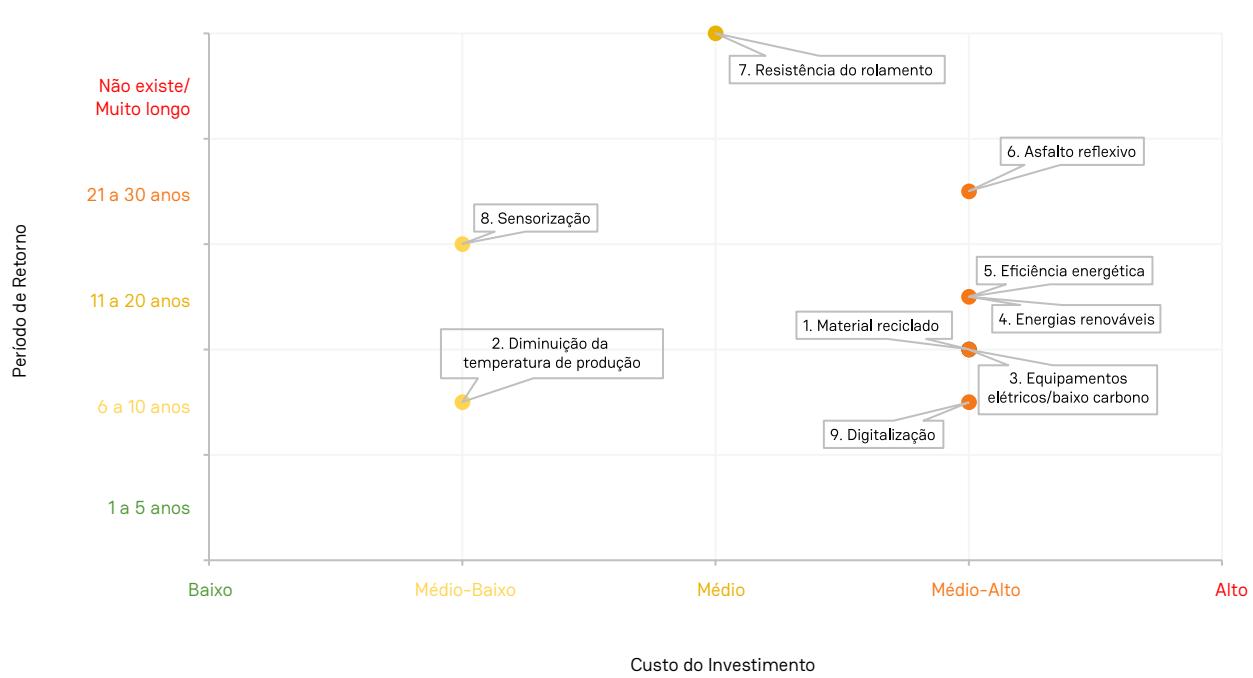


Figura 5. Avaliação do custo de investimento e período de retorno esperado das medidas propostas em sede de auscultação ao setor

A Tabela 1 apresenta o conjunto de medidas de descarbonização avaliadas para o setor de Fabricação de Misturas Betuminosas, 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.

Tabela 1 – Medidas de descarbonização avaliadas para o setor das Misturas Betuminosas

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	Redução da pegada de carbono associada à recuperação de betume	Reciclagem e utilização de material reciclado;	-24%	€€€ / ●●●
	Não modelado	Redução do consumo de combustível através da diminuição da temperatura de produção;	-	€€ / ●●
	Redução da pegada de carbono associada à incorporação de agregados reciclados no produto final; Eletrificação dos processos de produção;	Reciclagem e utilização de material reciclado; Melhoria da eficiência energética dos processos de produção; Redução do consumo de combustível através da diminuição da temperatura de produção;	-10%	€€€€ / ●●●●
	Não modelado	Utilização de energias renováveis para o aquecimento da central;	-	€€€ / ●●●
Energia e Eficiência Energética	Substituição do fuelóleo por biomassa	Utilização de equipamentos elétricos ou movidos a combustíveis de baixo carbono;	-30%	€€€ / ●●●
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% (Transporte a montante) -8% (Distribuição a jusante)	€€ / ●●
TOTAL			-80%	

## 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

## 07. TRAJÉTORIAS DESCARBONIZAÇÃO

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

Para o setor das misturas betuminosas, foi definida a situação de referência com base na combinação de dados através da análise setorial e de modelos de ACV. Considerou-se uma mistura betuminosa média, composta por 96% de agregados, cuja matéria-prima principal é o calcário, e 4% de ligante, constituído por betume. A situação de referência para o setor das Misturas Betuminosas foi definida como sendo o ano de 2023, a partir da qual se estimaram três trajetórias ao longo do período temporal 2025-2050. Foi definido uma trajetória de referência, *Business-As-Usual* (BAU), e duas trajetórias de descarbonização (*Baseline* e *Neutralidade Carbónica*).

Com base nas projeções constantes no PNEC2030 e RNC2050 para a produção nacional de cimento, considera-se um 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 das Misturas Betuminosas.

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

A trajetória *Baseline* assume que a transformação decorre principalmente de fatores exógenos, isto é, que não se encontram na influência direta das empresas do setor das Misturas Betuminosas. Assume as tendências de descarbonização em setores que impactam diretamente o setor em estudo: eficiência energética de processos a montante e a jusante, descarbonização no setor dos transportes (através de substituição de combustíveis) e descarbonização da rede elétrica nacional (RNC2050).

A trajetória *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 6 apresenta a trajetória de referência e as trajetórias de descarbonização que foram modeladas, até 2050.

Na trajetória BAU observa-se uma redução de 6% nas emissões totais do setor em 2050, face à situação de referência (2023). Esta redução reflete a projeção futura de produção de Misturas Betuminosas 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 de cerca de **-52% no Baseline e -80% no cenário da Neutralidade Carbónica**, conforme representado no gráfico da Figura 7.

Na trajetória *Baseline*, a redução face ao BAU decorre da descarbonização dos setores a montante e jusante: nas matérias-primas contribuem com uma redução de 24%, os Transportes com 12% e a Fabricação com 16%, fruto da descarbonização da rede elétrica nacional.

Na trajetória *Neutralidade Carbónica*, as medidas aplicadas permitem reduzir de forma mais acentuada os impactes decorridos das atividades de ciclo de vida das Misturas Betuminosas. Mais concretamente na etapa de matérias-primas, onde se verifica uma redução de -32% de emissões de GEE face à trajetória BAU. Na etapa de fabricação, também se verifica uma redução expressiva, com 31% de emissões decorrentes do processo produtivo das Misturas Betuminosas. Ao nível do transporte a montante e jusante, a redução é de -16% face à trajetória BAU.

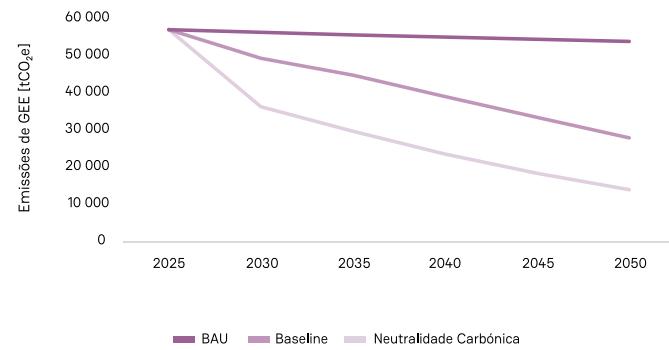


Figura 6. Comparação das trajetórias de referência com a trajetória de descarbonização das Misturas Betuminosas.

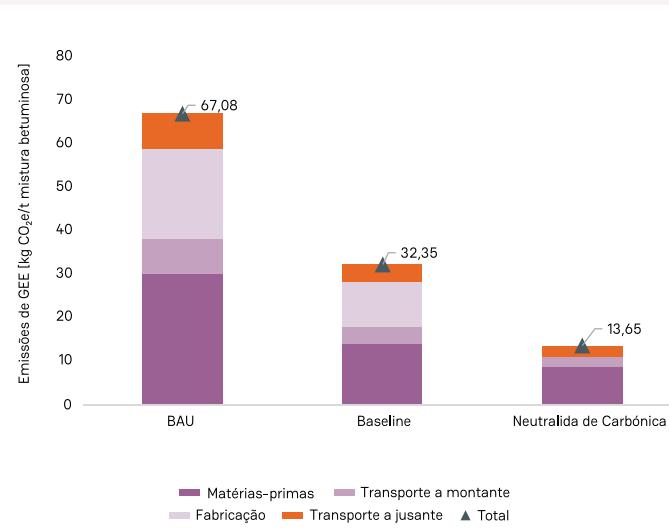


Figura 6. Comparação da trajetória de referência e de descarbonização pelas etapas de ciclo de vida das Misturas Betuminosas (emissões de GEE por tonelada de Mistura Betuminosa).

Apesar das medidas implementadas, as emissões remanescentes quantificam-se em 13,65 kgCO<sub>2</sub>e por cada tonelada de Mistura Betuminosa produzida, o que, em 2050, de acordo com as projeções ao nível da produção do setor, irá representar cerca de 10 932 tCO<sub>2</sub>e.

Este volume de emissões do setor poderá ser neutralizado através da aquisição de créditos de carbono, nomeadamente através da participação no MVC, em projetos nacionais de sequestro de carbono. Paralelamente, o setor poderá também investir em projetos complementares de mitigação, como iniciativas de requalificação energética de edifícios nas cidades, ou integração de soluções baseadas na natureza, como telhados e fachadas verdes. Estas ações não só contribuem para a redução das emissões urbanas, como também promovem a resiliência climática e regeneração do espaço urbano.



Construction  
to Zero

 [www.construction2zero.pt](http://www.construction2zero.pt)