

TRANSPORTE RODOVIÁRIO

*IMPACTOS DA QUALIDADE DO ASFALTO SOBRE
O TRANSPORTE RODOVIÁRIO*

TRANSPORTE RODOVIÁRIO

*IMPACTOS DA QUALIDADE DO ASFALTO SOBRE
O TRANSPORTE RODOVIÁRIO*

FICHA TÉCNICA

Presidente da CNT

Vander Francisco Costa

Vice-Presidentes da CNT

Transporte Rodoviário de Passageiros
Eurico Divon Galhardi

Transporte Rodoviário de Cargas
Flávio Benatti

Transporte Aquaviário de Cargas e de Passageiros
Raimundo Holanda Cavalcante Filho

Transporte Ferroviário de Cargas e de Passageiros
Joubert Fortes Flores Filho

Transporte Aéreo de Cargas e de Passageiros
Eduardo Sanovicz

Infraestrutura de Transporte e Logística
Paulo Gaba Junior

Diretor-Executivo da CNT

Bruno Batista

Equipe Técnica da CNT

Coordenação de Desenvolvimento do Transporte

Fernanda Rezende

Laís Caldeira

Elaine Radel

Tiago Veras

Coordenação de Informações Estratégicas do Transporte

Fábio Augusto

Wanessa Fernandes

Coordenação de Economia

Priscila Santiago

Caio Assumpção Silva

Coordenação de Comunicação e Marketing

Myriam Caetano

Jorge A. Dieb

Filipe Linhares

Rafael Bittencourt

Cynthia Castro

Transporte rodoviário: impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário. - Brasília : CNT, 2019.

75 p.: il. - (Transporte Rodoviário)

1. Revestimento asfáltico. 2. Transporte rodoviário - Brasil. 3. Rodovias - Brasil. 4. Pavimento. I. Confederação Nacional do Transporte.

CDU 665.775.4:656.1(81)

SUMÁRIO

Apresentação	5
1. Introdução	7
1.1 Objetivos	8
1.2 Aspectos metodológicos.....	8
1.3 Estrutura do relatório.....	10
2. O asfalto.....	11
2.1 Produção, armazenamento e transporte do asfalto.....	12
2.2 Propriedades do asfalto.....	17
2.3 Ensaios	18
2.3.1 Ensaio de penetração	18
2.3.2 Ponto de amolecimento	20
2.3.3 Viscosidade Saybolt Furol	21
2.3.4 Viscosidade Brookfield.....	22
2.3.5 Suscetibilidade térmica	23
2.3.6 Ponto de fulgor	24
2.3.7 Solubilidade em tricloroetileno.....	25
2.3.8 Ductilidade	26
2.3.9 Durabilidade (Efeito do calor e do ar - ou Variação em massa).....	27
2.4 Normativos.....	28
3. Cenário atual.....	33
3.1 Cadeia logística do asfalto.....	33
3.2 Caracterização do mercado de asfalto	37
3.3 Precificação do asfalto.....	43
4. Principais problemas e possíveis soluções para o asfalto	49
4.1 Especificações	50
4.2 Fornecedores	52

4.3 Fiscalização.....	54
4.4 Alternativas tecnológicas	58
4.4.1 Asfalto modificado por TLA (<i>Trinidad Lake Asphalt</i>).....	59
4.4.2 Asfalto modificado por polímero.....	59
4.4.3 Asfalto modificado por ácido polifosfórico (<i>polyphosphoric acid</i> - PPA)	61
4.4.4 Asfalto-borracha	62
5. Considerações finais.....	65
Referências	66
Glossário.....	70
Apêndice.....	73

Apresentação

A maior parte do transporte de cargas e de passageiros no Brasil está concentrada nas rodovias. Nas últimas décadas, houve um acréscimo expressivo do fluxo de veículos. Além disso, o porte e a capacidade dos caminhões aumentaram, elevando, assim, a demanda por essa infraestrutura. Nesse sentido, investir em pavimentos de qualidade - que resistam a essa característica de tráfego - torna-se ainda mais fundamental para que o setor de transporte melhore seu desempenho.

Importante componente dos pavimentos, o asfalto tem função essencial para garantir rodovias em bom estado de conservação, já que ele é utilizado em mais de 99% dos trechos pavimentados no país. No entanto, os aumentos sucessivos no preço desse insumo nos últimos anos e a baixa capacidade de investimentos em rodovias pelo poder público afetam o setor e toda a sociedade. Isso porque asfalto mais caro significa aumento de custos das obras de construção e manutenção de vias, o que leva à redução da realização desses serviços essenciais.

Também é importante frisar que pavimentos com problemas danificam os veículos e elevam o consumo de combustível e o tempo das viagens. Com isso, o custo operacional do transporte fica mais caro, interferindo no preço dos produtos que chegam aos consumidores e comprometendo a competitividade do país no mercado internacional.

Para identificar os problemas relacionados ao asfalto brasileiro, entender as causas que interferem na qualidade do pavimento e propor soluções às questões identificadas, a CNT publica o estudo "Impactos da Qualidade do Asfalto sobre o Transporte Rodoviário". Esse trabalho é mais uma contribuição da Confederação para estimular a modernização da infraestrutura de transporte no Brasil e promover o desenvolvimento socioeconômico de nosso país.

Vander Costa
Presidente da CNT



1. Introdução

A maior parte da malha rodoviária pavimentada brasileira possui revestimento asfáltico¹. O revestimento é a camada do pavimento visível aos usuários da via - é a superfície sobre a qual trafegam os veículos e a responsável por prover conforto e segurança no rolamento. Um revestimento asfáltico denota que o material empregado nessa superfície é composto por uma mistura de agregados² e um ligante asfáltico, que pode ser cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou outros insumos betuminosos³. É possível identificar que uma rodovia possui revestimento asfáltico pela aparência de sua superfície, que se assemelha à ilustrada na Figura 01.

Figura 01

Rodovia com revestimento asfáltico



Esse tipo de revestimento, tão familiar aos que circulam diariamente pelas rodovias e vias urbanas de todo o país, está presente em 99% das rodovias federais pavimentadas⁴. Desse modo, o asfalto consiste em uma das principais matérias-primas utilizadas na construção de novas rodovias, bem como na manutenção das vias já pavimentadas. Tê-lo disponível nas especificações adequadas é, portanto, fundamental para o desenvolvimento da infraestrutura de transporte rodoviário do Brasil.

As propriedades do asfalto empregado no pavimento influenciam diretamente o seu desempenho por ser um dos principais constituintes do revestimento. Trata-se de um material que deve ser manuseado com cuidado e sob condições bastante específicas a fim de que não sofra alterações físico-químicas indesejadas. Suas propriedades determinam a forma como o pavimento irá se comportar quando submetido às condições de clima e tráfego projetadas. Por isso, caso sejam inadequadas, poderá ocorrer o surgimento precoce de defeitos no pavimento, acarretando um aumento do custo esperado para sua manutenção e o comprometimento do conforto e da segurança de quem circula pela via.

1. O Brasil possui 1.720.700 km de rodovias, dos quais apenas um pouco mais de 213 mil são pavimentados, o que corresponde a, aproximadamente, 12% do total.

2. Os agregados constituem um conjunto de grãos minerais comumente utilizados na construção civil.

3. Definições apresentadas no Capítulo 2 e no Glossário.

4. Segundo dados coletados pela Pesquisa CNT de Rodovias 2018.

A Pesquisa CNT de Rodovias, que todo ano avalia 100% das rodovias federais pavimentadas e as principais rodovias estaduais, tem demonstrado as condições precárias em que se encontra a maioria das rodovias do país. Tais resultados motivaram a Confederação a desenvolver uma série de estudos voltados ao entendimento dos diversos aspectos que impactam a qualidade dessa infraestrutura - tão importante para a movimentação e o crescimento da economia brasileira.

No volume da série "Transporte Rodoviário", que responde à questão "*Por que os Pavimentos das Rodovias do Brasil não Duram?*"⁵, foram identificadas várias causas que influenciam a performance do pavimento, tais como o projeto de engenharia da rodovia, as técnicas de execução adotadas e a qualidade individual de cada material utilizado, entre outras.

Visando a dar continuidade e aprofundar-se em um dos problemas elencados pelos especialistas consultados, o presente estudo foca na problemática relacionada ao CAP. A percepção é que a qualidade desse insumo, um dos principais para a realização das obras rodoviárias, vem caindo, enquanto seu preço tem aumentado substancialmente ao longo dos últimos 18 meses. O que se deseja é compreender o impacto disso na infraestrutura de transporte do país.

1.1 Objetivos

Este estudo tem por objetivo identificar os problemas relacionados ao asfalto empregado nas rodovias do Brasil. Para isso, buscou-se avaliar os principais fatores que podem comprometer ou interferir na qualidade desse material, desde sua produção até sua aplicação no pavimento. Também constituem objetivos deste estudo propor soluções aos problemas identificados e apresentar alternativas tecnológicas com vistas a melhorar o desempenho desse material no revestimento, promovendo uma melhor qualidade e maior vida útil aos pavimentos das rodovias brasileiras.

1.2 Aspectos metodológicos

Para alcançar os objetivos propostos, foi realizado um levantamento bibliográfico para compreensão das principais características do asfalto. Foram utilizados como referências livros e manuais conceituados da área, bem como estudos e pesquisas desenvolvidos pela academia (universidades) e por instituições que representam setores envolvidos na cadeia produtiva desse material, tais como a Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR), a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (Abeda) e o Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP).

A partir de um referencial teórico, foram elaboradas perguntas direcionadas a diversos especialistas a fim de identificar os principais fatores que podem interferir na qualidade

5. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Transporte Rodoviário: Por Que os Pavimentos das Rodovias do Brasil não Duram?* Brasília: CNT, 2017.

do asfalto e/ou no seu desempenho na pavimentação. As entrevistas foram realizadas de forma semiestruturada, presencial e remota. Foram entrevistados representantes das concessionárias de rodovias, da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), da Abeda, de distribuidores de asfalto, de transportadores de asfalto, da Petrobras, da Agência Nacional do Petróleo (ANP), da Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias (Aneor) e de universidades.

Durante as entrevistas, os especialistas que pesquisam e trabalham com pavimentação também foram questionados sobre alternativas que vêm sendo empregadas no asfalto para melhorar o desempenho do revestimento.

De forma complementar, foi realizada uma caracterização atual do setor e foi abordada uma outra questão recente, que diz respeito ao preço do asfalto no mercado. A Petrobras, única fornecedora desse insumo no Brasil, adotou recentemente uma política de reajuste de preços que impactou diretamente os contratos de obras rodoviárias. Assim, também por meio das entrevistas com os especialistas e atuantes no setor, foi verificado o possível impacto dessa política de preços nas obras rodoviárias em andamento e nos contratos futuros para manutenção e construção de rodovias.

As informações coletadas nas entrevistas e por meio do levantamento bibliográfico foram organizadas e apresentadas neste relatório no formato de problemas e soluções. As etapas metodológicas descritas estão ilustradas na Figura 02.

Figura 02

Etapas metodológicas do desenvolvimento do estudo e da estrutura do relatório



Fonte: Elaboração CNT.

1.3 Estrutura do relatório

Este relatório foi estruturado em cinco capítulos. O primeiro consiste nesta breve introdução e contextualização do estudo.

No segundo capítulo, é apresentado um embasamento teórico sobre asfalto. Essa breve exposição busca contextualizar a utilização do asfalto na pavimentação, caracterizar suas propriedades e como elas influenciam o desempenho dos pavimentos, detalhar o normativo em vigor que regulamenta as especificações do asfalto comercializado no mercado brasileiro e apresentar os testes e ensaios realizados para medir as propriedades consideradas nesse normativo.

No terceiro capítulo, por sua vez, é apresentado o cenário atual da cadeia de produção em torno desse insumo. Para isso, são apresentados os entes envolvidos nessa e suas respectivas competências. Em seguida, é feita uma breve exposição dos principais dados do setor, é abordada a recente problemática em torno do preço do asfalto e, por fim, são apresentados os principais problemas identificados.

As soluções para esses problemas e as alternativas para melhorar o desempenho do asfalto no pavimento são apresentadas no quarto capítulo.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais.



2. O asfalto

Asfalto pode ser definido como uma mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo, obtido por meio de destilação ou de forma natural, cujo principal componente é o betume, podendo apresentar também, em sua composição, oxigênio, nitrogênio e enxofre em pequenas proporções. O betume é uma mistura de hidrocarbonetos pesados que apresenta propriedades ligantes, inflamáveis e de elevada viscosidade. Portanto, o asfalto consiste em um material betuminoso. No Brasil, os termos betume e asfalto são frequentemente utilizados como sinônimos⁶.

Devido às suas características impermeabilizantes e adesivas, o betume vem sendo utilizado há milhares de anos em diversas aplicações, tais como: construção de ferramentas (lanças e flechas); impermeabilização de cascos de embarcações; construção civil (edificações e pavimentação); selagem de canais de irrigação; entre outras.

Quando o asfalto derivado do refino do petróleo apresenta propriedades físicas que se enquadram em classificações estabelecidas por normativos específicos⁷, esse passa a ser denominado como cimento asfáltico de petróleo (CAP). Os CAPs apresentam qualidades que os tornam apropriados para aplicação na camada de revestimento das rodovias - que é a camada do pavimento perceptível ao usuário e que possui interferência direta no conforto e na segurança com que o veículo trafega.

A maior parte das rodovias pavimentadas no Brasil possui revestimento classificado como asfáltico, ou seja, possui um ligante de origem asfáltica em sua composição. O ligante tem a função de proporcionar união entre os agregados da mistura a ser empregada no revestimento e de conferir uma flexibilidade controlada ao material, para que o pavimento seja durável, resistindo às intempéries e ao tráfego.

Outros serviços de pavimentação que empregam o asfalto, em diferentes especificações e condições, são a imprimação e a pintura de ligação - que se constituem na aplicação de uma fina camada de material asfáltico entre as camadas do pavimento, com o objetivo, dentre outros, de melhorar a aderência entre elas - e os tratamentos superficiais - que atuam como um tipo de revestimento e podem ser executados sobre a base ou sobre um revestimento pré-existente, cuja mistura do material asfáltico com os agregados não é feita por usinagem, mas por penetração⁸.

6. Esse padrão de nomenclatura é adotado também nos Estados Unidos. No entanto, na Europa, costuma-se empregar o termo betume para se referir ao ligante, enquanto o termo "asfalto" faz referência à mistura asfáltica (betume e agregados).

7. No Brasil, o normativo que estabelece as propriedades do CAP é a resolução da ANP nº 19, de 2005, que será apresentada na Seção 2.4.

8. Esses serviços estão descritos de forma mais detalhada no volume desta série: "Por que os Pavimentos das Rodovias do Brasil não Duram?".

2.1 Produção, armazenamento e transporte do asfalto

O asfalto pode ser encontrado em jazidas naturais ou obtido por meio da destilação do petróleo. A utilização dos asfaltos naturais nos serviços de pavimentação é limitada devido às suas propriedades físicas ou ao próprio processo de extração desses materiais, que, muitas vezes, os tornam inadequados ou relativamente caros em comparação com o produzido a partir do refino do petróleo. Por isso, quase todo o asfalto consumido atualmente deriva do petróleo processado em instalações denominadas refinarias.

Nesses locais, o asfalto é produzido por meio do fracionamento dos compostos presentes no petróleo. Sua obtenção pode ocorrer em uma ou duas etapas de destilação, a depender da composição do petróleo utilizado - o que varia de acordo com sua fonte. Alguns petróleos possuem mais betume e, por isso, são chamados de petróleos pesados. Nesses casos, é necessário apenas um estágio de destilação a vácuo para obtenção do CAP. Quando o petróleo não é de base asfáltica, os chamados petróleos leves, a obtenção do asfalto ocorre em dois estágios: um chamado de destilação atmosférica e outro, destilação a vácuo.

As torres de destilação, sejam elas a vácuo, sejam sob pressão atmosférica, funcionam a partir de um mesmo princípio. Para exemplificar, a seguir, é apresentado o processo de refino em dois estágios.

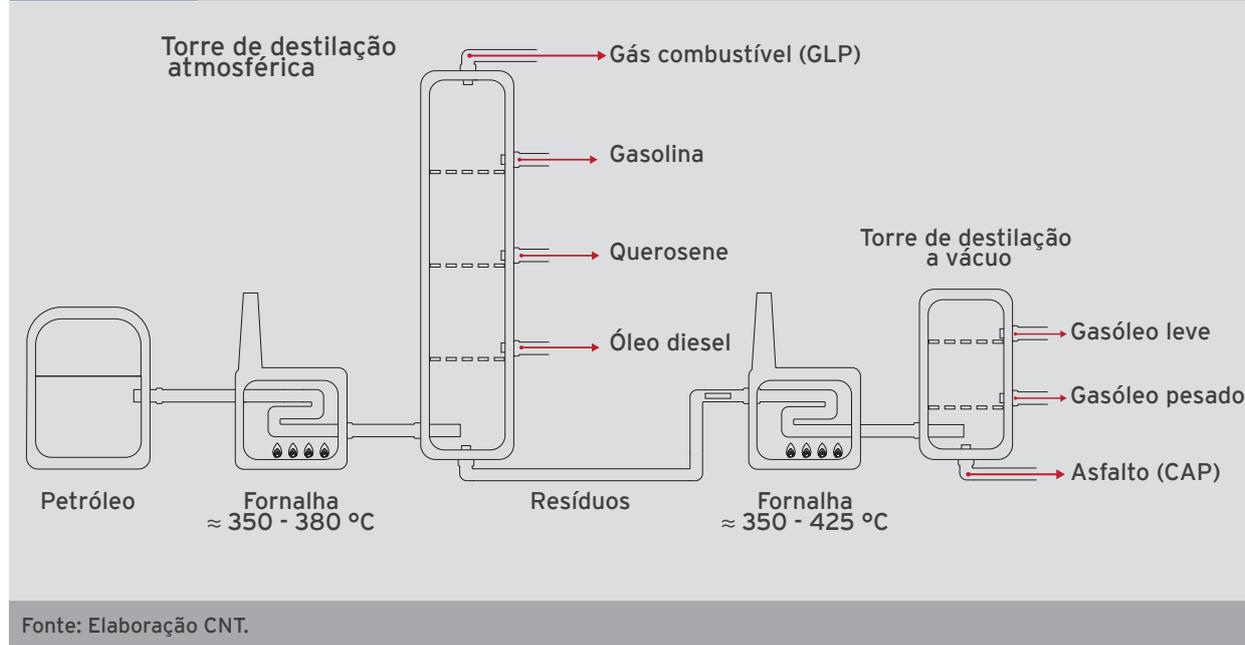
A torre de destilação consiste em uma torre metálica alta cujo interior é dividido por bandejas de aço horizontais com orifícios que permitem a passagem de vapor. O petróleo é aquecido em uma fornalha e inserido na base dessa torre. O material nesse estágio consiste em uma mistura de líquido e vapor. A fração líquida é retida na base da torre, enquanto o vapor ascende pela coluna, perdendo calor conforme sobe. Quando cada fração atinge a altura em que a temperatura é imediatamente inferior ao seu ponto de ebulição, o material se condensa, ficando retido na bandeja logo abaixo dele. A fração mais leve do petróleo permanece como vapor e é retirada pela parte superior da torre de destilação. Já as demais frações que se condensaram nas bandejas são retiradas da torre por meio de dutos.

A fração que permaneceu em estado líquido na base da torre é chamada de resíduos pesados. Esses resíduos passam por um novo processo de destilação, que é realizada em uma torre a vácuo para evitar a necessidade de elevação extrema da temperatura, o que poderia quebrar ou decompor as substâncias presentes nesse resíduo⁹. A destilação ocorre da mesma forma - com a separação das frações de acordo com seus pontos de ebulição. Enfim, o resíduo dessa etapa consiste no asfalto. As propriedades desse material irão variar de acordo com a origem do petróleo e com a temperatura e pressão da torre de destilação a vácuo. Esse processo é ilustrado na Figura 03.

9. O vácuo permite que a temperatura de ebulição dos materiais, isto é, a temperatura em que eles passam do estado líquido para o estado gasoso, seja reduzida em comparação à que seria em condições de pressão atmosférica. Assim, o material pode ser fracionado sem a necessidade de aquecê-lo a uma temperatura demasiadamente elevada.

Figura 03

Esquema de produção do asfalto



Após produzido, o asfalto deve ser acondicionado e manuseado sob condições controladas a fim de que não tenha suas propriedades alteradas. As condições que podem comprometer o material são aquecimento excessivo ou desigual e exposição a condições que promovam sua oxidação (esse processo é detalhado no BOX 01).

Por esses motivos, é importante que o armazenamento e o manuseio do asfalto sejam realizados sempre na menor temperatura possível, desde que permita uma fluidez do material consistente com a necessidade da operação em questão. Além disso, deve-se reduzir a área de contato do material exposto à superfície em relação ao volume armazenado, o que implica a busca por uma relação raio/altura do tanque de armazenamento que seja a menor possível. Assim, são preferíveis tanques cilíndricos verticalmente mais altos em relação aos mais baixos. Igualmente relevante é que tais tanques sejam equipados com sensores de temperatura próximos à região dos aquecedores e com controle do nível de estocagem. A depender do sistema de aquecimento utilizado, pode ser necessário também um sistema de recirculação do produto a fim de evitar sobreaquecimento localizado próximo às fontes de calor.

Um armazenamento inadequado pode alterar adversamente as propriedades do asfalto e comprometer seu desempenho futuro nas misturas em que for empregado. Por isso, além dos cuidados mencionados, se o material ficar armazenado por um período prolongado, ele deve ser testado antes do uso com o intuito de assegurar sua conformidade.

Geralmente, o transporte do asfalto é realizado a quente (temperatura variando entre $160 \text{ }^\circ\text{C}$ e $180 \text{ }^\circ\text{C}$) e pelo modal rodoviário. No entanto, o transporte desse material também pode ocorrer pelos modais aquaviário e ferroviário e também pode ser realizado à temperatura ambiente.

Relativo ao transporte do asfalto a quente, os tanques devem ser de destinação exclusiva para materiais asfálticos, de forma a evitar o risco de contaminação do carregamento por outras substâncias. Além disso, os tanques são termicamente isolados para minimizar a perda de calor durante o percurso. Quando da chegada no destino final, se necessário, o material é reaquecido por meio de uma fonte de calor, que pode ser a vapor ou por maçarico, até a temperatura e consistência desejadas para descarregamento. Por medidas de segurança, o sistema de aquecimento não é acionado durante o trânsito, sendo utilizado apenas no destino final ou em pontos estratégicos de parada.

Uma das diferenças entre os modais é a quantidade de produto que cada um consegue transportar em uma única viagem. Isso evidencia algumas dificuldades quanto à logística do transporte intermodal desse material. Por exemplo, se a tancagem de um terminal não for adequada, são necessários inúmeros caminhões-tanques (que possuem capacidade entre 12 e 44 toneladas, dependendo do modelo) para descarregar uma única balsa (que tem capacidade entre 1.000 e 3.000 toneladas cada).

Cabe destacar que o transporte do asfalto quente é considerado um transporte de produto perigoso e, por isso, está submetido a legislação específica¹⁰, especialmente quanto ao uso pelo condutor de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e a procedimentos específicos com relação ao transporte, para evitar possíveis danos ao ambiente e à sociedade em caso de acidente.

Já o transporte do asfalto à temperatura ambiente é menos usual, sendo mais adequado para longas distâncias. Nesse caso, existem basicamente duas alternativas: o transporte em contêineres reaquecíveis ou acondicionados em tambores, sacolas ou blocos. O primeiro consiste em contêineres destinados ao transporte de asfalto. Essa forma de transporte favorece a intermodalidade devido à adaptabilidade do contêiner a vários modais. O segundo consiste no asfalto empacotado. Quando o acondicionamento é realizado em tambores, a perda de produto é inevitável. Por outro lado, quando há a utilização de sacolas ou o transporte em blocos, são empregadas embalagens completamente solúveis no asfalto quando aquecidas, reduzindo eventuais perdas do produto.

Os cuidados adotados durante o transporte do material betuminoso devem ser tão criteriosos quanto os de armazenamento, evitando o aquecimento excessivo e o contato com o oxigênio. É importante ressaltar que, tanto na armazenagem quanto no transporte, deve-se ter cuidado para que não ocorra contaminação do material. Portanto, antes do recebimento de novo carregamento, deve-se certificar que o tanque esteja livre de outros tipos de substância.

Quando da mistura do asfalto com os agregados, esses são armazenados em silos e devem passar por um secador, responsável por secá-los e aquecê-los, evitando a presença de qualquer película de água em sua superfície. Isso possibilitará seu envolvimento completo pelo ligante asfáltico. O produto resultante da mistura do asfalto com esses agregados é chamado de mistura asfáltica a quente.

10. Para o transporte rodoviário, que representa quase a totalidade do asfalto transportado no Brasil, destacam-se as resoluções da ANTT nº 3.665/2011, nº 5.232/2016 e nº 5.848/2019. Os órgãos ambientais (federal ou estaduais) também regulamentam essa atividade por meio da Autorização Ambiental para Transporte de Produtos Perigosos. No âmbito do transporte aquaviário, a Marinha do Brasil regulamenta os requisitos para realização dessa atividade por meio das Normas 02/2005 e 29/2013.

Por meio de um elevador, a mistura é direcionada para um silo de armazenamento, sendo posteriormente descarregada em um caminhão que a transportará para o local da obra de pavimentação.

As caçambas dos veículos devem ser cobertas com lonas impermeáveis durante o transporte, de forma a proteger a mistura asfáltica da ação de chuvas ocasionais, da eventual contaminação por poeira e, especialmente, da perda de temperatura e queda de partículas durante o transporte. As lonas devem estar bem fixadas na dianteira para não permitir a entrada de ar entre a cobertura e a mistura.

Box 01**Envelhecimento do asfalto**

O envelhecimento é uma das principais causas da perda de características importantes do ligante asfáltico ao longo da sua vida útil no pavimento. Esse processo se caracteriza por alterações na estrutura do material que provocam seu endurecimento, ou seja, o aumento da sua rigidez. Ele é dividido em duas fases: o envelhecimento de curto e longo prazos. O primeiro acontece durante a estocagem, transporte, usinagem e aplicação da mistura asfáltica; o segundo corresponde ao endurecimento no decorrer da vida útil do pavimento.

Até certo ponto, esse processo é necessário, pois garante a resistência do revestimento. Por outro lado, um endurecimento de curto prazo acentuado pode resultar na diminuição da durabilidade do revestimento asfáltico, tornando-o excessivamente rígido ao longo do tempo e, conseqüentemente, mais quebradiço. Assim, ele fica mais suscetível ao trincamento, ao desgaste e à infiltração, o que compromete a serventia e a conservação da via.

Vários fatores podem intensificar o envelhecimento de curto prazo do CAP. Porém, em geral, a oxidação é a principal causa. Esse é um fenômeno químico que ocorre quando o ligante entra em contato com o oxigênio atmosférico. O grau de oxidação aumenta quanto maiores forem a temperatura do ligante, o tempo de exposição e a área da superfície que está em contato com o ar. Além disso, tratando-se da mistura asfáltica, quanto mais fina for a película de CAP que envolve o agregado, mais o ligante estará propenso a sofrer oxidação.

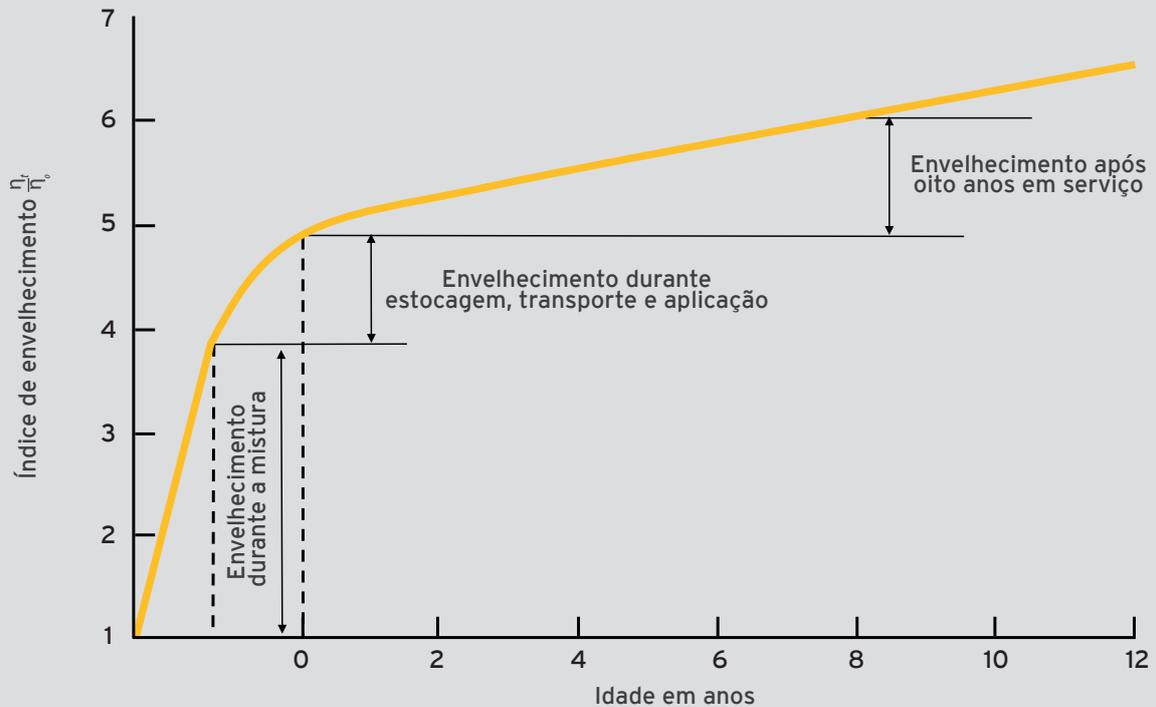
O envelhecimento de longo prazo depende das condições de exposição da via, como o clima da região, a exposição eventual do pavimento a temperaturas atipicamente elevadas e a ocorrência de foto-oxidação do betume devido à incidência de radiação ultravioleta. Porém, o fator que mais influencia o endurecimento nesse estágio é o índice de vazios, que reflete a quantidade de pontos não preenchidos por ligante nem por agregados, formando uma espécie de poro na camada do revestimento. Quanto maior o índice de vazios, maior a sua porosidade. O ar penetra por esses poros e a mistura sofre um processo interno de oxidação. A situação é agravada quando há intercomunicação entre eles, o que permite uma maior circulação do ar.

Um dos parâmetros utilizados para aferir o envelhecimento do ligante é a viscosidade. Essa propriedade mede a consistência do material, o que permite identificar quando esse sofre endurecimento. O Gráfico A apresenta o índice de envelhecimento do CAP ao longo de sua vida útil, que foi calculado a partir da divisão da viscosidade do betume após determinado período pela viscosidade do betume virgem, antes da mistura com o agregado. É possível, então, saber o quanto o ligante endureceu em comparação com o seu estado inicial.

Vê-se no gráfico que, depois de oito anos de serviço, o ligante apresenta um índice de envelhecimento de, aproximadamente, seis. Ou seja, sua viscosidade é seis vezes maior que em seu estado inicial. Entretanto, cabe destacar que, ao final das etapas de mistura, estocagem, transporte e aplicação, esse valor já era de quase cinco. Isso significa que o envelhecimento de curto prazo é muito mais acentuado que o de longo prazo, visto que as maiores taxas de endurecimento do asfalto se dão antes da abertura da via para a circulação de veículos.

Gráfico A

Índice de envelhecimento do ligante ao longo do tempo



Fonte: Adaptado de Read e Whiteoak (2003).

Em cada fase da cadeia produtiva do asfalto, esse material está propício, em menor ou maior grau, à oxidação e, conseqüentemente, ao envelhecimento. Assim, cuidados na armazenagem, no manuseio e na execução do asfalto são indispensáveis para garantir a durabilidade e a qualidade da via conforme já foi descrito neste capítulo.

2.2 Propriedades do asfalto

Visando a elucidar a importância dos cuidados durante os processos de produção, armazenamento e transporte do asfalto, nesta seção, são apresentadas as principais propriedades desse material e de que forma elas impactam seu comportamento nas rodovias.

As propriedades do asfalto dependem de diversos parâmetros, tais como as características do petróleo do qual ele é derivado, a temperatura e a pressão da torre de vácuo durante seu refino, entre outros.

A função primária do asfalto no pavimento é promover aderência entre os agregados da mistura e entre ela e a superfície onde será aplicada - por isso, constitui a parte denominada de "ligante". Além disso, é ele o responsável por proporcionar uma flexibilidade adequada à superfície da via para que ela resista ao tráfego e às condições climáticas sem apresentar deformações ou trincas precoces, o que compromete a durabilidade da infraestrutura.

O que proporciona tal flexibilidade são as propriedades do asfalto, que é caracterizado como um material termoviscoelástico, isto é, o tipo de resposta desse material à aplicação de uma força externa, como a passagem de um veículo, por exemplo, apresenta características tanto de viscosidade, quanto de elasticidade, e varia conforme a temperatura.

A viscosidade representa a resistência de um material ao seu escoamento. Dessa forma, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade com que o material escorre. Já a elasticidade está relacionada aos materiais que, via de regra, não escorrem, ou seja, àqueles que sofrem deformação devido à aplicação de determinado carregamento, mas que, ao cessar essa força, o material retoma a sua forma original. Por fim, seu comportamento dependerá também da temperatura em que está o material. Conforme ela aumenta, seu comportamento se assemelha ao de um líquido. De forma contrária, com a redução da temperatura, ele passa a apresentar características de um sólido.

A resposta do asfalto decorrente da aplicação de uma força depende da sua intensidade e do tempo de aplicação, bem como de todo o histórico de forças recebidas por ele, devido ao chamado efeito memória. Ou seja, seu comportamento dependerá da tensão atual e de todas as demais tensões recebidas por ele ao longo de sua vida de serviço.

Ao explorar os fatores que influenciam as propriedades termoviscoelásticas do asfalto, é possível ilustrar algumas formas como elas afetam o comportamento do pavimento, por meio do surgimento de defeitos.

Em vias com temperaturas muito baixas, por exemplo, o pavimento fica mais suscetível ao surgimento de trincas térmicas, devido ao aumento da dureza do material e a uma redução da sua capacidade de dispersão da pressão recebida pelo tráfego. Por outro lado, em locais de clima quente, os pavimentos ficam mais vulneráveis a deformações permanentes, como os afundamentos nas trilhas de roda.

As características do tráfego também influenciam a forma como os componentes viscoelásticos do pavimento reagem. Um tráfego com veículos muito pesados estacionário ou de baixa velocidade, como ocorre em estacionamentos e paradas de ônibus, por exemplo, também contribui para o surgimento de afundamentos permanentes. Por isso, nesses locais, é aconselhável o emprego de um asfalto mais duro (mais viscoso).

Além disso, o fenômeno de oxidação ou envelhecimento do pavimento no decorrer de sua vida útil também influencia o surgimento desses defeitos. Como esse fenômeno torna o asfalto mais quebradiço e reduz sua capacidade de dispersar as tensões do tráfego, ele fica mais suscetível ao surgimento de trincas.

Vale lembrar ainda que, além dessas propriedades, relacionadas ao seu comportamento mecânico, outro fator que contribui para a ampla utilização do asfalto na pavimentação é sua capacidade impermeabilizante. Isso significa que ele não reage com a água e impede que ela passe da superfície da via para as demais camadas estruturais do pavimento, localizadas abaixo do revestimento - o que é importante para evitar um colapso de toda a estrutura.

De forma geral, apesar da complexidade do comportamento desse material, pode-se destacar dois aspectos importantes para sua caracterização: sua reologia, que consiste no comportamento do material com base em suas características de escoamento e deformação; e sua durabilidade, que é a capacidade do material em manter suas características de forma satisfatória ao longo do período em que ele estará em serviço.

Para se caracterizar e prever o comportamento do CAP em serviço, no pavimento, geralmente se utiliza uma combinação das suas propriedades de "dureza" e viscosidade. A seguir, serão descritos os ensaios realizados para se aferirem tais propriedades.

2.3 Ensaios

Esta seção apresenta, de forma simplificada, os ensaios necessários para aferição de cada uma das propriedades adotadas pela atual norma da ANP (resolução nº 19/2005) para classificação dos CAPs. Devido a sua natureza empírica, é essencial que tais ensaios sejam realizados sempre sob as mesmas condições controladas.

2.3.1 Ensaio de penetração

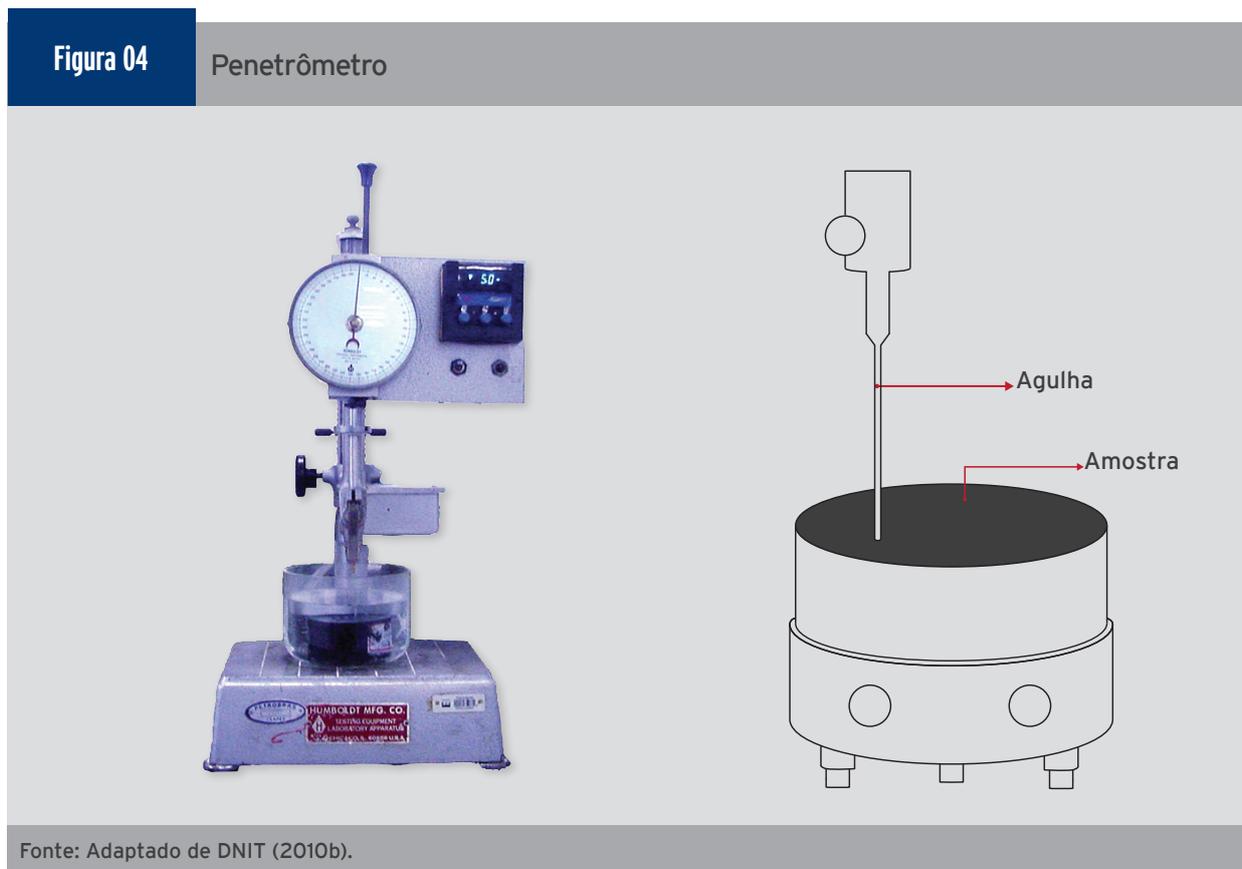
O ensaio de penetração mede a profundidade, em décimos de milímetros (0,1 mm), que uma agulha padrão de cem gramas penetra verticalmente em uma amostra de CAP de volume padronizado, durante cinco segundos, a uma temperatura de 25 °C.

O ensaio é realizado com a amostra totalmente submersa em um banho d'água. Após correto posicionamento da agulha sobre a superfície, ela é liberada e sua penetração é aferida após cinco segundos. A penetração do material é obtida por meio da média

aritmética de pelo menos três aferições em diferentes pontos da superfície da amostra. A diferença entre o valor mais alto e o mais baixo aferidos não deve ultrapassar 0,2 mm, se a penetração do material for entre 0 e 49 décimos de milímetros, e 0,4 mm, se a penetração for entre 50 e 149 décimos de milímetros. Caso contrário, deve-se repetir o procedimento.

Esse ensaio é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 6576:2007, e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio da Norma DNIT 155/2010-ME.

A Figura 04 ilustra o equipamento utilizado na realização desse ensaio, denominado penetrômetro.

Figura 04**Penetrômetro**

Fonte: Adaptado de DNIT (2010b).

Atualmente, a penetração é a propriedade empregada no Brasil para classificar os diferentes tipos de CAP, ou seja, os cimentos asfálticos são denominados conforme os intervalos de penetração aferidas nesse ensaio: CAP 30-45, CAP 50-70, CAP 85-100 e CAP 150-200. Dessa forma, um CAP 30-45 significa que a agulha padrão penetrou entre 30 e 45 décimos de milímetro, ou 3 e 4,5 milímetros, nas condições estabelecidas.

Esse ensaio mede a consistência do material, de forma que, quanto menor for a penetração da agulha, maior a dureza (ou a consistência) da amostra ensaiada. Asfaltos mais duros são desejáveis em locais com temperatura mais elevada ou tráfego mais intenso, pois são menos propensos à ocorrência de afundamentos.

2.3.2 Ponto de amolecimento

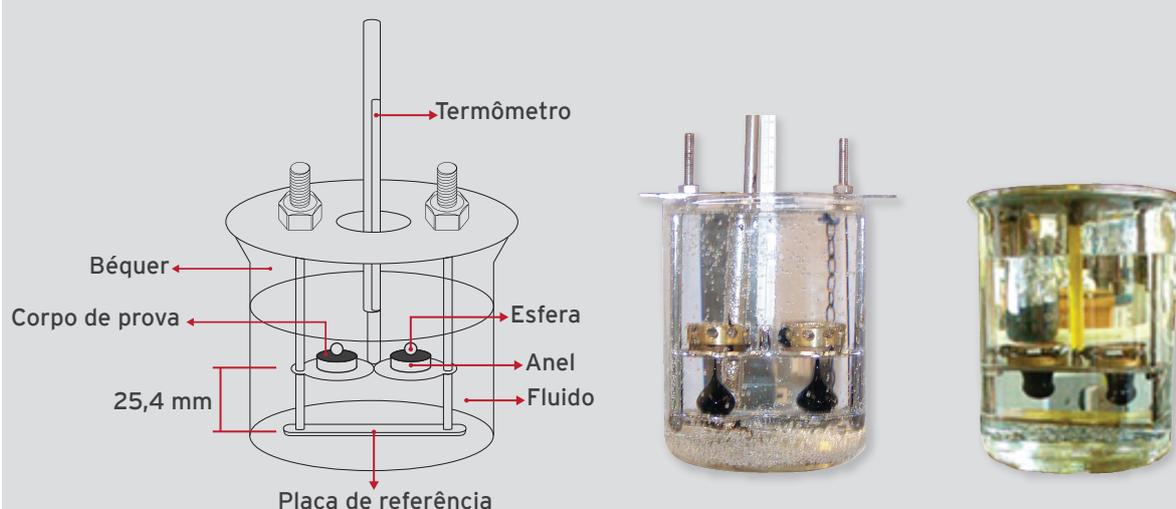
O ensaio de ponto de amolecimento também é um ensaio de consistência. Trata-se de uma medida por que visa identificar a temperatura na qual um material amolece, sob condições controladas, até que atinja uma determinada condição de escoamento. No Brasil, utiliza-se o Método do Anel e Bola, normalizado pela ABNT - NBR 6560:2016 e pela Norma DNIT - 131/2010 - ME.

Para a execução desse ensaio, dois corpos de prova do material a ser testado são moldados em anéis padronizados e colocados em um béquer com um fluido, de forma que os anéis fiquem na posição horizontal e a 25,4 milímetros acima de uma placa de referência. Um termômetro deve ser acoplado de modo que o fundo de seu bulbo esteja alinhado à parte inferior dos anéis. Em seguida, são colocadas esferas maciças de aço inoxidável, com 9,5 milímetros de diâmetro e 3,5 gramas de massa, centralizadas, uma sobre cada corpo de prova. Então, a temperatura do fluido deve ser elevada a uma taxa de 5 °C por minuto. O ponto de amolecimento corresponderá à média entre as temperaturas indicadas no termômetro no momento em que as esferas, envolvidas pela amostra, tocarem a placa de referência. Caso a diferença entre as temperaturas seja superior a 1 °C, deve-se repetir o ensaio.

A Figura 05 ilustra a montagem e a aparelhagem para a realização da determinação do ponto de amolecimento por meio do Método do Anel e Bola, bem como a execução de um ensaio em que a amostra já amoleceu e está na iminência de tocar a placa de referêcia.

Figura 05

Aparelhagem e ensaio pelo Método do Anel e Bola



Fonte: Adaptado de DNIT (2010a), Bernucci, *et. al.* (2010) e Read e Whiteoak (2003).

A temperatura aferida nesse ensaio está relacionada à máxima temperatura de serviço do asfalto, ou seja, acima da qual o asfalto começa a apresentar-se muito fluido para desempenhar satisfatoriamente a função de revestimento. Um ponto de amolecimento mais elevado é preferível em locais mais quentes.

Além disso, é possível fazer uma relação desse ensaio com o de penetração: de modo geral, quanto maior o ponto de amolecimento, menor é a penetração. Outra constatação acerca dessas duas propriedades é que cada uma avalia a consistência do asfalto sob diferentes perspectivas. Uma voltada para o comportamento do asfalto à temperatura ambiente e outra à temperatura máxima de serviço.

2.3.3 Viscosidade Saybolt Furol

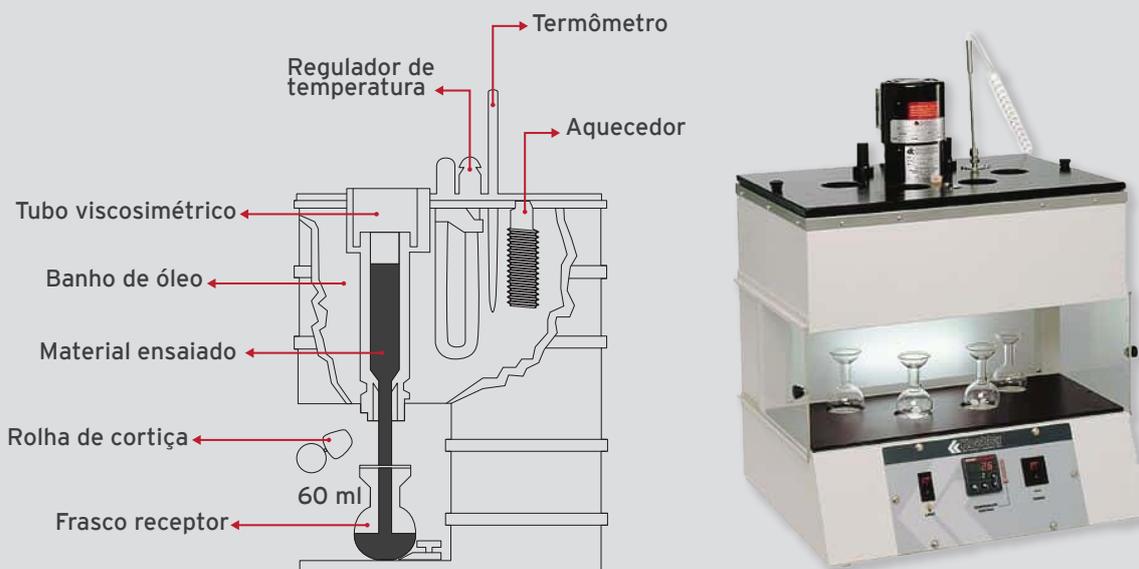
A viscosidade é uma medida de consistência aferida com base na resistência ao escoamento do material. Trata-se de uma das principais propriedades para caracterizar o comportamento do asfalto. Existem diversos tipos de viscosímetros disponíveis atualmente, cada qual com diferentes métodos, precisão e custo para execução. No Brasil, o viscosímetro mais comum é o de Saybolt Furol, pois é um equipamento mais simples e fácil de ser utilizado nas obras, mesmo que em locais ermos.

A determinação da viscosidade de uma amostra de asfalto por meio viscosímetro Saybolt Furol é normalizada pela ABNT NBR 14950:2003. O ensaio mede o tempo, em segundos, que uma amostra leva para escorrer 60 ml, em fluxo contínuo, através de um orifício de dimensões determinadas e sob condições de temperatura controladas. As temperaturas-padrão para ensaio de materiais betuminosos são 121 °C, 135 °C, 149 °C, 163 °C, 177 °C, 204 °C e 232 °C, sendo que a especificação da ANP utiliza o ensaio apenas às temperaturas de 135 °C, 150 °C e 177 °C.

De forma simplificada, o equipamento consiste em um tubo viscosimétrico imerso verticalmente em um banho de óleo com temperatura controlada. Na extremidade inferior do tubo, há um orifício tapado com uma rolha de cortiça. O material a ser ensaiado é inserido no tubo e sua temperatura é monitorada até que se atinja a definida para o ensaio. Abaixo do tubo, posiciona-se um frasco receptor com uma marca de graduação de 60 ml. Em seguida, de forma simultânea, a rolha do orifício deve ser retirada e um cronômetro acionado. Deve-se registrar o tempo decorrido até que o material atinja a marca do frasco receptor. Esse tempo - dado em segundos - consiste na viscosidade do material. A Figura 06 ilustra o equipamento utilizado nesse ensaio.

Figura 06

Viscosímetro Saybolt Furol



Fonte: Adaptado de Bernucci, *et. al.* (2010).

2.3.4 Viscosidade Brookfield

Outra forma de se aferir a viscosidade de um material é pelo viscosímetro rotacional. Alguns exemplos desse equipamento são o Brookfield Thermocel e o Haake. A ABNT normaliza esse ensaio por meio da NBR 15184:2004.

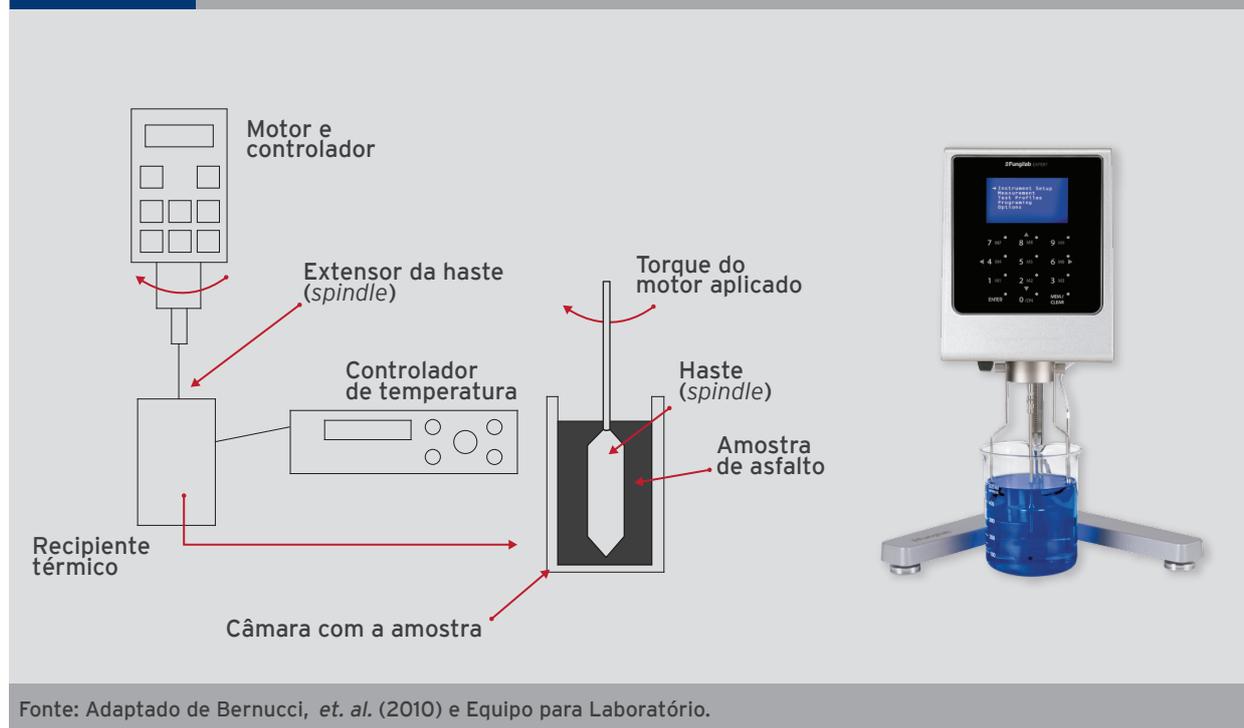
O ensaio consiste no preparo de uma amostra de asfalto em uma câmara a uma temperatura determinada. Em seguida, insere-se uma haste (*spindle* - SP) no material de modo que uma das extremidades fica imersa e a outra é acoplada ao motor do viscosímetro. Ao ligar o equipamento, o motor aplica um torque¹¹ suficiente para rotacionar a haste a uma velocidade constante e controlada. A partir do torque aplicado, da velocidade de rotação e do formato da haste, a viscosidade da amostra é determinada, em centipoise (cP)¹². A Figura 07 ilustra um viscosímetro rotacional.

11. O torque é um conceito físico que está relacionado ao movimento de rotação e é calculado a partir do produto entre a força perpendicular aplicada no sentido da rotação e a distância entre o eixo de rotação e o ponto de aplicação da força.

12. 1 cP = 1 milipascal.segundo ou 1.000 cP = 1 Pa.s.

Figura 07

Viscosímetro rotacional



Fonte: Adaptado de Bernucci, *et. al.* (2010) e Equipe para Laboratório.

A viscosidade é uma propriedade importante para a determinação da temperatura em que a consistência do asfalto será adequada para proporcionar uma melhor cobertura dos agregados da mistura. Para isso, é traçada uma curva relacionando a viscosidade com a temperatura do material. O viscosímetro rotacional permite a obtenção dessa curva a partir de uma única amostra.

2.3.5 Suscetibilidade térmica

O índice de suscetibilidade térmica (também chamado de Índice de Penetração - IP) é uma medida da sensibilidade da consistência do asfalto à variação de temperatura. Esse índice é calculado a partir da seguinte expressão empírica:

$$IP = \frac{20 - 500(\tan \alpha)}{1 + 50(\tan \alpha)} \quad (1)$$

Onde IP corresponde ao Índice de Penetração e a $\tan \alpha$ é dado por:

$$\tan \alpha = \frac{\log(P_{T_1}) - \log(P_{T_2})}{T_1 - T_2} \quad (2)$$

Em que, por sua vez, P_{T_i} é a penetração, em décimos de milímetros, à temperatura de ensaio T_i , em °C.

Normalmente, as temperaturas de ensaio utilizadas como referência são 25 °C, tal qual utilizada no ensaio de penetração, e a temperatura do ponto de amolecimento. Para cálculo do IP, parte-se da hipótese que a penetração do CAP no ponto de amolecimento é 800.

Assim, aplicando esses valores nas equações (1) e (2), tem-se que:

$$IP = \frac{500 \log(P) + 20PA - 1951}{120 - 50 \log(P) + PA} \quad (3)$$

Onde, P é a penetração do CAP a 25 °C e PA é a temperatura do ponto de amolecimento, calculados conforme métodos apresentados nesse relatório.

Quanto menor o IP calculado, em valores absolutos, ou seja, independentemente se o valor é positivo (+) ou negativo (-), menor é sua suscetibilidade térmica. Para o CAP que será aplicado no revestimento, é desejável pouca variação das suas propriedades com a mudança de temperatura, uma vez que ele estará exposto a diferentes condições do ambiente - ou seja, um IP reduzido.

2.3.6 Ponto de fulgor

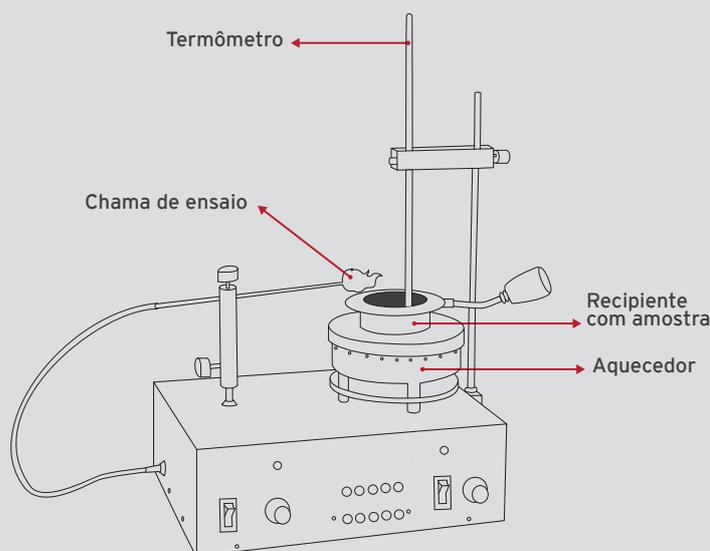
O ponto de fulgor é uma propriedade cuja determinação visa fornecer segurança a quem manuseia o asfalto. Ele indica a temperatura na qual os vapores emanados durante o aquecimento do material asfáltico passam a ser inflamáveis em decorrência do contato com uma chama padronizada. Portanto, trata-se da temperatura máxima na qual é seguro manusear o produto, sem o risco de combustão. O ensaio realizado para determinar tal temperatura é normalizado pela ABNT NBR 11341:2015. O ponto de fulgor dos asfaltos é, geralmente, superior a 230 °C.

O ensaio é feito por meio do aparelho de vaso aberto Cleveland manual ou automático. Consiste no aquecimento de uma amostra, com um termômetro imerso nela e cuja temperatura é aumentada, inicialmente, de forma rápida (entre 5 °C e 17 °C por minuto). Quando a temperatura da amostra atinge 56 °C abaixo do ponto de fulgor esperado para o material, a taxa de aquecimento deve ser reduzida, até que, a 28 °C da temperatura do ponto de fulgor esperado, a taxa de aquecimento da amostra seja de 5 °C por minuto. Nesse momento, deve-se aplicar a chama de ensaio a, no máximo, 2 milímetros acima do plano da borda da cuba onde está a amostra, repetindo-se esse procedimento a cada vez que a temperatura lida no termômetro inserido na amostra seja múltipla de 2.

O ponto de fulgor corresponde à temperatura registrada no momento em que a chama de ensaio causar um clarão ou lampejo no interior da cuba. O fulgor corresponde ao momento em que uma chama aparece e se propaga sobre toda a superfície da amostra, se extinguindo instantaneamente. O valor do ponto de fulgor é dado à pressão atmosférica ao nível do mar a 25 °C - 101,3 kPA ou 1 atm. Se a pressão ambiente no momento que foi realizado o ensaio for diferente, deve-se corrigir o ponto de fulgor com base em uma equação padronizada. A Figura 08 ilustra um equipamento manual para a realização desse ensaio.

Figura 08

Ensaio de ponto de fulgor



Fonte: Adaptado de Notícias BQL (2015).

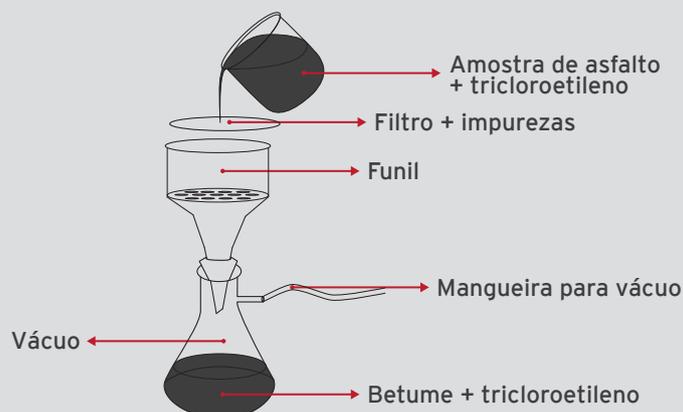
2.3.7 Solubilidade em tricloroetileno

A solubilidade é um ensaio que avalia a pureza do asfalto por meio do teor de betume em sua composição química. O ensaio consiste na filtragem a vácuo de uma amostra de asfalto misturada com tricloroetileno (C_2HCl_3), um solvente no qual o CAP é totalmente solúvel. Dessa forma, após a filtragem, a fração que fica retida no filtro corresponde às impurezas presentes na amostra. A Figura 09 ilustra o ensaio realizado.

A solubilidade em tricloroetileno é calculada com base no percentual da massa da amostra (em gramas) que não é retida no filtro. O percentual insolúvel é calculado de forma análoga pelo percentual da massa retida no filtro em relação à massa total da amostra. A norma da ABNT que normaliza esse ensaio é a NBR 14855:2015.

Figura 09

Ensaio de solubilidade em tricloroetileno



Fonte: Adaptado de Brasil Escola.

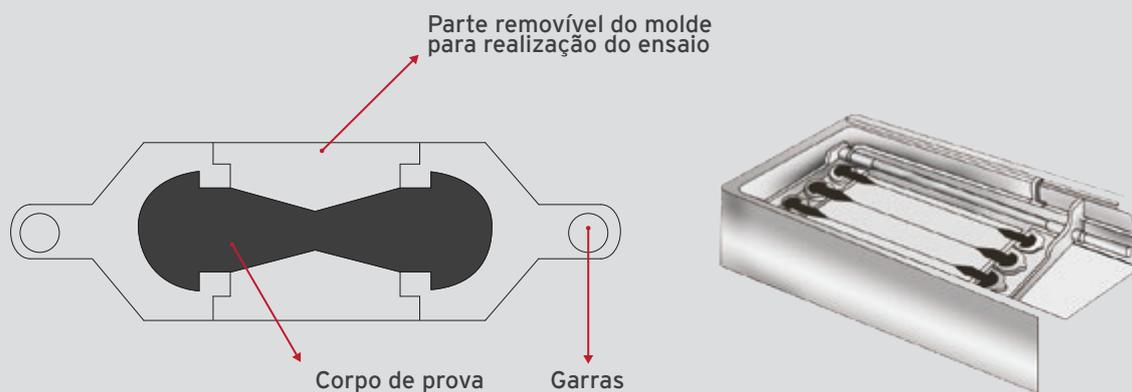
2.3.8 Ductilidade

A ductilidade é uma medida de coesão do asfalto e representa a quantidade de deformação plástica que o material suporta até seu rompimento. Um material com baixa ductilidade é mais frágil, portanto, menos resistente ao surgimento de fissuras. Essa propriedade é medida pela distância ou deformação, em centímetros, em que um corpo de prova se rompe quando submetido a uma força de tração, aplicada com velocidade e temperatura controladas.

O ensaio é normalizado pela ABNT NBR 6293:2015 e pelo DNIT, pela norma DNER-ME 163/98. Para a realização do ensaio, preparam-se três corpos de prova com o material a ser testado em um molde conforme ilustrado na Figura 10. Em seguida, as garras localizadas nas extremidades do molde são encaixadas nos pinos guias do ductilômetro, de modo que o corpo de prova fique submerso em um banho (de água potável com densidade controlada). A menos que haja indicação contrária, o ensaio é realizado à temperatura de 25 °C e as extremidades são separadas a uma velocidade constante de 25 centímetros por minuto. O ensaio é finalizado quando o corpo de prova se rompe ou quando seu comprimento atinge 100 cm.

Figura 10

Molde e ensaio de ductilidade



Fonte: Adaptado de Bernucci, *et. al.* (2010).

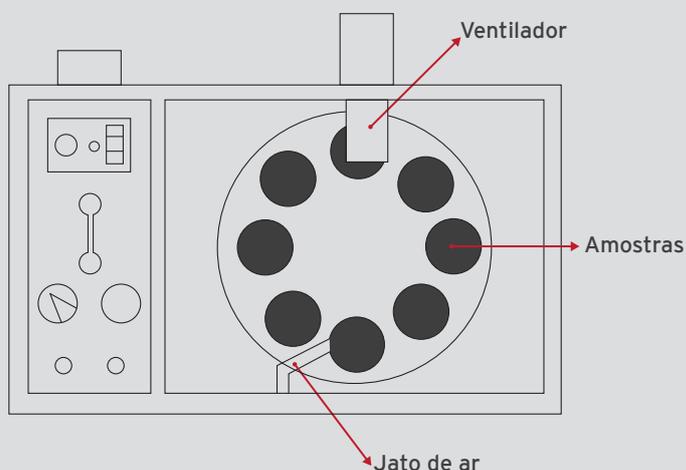
2.3.9 Durabilidade (Efeito do calor e do ar - ou Variação em massa)

Para simular as propriedades do asfalto, após o envelhecimento decorrente da usinagem do material, realiza-se o ensaio denominado de efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional ou RTFOT (sigla do inglês para *rolling thin film oven test*). Esse ensaio submete uma amostra de asfalto a alta temperatura e ao efeito do ar, o que causa um endurecimento do ligante semelhante ao verificado durante o processo de usinagem da mistura asfáltica.

O RTFOT consiste em um forno, com uma espécie de carrossel vertical, onde são colocadas as amostras. A temperatura é controlada a 163 °C. O carrossel gira a uma velocidade controlada de 15 rotações por minuto (rpm). O forno é equipado com um jato de ar com fluxo controlado que sopra para dentro dos recipientes das amostras conforme elas passam na frente do jato. Esse procedimento é realizado por 85 minutos. O ensaio é normalizado pela ABNT NBR 15235:2009. A Figura 11 ilustra o equipamento utilizado.

Figura 11

Equipamento RTFOT



Fonte: Adaptado de Bernucci, *et. al.* (2010) e ABM Van Zijl b.v.

O recipiente onde é colocada a amostra consiste em um cilindro com uma das extremidades abertas, por onde se insere o material e por onde entra o jato de ar. Conforme o recipiente gira no carrossel, a amostra se distribui por toda a superfície interna, formando uma fina película de asfalto, o que aumenta a área de contato do material às condições adversas, acelerando o processo de endurecimento. A Figura 12 ilustra o recipiente antes e após o ensaio.

Figura 12

Recipiente para ensaio



Para avaliar o efeito do calor e do ar, são comparadas as propriedades da amostra antes e depois do ensaio RTFOT. Comparam-se a variação da massa, a ductilidade a 25 °C, o aumento do ponto de amolecimento e a penetração do material, todas expressas em termos da variação verificada.

A seguir, é apresentada a norma brasileira que estabelece os valores necessários para cada um desses ensaios para que um asfalto seja enquadrado como cimento asfáltico de petróleo (CAP).

2.4 Normativos

Conforme definido previamente, o cimento asfáltico de petróleo (CAP) consiste em um asfalto que se enquadra em classificações estabelecidas por normativos específicos. No Brasil, a norma mais atual que trata dessa classificação é a resolução da ANP nº 19, de 2005.

Essa resolução estabelece quatro classes de cimento asfáltico de petróleo, a saber: CAP 30-45, CAP 50-70, CAP 85-100 e CAP 150-200. O identificador numérico que caracteriza esses diferentes tipos de CAP faz referência à faixa de penetração do material, que é uma medida de consistência. Os tipos de CAP, no entanto, também são diferenciados por outras medidas de consistência, além de suas características de segurança, pureza e durabilidade. A Tabela 01 apresenta as especificações definidas pela resolução da ANP. Quanto à sua aplicabilidade, os tipos mais apropriados para a pavimentação são os CAPs 30-45 e 50-70.

Tabela 01

Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP)

Características	Unidade	Limites				
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	
Penetração (100 g, 5 s, 25 °C)	0,1 mm	30-45	50-70	85-100	150-200	
Ponto de amolecimento, mín.	°C	52	46	43	37	
Viscosidade	Saybolt Furol					
	a 135 °C, mín.	s	192	141	110	80
	a 150 °C, mín.		90	50	43	36
	a 177 °C, mín.		40-150	30-150	15-60	15-60
	ou					
	Brookfield					
	a 135 °C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	374	274	214	155
	a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81
a 177 °C, SP 21	76-285		57-285	28-114	28-114	
Índice de suscetibilidade térmica		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	
Ponto de fulgor mínimo	°C	235	235	235	235	
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	60	60	100	100	
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 minutos						
Varição em massa, máx.	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5	
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	10	20	50	50	
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8	8	8	8	
Penetração retida, mín.	%	60	55	55	50	

Fonte: Adaptado de ANP, 2005c.

Cabe destacar que todos os ensaios utilizados pela norma são de natureza empírica - o que significa que a previsão do comportamento futuro do asfalto no pavimento é feita de forma indireta, baseada em observações passadas.

Em diversos países, verifica-se uma tendência de atualização dos normativos que estabelecem as especificações do CAP utilizado na pavimentação - que estão deixando de se basear em ensaios empíricos e passando a adotar ensaios capazes de medir propriedades fundamentais do asfalto, ou seja, com base em sua reologia. Essa atualização visa a melhorar o conhecimento do real comportamento futuro do material no pavimento. Nelas, os CAPs deixam de ser classificados com base em sua penetração e passam a ser categorizados

por faixas de desempenho, de acordo com as condições às quais serão submetidos durante sua vida útil. O principal exemplo desse tipo de normativo é o Superpave, utilizado nos Estados Unidos.

Desenvolvido pela *Strategic Highway Research Program* (SHRP ou, em tradução livre, programa estratégico de pesquisa rodoviária), o Superpave é um método para avaliação do material asfáltico para pavimentação que adota especificações baseadas em propriedades fundamentais ou reológicas do asfalto.

Superpave é uma sigla para *Superior Performing Asphalt Pavements* ou pavimentos asfálticos de performance superior. Esse método seleciona os tipos de CAP mais adequados para cada situação com base em “graus de desempenho”, denominados PG (*Performance Grade* - PG). Tais PGs utilizam como referência as temperaturas máximas e mínimas às quais o material será submetido durante sua vida útil, medida a 20 milímetros de profundidade no revestimento.

As propriedades fundamentais do CAP são aferidas em três diferentes estados do material: em seu estado original; no estado envelhecido após a usinagem (pelo ensaio de efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional - RTFOT); e no estado envelhecido ao longo de sua vida útil no pavimento (pelo ensaio de vaso de pressão - PAV).

Nessa especificação, mede-se a temperatura do material no momento em que o ensaio afere um valor fixo da propriedade - ao contrário da norma brasileira, em que se mede o valor da propriedade a uma temperatura fixa de ensaio.

A especificação do Superpave é normalizada, nos Estados Unidos, pela ASTM 6373. Para fins de exemplificação, a Tabela 02 apresenta parte da especificação e as propriedades adotadas.

Tabela 02

Especificação Superave

	Un.	PG 52					PG 58					PG 64																	
		-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40										
Temperatura máx. durante os 7 dias consecutivos mais quentes do ano	°C	< 52															< 58					< 64							
Temperatura mín. no dia mais frio do ano	°C	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -46	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40										
Ligante original																													
Ponto de fulgor	°C	230																											
Viscosidade rotacional - 3.000 cP	°C	135																											
Cisalhamento dinâmico - 10 rad/s, G*/senδ, mín. 1,0 kPa	°C	52															58					64							
Após RTFOT																													
Varição em massa	%	< 1																											
Cisalhamento dinâmico - 10 rad/s, G*/senδ, mín. 2,2 kPa	°C	52															58					64							
Após RTFOT e PAV																													
Temperatura de envelhecimento PAV	°C	90																		100					100				
Cisalhamento dinâmico - 10 rad/s, G*/senδ, mín. 5,0 kPa	°C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	10	7	28	25	22	19	16									
Fluência (BBR) - 60 s, mín coef. angular m 0,3, máx. módulo rigidez S 300 MPa	°C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-6	-12	-18	-24	-30									
Alongamento na ruptura - mín. 1,0%, 1mm/min	°C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-6	-12	-18	-24	-30									

Fonte: Tradução livre de Read e Whiteoak (2003).

Um CAP com PG 58-16 mantém suas propriedades desejáveis durante a vida de serviço do pavimento onde as temperaturas máxima e mínima forem 58 °C e 16 °C, respectivamente.

Os valores da especificação Superpave são definidos para um tráfego a uma velocidade de, aproximadamente, 90 km/h. Em locais em que a velocidade for menor, tais como em estacionamentos ou próximos a paradas de ônibus, recomenda-se que o grau da temperatura mais alta seja elevado 6 °C a 12 °C. Ou seja, se as temperaturas máxima e mínima esperadas forem de 52 °C e 22 °C, respectivamente, e for um local de tráfego lento, ao invés de se utilizar um CAP com PG 52-22, deverá ser selecionado um CAP com PG 58-22 ou PG 61-22. De forma semelhante, são estabelecidas faixas de volume de tráfego. Conforme o volume de tráfego projetado exceder determinados valores, também se recomenda o aumento do grau da temperatura mais alta.

A descrição dos ensaios e das propriedades contemplados pelo Superpave está disponível no Apêndice deste relatório.

A Quadro 01 apresenta um comparativo entre as principais diferenças entre a atual norma utilizada no Brasil e o Superpave.

Quadro 01	
Comparativo entre a especificação brasileira e o Superpave	
Resolução ANP nº 19/2005	Superpave
Não leva em consideração a temperatura à qual o pavimento será submetido, cabendo ao projetista realizar a melhor alternativa	Especificado com base nas temperaturas máximas e mínimas às quais o pavimento será submetido
Baseada em ensaios empíricos	Baseadas em propriedades reológicas
Os tipos de CAP são definidos com base na penetração	Os tipos de CAP são definidos com base em Graus de Desempenho (PG)
Mede-se o valor da propriedade a uma temperatura fixa de ensaio	Mede-se a temperatura do material no momento em que o ensaio afere um valor fixo da propriedade
Contempla ensaios que simulam o envelhecimento do asfalto apenas após a usinagem	Contempla ensaios que simulam o envelhecimento do asfalto após a usinagem e após efeito de um longo período (aproximadamente dez anos) do asfalto no pavimento, em serviço
Não considera a velocidade ou o tráfego, cabendo ao projetista incluir essas variáveis para seleção da melhor alternativa	Considera valores de velocidade e tráfego para ajuste do PG do CAP mais adequado
Ensaio baratos, mas que pouco contribuem para a previsão do comportamento do asfalto no pavimento	Ensaio mais robustos, que melhoram a previsibilidade do comportamento do asfalto no pavimento

Fonte: Elaboração CNT.

A compreensão dos aspectos básicos acerca da produção e das propriedades do asfalto e como elas influenciam o comportamento e o desempenho da infraestrutura rodoviária do país é essencial para se entenderem o cenário e as problemáticas atuais em torno dessa cadeia produtiva, que estão apresentados no capítulo seguinte.

3. Cenário atual

Este capítulo apresenta o cenário atual em torno da cadeia de asfaltos no Brasil. Para isso, são identificados os entes e suas responsabilidades referentes à produção, distribuição, regulação e utilização do asfalto. Em seguida, são expostos dados de caracterização e dimensionamento do setor. Outro tema abordado neste capítulo é a questão do preço desse insumo.

3.1 Cadeia logística do asfalto

Conforme apresentado no capítulo anterior, são várias as etapas desde a produção até a aplicação do CAP no pavimento. Por se tratar de um material que exige um rígido controle tecnológico e que possui potencial de causar danos socioambientais em caso de acidente, seu manuseio e os envolvidos em sua cadeia produtiva são relativamente restritos.

A cadeia de produção do asfalto abordada neste estudo engloba desde a prospecção e o refino do petróleo para a obtenção do CAP até a sua aplicação final, que possui como destino, na maioria das vezes, o pavimento das rodovias e vias urbanas do país.

O **órgão regulador** da indústria do petróleo e seus derivados é a Agência Nacional do Petróleo (ANP), instituída pela lei nº 9.478/1997, também conhecida como a Lei do Petróleo. Cabe a ela regular e fiscalizar as atividades econômicas relacionadas ao asfalto, bem como proteger os interesses dos consumidores quanto ao preço, à qualidade e à oferta desse produto.

A ANP é responsável por autorizar o refino, o processamento, o transporte, a importação e a exportação do asfalto, além de especificar sua qualidade. O órgão também é responsável por fiscalizar e aplicar as sanções devidas em caso de descumprimento de lei, regulamento ou contrato.

Outro aspecto relevante é estabelecido pelo decreto nº 2.455/1998, segundo o qual a atuação da ANP deve ser no sentido de dirimir as divergências entre os agentes econômicos e entre eles e os consumidores do produto, que, no caso, são as construtoras, as concessionárias ou o próprio governo.

No âmbito do **fornecedor**, a Constituição Federal do Brasil, de 1988, em seu artigo 177, estabeleceu como monopólio da União: a **pesquisa** e a **lavra** de jazidas de petróleo; a **refinação** do petróleo nacional ou estrangeiro; a **importação** e a **exportação** dos produtos resultantes das atividades de refinação; e o **transporte** de petróleo bruto ou seus derivados por meio **marítimo** ou de **duto**s. Coube à Petrobras, sociedade de economia mista sob controle acionário da União, criada em 1953, exercer esse monopólio. Entretanto, a emenda constitucional nº 9, de 1995, possibilitou o fim desse regime por meio da inclusão do parágrafo 1º ao artigo 177, que estabelece que a União fica autorizada a contratar com empresas estatais ou privadas a realização dessas atividades, desde que observadas as condições estabelecidas em lei.

A lei que estabelece tais condições é a mesma que criou a ANP - a lei nº 9.478/1997. Em seu art. 5º, fica estabelecido que essas atividades serão reguladas e fiscalizadas pela União e poderão ser exercidas por empresas constituídas sob as leis brasileiras, com sede e administração no país, mediante concessão, autorização ou contratação. Apesar do fim legal desse monopólio, a Petrobras ainda é a única produtora/fornecedora nacional desse produto.

É verdade que, nessa etapa da cadeia produtiva, existe a possibilidade de importação do CAP. No entanto, essa alternativa possui pouca representatividade no volume total consumido desse material (por motivos que serão expostos na seção 4.2).

Os requisitos necessários para que uma empresa possa exercer a atividade de **importação** de asfalto, bem como a regulamentação dessa atividade são dispostos na resolução ANP nº 3, de 2005. A importação de asfalto consiste na aquisição e comercialização de produto importado, que devem estar em conformidade com as especificações brasileiras (dispostas na resolução ANP nº 19, de 2005, no caso do CAP). O importador somente poderá comercializar o produto com produtores, distribuidores e importadores, todos devidamente autorizados pela ANP, ou com o consumidor final, que, geralmente, é uma construtora.

A próxima etapa da cadeia produtiva consiste na distribuição do asfalto e de produtos betuminosos. Um **distribuidor** de asfalto deve atender aos requisitos estabelecidos pela resolução ANP nº 2, de 2005. Segundo essa resolução, a atividade de **distribuição** compreende a **aquisição**, o **armazenamento**, o **transporte**, a **aditivização**, a **industrialização**, a **mistura**, a **comercialização** e o **controle de qualidade** do asfalto, bem como a **assistência técnica** ao consumidor.

Segundo essa resolução, o distribuidor somente pode adquirir asfalto de produtor nacional, importador ou outro distribuidor. Caso ele também possua autorização para atuar como importador, o material poderá ser adquirido diretamente no mercado externo.

A concessão da autorização para atuar como distribuidor depende também da comprovação de que a empresa possui pelo menos uma base de asfaltos - que pode ser de uso exclusivo, própria ou arrendada - com instalações de armazenamento e distribuição, licenciada pelo órgão ambiental competente e autorizada pela ANP a operar.

A emissão de autorização pela ANP para operação de uma base de asfalto é regulada pela resolução nº 42/2011. Uma base de asfalto consiste em uma instalação autorizada, onde ocorre o recebimento, o armazenamento e a expedição do material betuminoso. Tanques, tubulações, equipamentos, sistema de combate a incêndio, sistema elétrico, plataforma de carregamento e descarregamento, vias internas de circulação e demais edificações são alguns dos elementos constituintes de uma instalação. Ressalta-se que é proibida a operação de base que esteja com licença ambiental de operação ou com o Certificado de Corpo de Bombeiros não válidos.

Para a realização do transporte do asfalto, a resolução ANP nº 2/2005 estabelece que a empresa distribuidora deve possuir caminhões-tanque e carretas-tanque - próprios, afretados ou arrendados - de destinação exclusiva para o transporte de asfaltos e materiais betuminosos, devidamente licenciados pelo órgão competente e que atenda às normas de segurança de transporte de produtos perigosos¹³.

O órgão responsável por regular e fiscalizar o transporte de produtos perigosos por rodovias é a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), por meio das resoluções nº 3.665/2011¹⁴ e nº 5.232/2016. Essas resoluções dispõem sobre os cuidados necessários para a realização do transporte, a documentação necessária, os deveres, as obrigações e as responsabilidades do transportador, bem como as infrações aplicáveis.

O processo de aditivção, industrialização e mistura do asfalto, que pode ser realizado pelo distribuidor, consiste na adição de substâncias, tais como polímeros, água, pó de borracha, entre outras, que visam a conferir diferentes propriedades ao material. Assim, para cada um dos produtos finais desses processos, há uma resolução da ANP com as especificações técnicas que devem ser cumpridas. Algumas dessas resoluções são listadas a seguir:

- Resolução ANP nº 30/2007 - Estabelece as especificações dos asfaltos diluídos de petróleo (ADP);
- Resolução ANP nº 39/2008 - Estabelece a especificação dos CAPs modificados por borracha moída de pneus, conhecidos como asfaltos-borracha;
- Resolução ANP nº 32/2010 - Estabelece as especificações dos CAPs modificados por polímeros elastoméricos;
- Resolução ANP nº 36/2012 - Estabelece as especificações das emulsões asfálticas para pavimentação e as emulsões asfálticas catiônicas modificadas por polímeros elastoméricos.

Para controle da qualidade e devida assistência técnica, o distribuidor deve dispor de laboratório próprio, ou contrato com laboratório especializado, devidamente equipado e capaz de atender a todos os métodos de ensaio constantes nas especificações brasileiras para o asfalto e demais materiais betuminosos.

O **consumidor final** do asfalto, no contexto deste estudo, geralmente é o governo (ou a empresa por ele contratada) ou são as concessionárias de rodovias. No âmbito governamental, a aquisição do asfalto é feita em todas as esferas - federal, estadual e municipal -, uma vez que todas devem realizar a gestão, construção e manutenção da malha rodoviária sob sua jurisdição. No governo federal, responsável por mais de 65 mil km de malha rodoviária pavimentada, o órgão responsável por executar esses serviços é o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

13. Um produto é considerado perigoso quando representa risco para a saúde das pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente.

14. Uma nova resolução da ANTT, a nº 5.848, de 25 de junho de 2019, atualiza o regulamento para o transporte rodoviário de produtos perigosos, e revogará a resolução nº 3.665/2011 180 dias após a sua publicação.

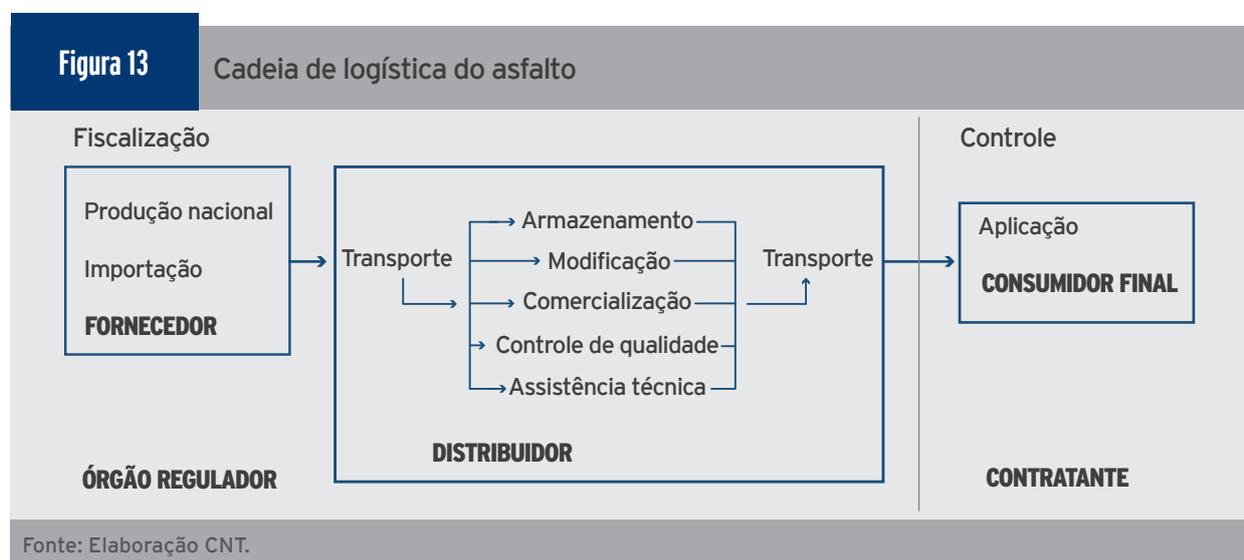
De forma geral, as intervenções de manutenção e expansão da malha, principais serviços consumidores do CAP, são feitas por meio de contratações realizadas pelo órgão. Assim, quem de fato adquire, controla a qualidade e emprega o asfalto no pavimento são as empreiteiras contratadas pelo DNIT por meio das licitações. Existe por parte do órgão uma fiscalização para garantir que as condições contratadas estejam sendo cumpridas. Isso é feito tanto pelas superintendências regionais, quanto por uma segunda empresa, contratada especificamente para apoio na supervisão e fiscalização da obra.

No âmbito das concessionárias de rodovias, há obrigações contratuais quanto à manutenção e, em alguns casos, expansão da capacidade da rodovia (como duplicações), serviços que também consomem CAP. Nesse caso, as próprias concessionárias são as responsáveis por assegurar a qualidade e a execução do serviço, sendo, geralmente, as compradoras diretas desse insumo. Como no caso dos contratos das concessões deve-se manter determinado nível de serviço, independentemente da quantidade das intervenções necessárias para isso, existe um grande interesse da própria concessionária de que o serviço possua a maior durabilidade possível. Assim, verifica-se uma grande preocupação em torno da qualidade e do desempenho do material adquirido, bem como pela busca de soluções de pavimentação mais eficientes.

Os atores envolvidos na cadeia de produção do asfalto e os principais normativos que regem a atividade de cada um estão esquematizados no Quadro 02. A Figura 13, por sua vez, apresenta como ocorre o relacionamento entre eles.

Quadro 02 Atores e principais dispositivos legais da cadeia produtiva do asfalto		
ANP Lei do Petróleo (Lei nº 9.478/1997), decreto nº 2.455/1998		Governo ou Concessionária Construtora
Refinaria (Petrobras ou importador)	Distribuidor	
Lei nº 2.004/1953 - Revogada pela lei nº 9.478/1997 (Petrobras) Resolução ANP nº 3/2005 (Importador)	Resolução ANP nº 2/2005	Contrato

Fonte: Elaboração CNT.



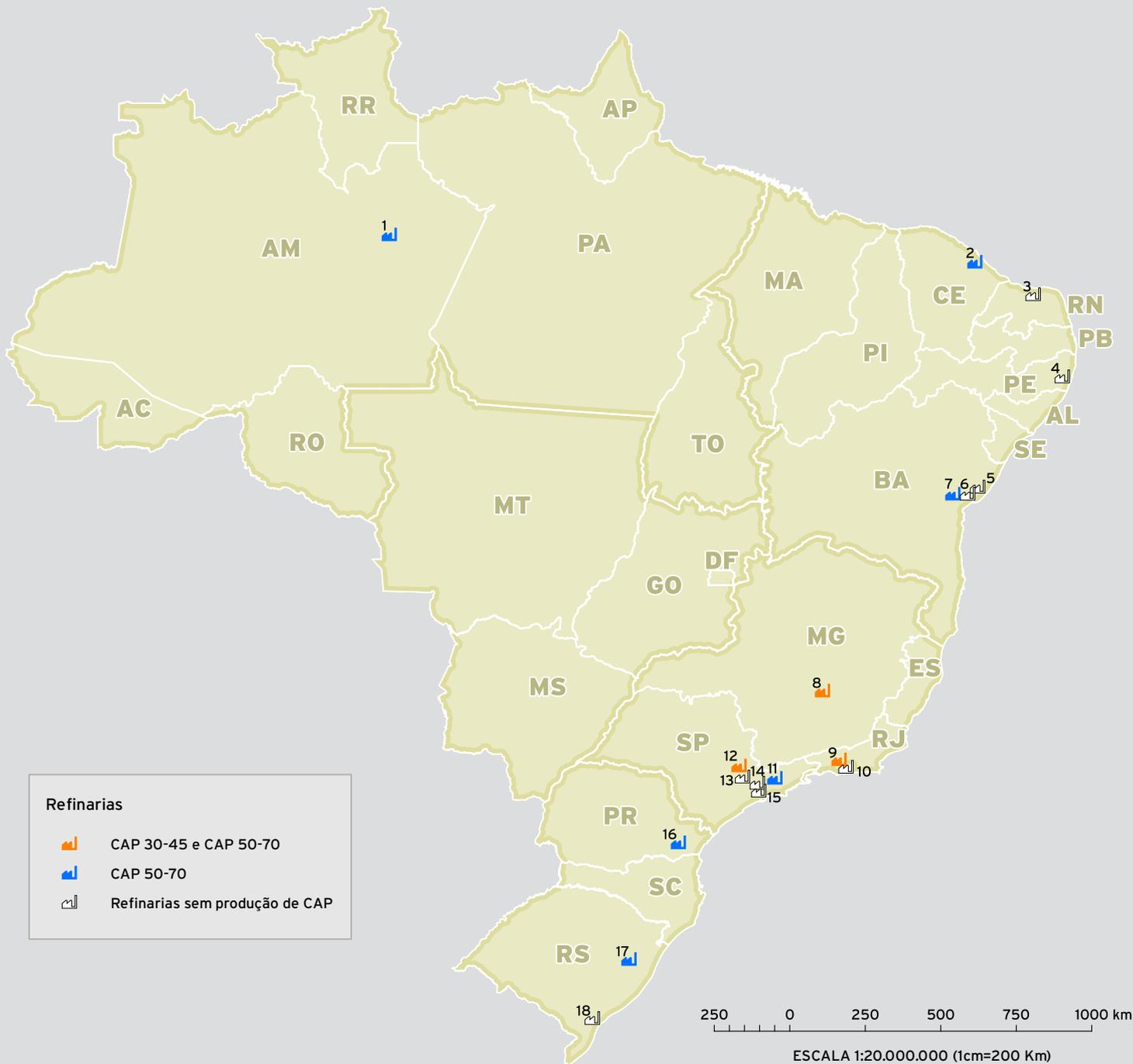
3.2 Caracterização do mercado de asfalto

Segundo a Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), quase 70% do total do asfalto consumido pelas construtoras brasileiras é destinado a obras rodoviárias e de infraestrutura urbana. Esse dado reforça a importância desse insumo para o setor rodoviário, bem como demonstra a importância do setor rodoviário para o mercado de asfalto. Assim, deve ser de interesse mútuo o fornecimento de um material que atenda adequadamente às necessidades do setor.

Segundo o Anuário Estatístico da ANP de 2018, o Brasil possui a oitava maior capacidade efetiva de refino de petróleo do mundo. Em 2018, foram refinados, aproximadamente, 100,6 milhões de metros cúbicos (m³) de petróleo nas 18 refinarias nacionais. Por outro lado, em apenas nove delas, todas pertencentes à Petrobras, houve produção de asfalto em 2018, a saber: Lubnor/CE, Reduc/RJ, Refap/RS, Regap/MG, Reman/AM, Repar/PR, Replan/SP, Revap/SP e Rlam/BA. A distribuição dessas refinarias no território nacional é representada na Figura 14.



Figura 14 | Localização das refinarias - 2018

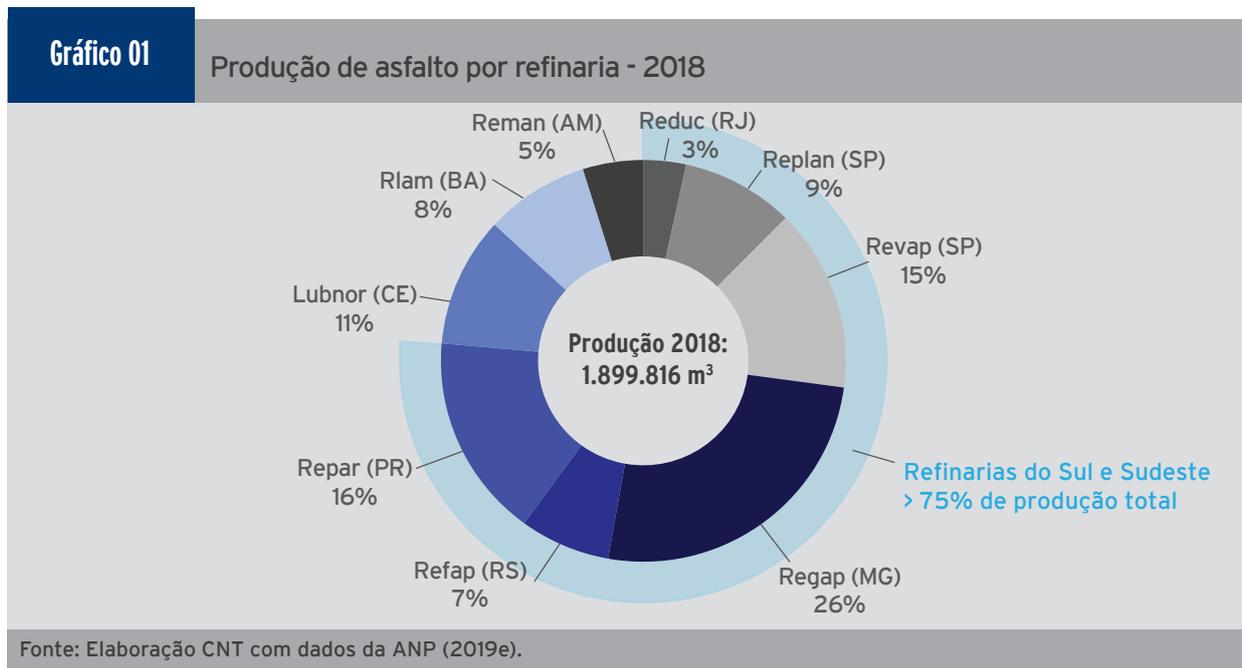


Legenda	Sigla	Nome da Refinaria	UF
1	Reman	Refinaria Isaac Sabbá	AM
2	Lubnor	Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste	CE
3	RPCC	Refinaria Potiguar Clara Camarão	RN
4	Rnest	Refinaria Abreu e Lima	PE
5	Dax Oil	Dax Oil Refino S.A.	BA
6	FASF	Refinaria Landulpho Alves Fábrica de Asfalto	BA
7	Rlam	Refinaria Landulpho Alves	BA
8	Regap	Refinaria Gabriel Passos	MG
9	Reduc	Refinaria Duque de Caxias	RJ
10	Manguinhos	Refinaria de Petróleos de Manguinhos S.A.	RJ
11	Revap	Refinaria Henrique Lage	SP
12	Replan	Refinaria de Paulínia	SP
13	Univen	Univen Refinaria de Petróleo Ltda.	SP
14	Recap	Refinaria de Capuava	SP
15	RPBC	Refinaria Presidente Bernardes	SP
16	Repar	Refinaria Presidente Getúlio Vargas	PR
17	Refap	Refinaria Alberto Pasqualini S.A.	RS
18	Riograndense	Refinaria de Petróleo Riograndense S.A.	RS

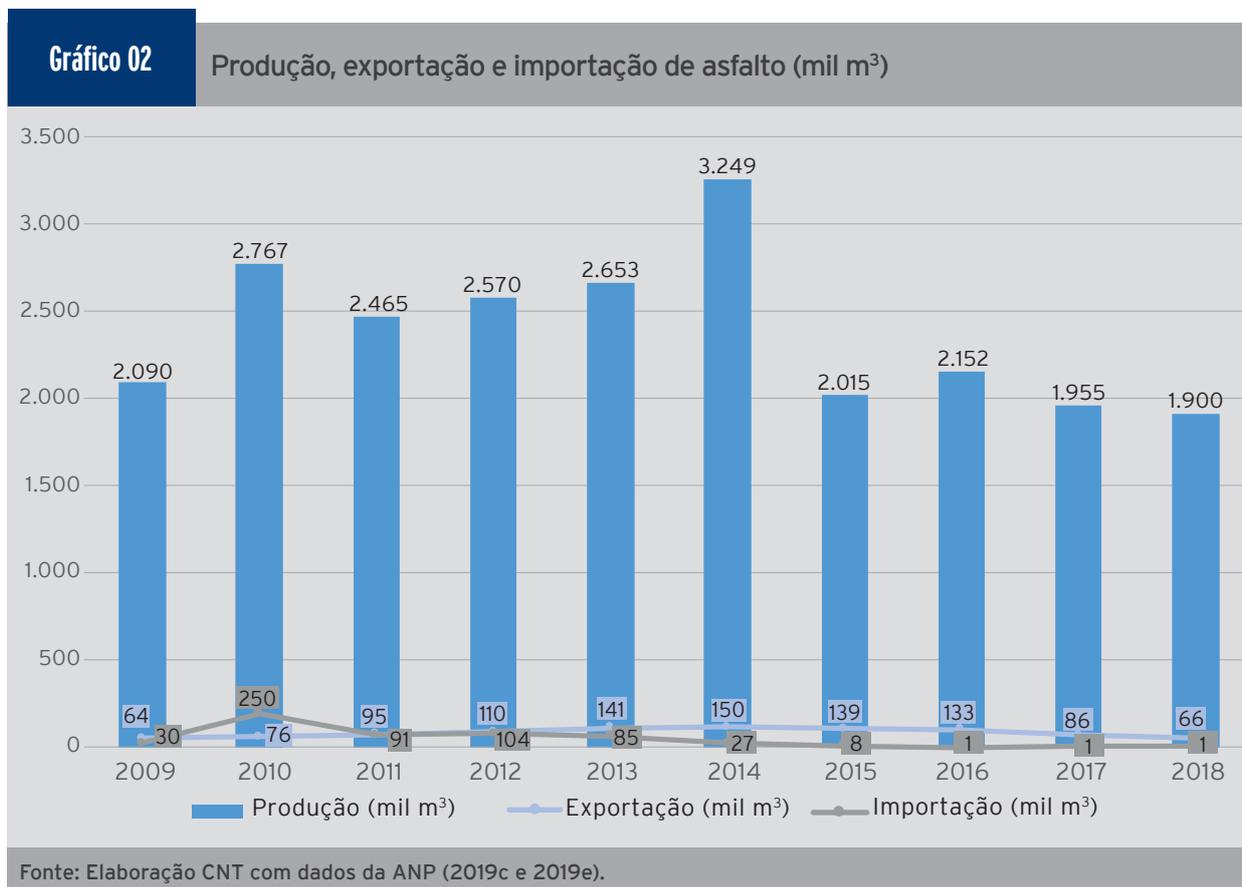
Nota: A FASF (BA) é uma fábrica de asfalto da Refinaria Landulpho Alves (Rlam), com capacidade de refino própria, especificado no Anuário Estatístico da ANP de 2018.

Fonte: Elaboração CNT com dados da ANP (2019a).

O volume de asfalto produzido por refinaria é representado no Gráfico 01 e totaliza, aproximadamente, 1,9 milhão de m³ - o que representa menos de 2% do volume de petróleo refinado. Consta-se, ainda, que as refinarias do Sul e do Sudeste concentraram mais de 75% do volume de asfalto produzido em 2018.

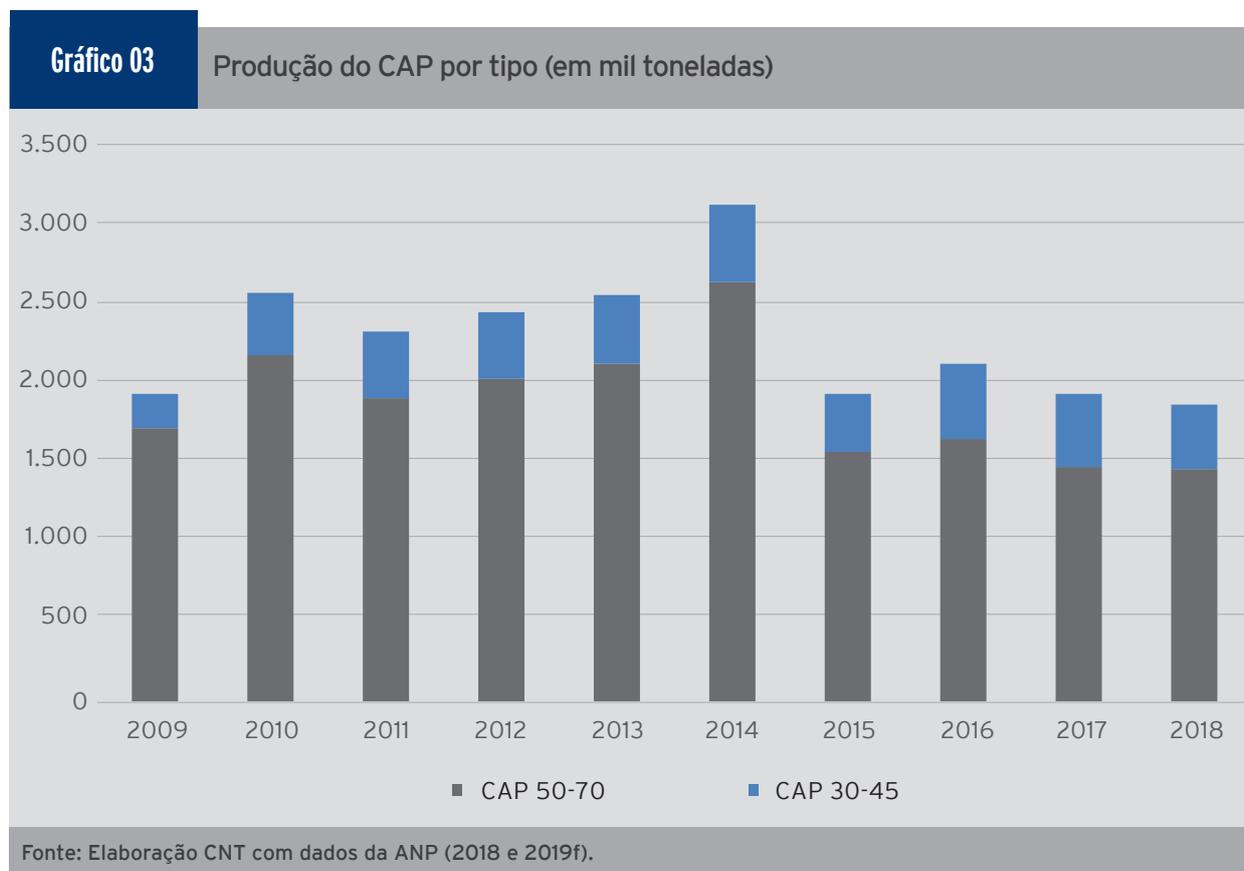


O Gráfico 02, por sua vez, ilustra o histórico da produção de asfalto, bem como os volumes importados e exportados. Evidencia-se a baixa representatividade do volume de asfalto importado no abastecimento do mercado interno. Em 2018, esse volume foi de apenas 1,2 mil m³, o que corresponde a menos de 0,1% da produção nacional naquele ano.

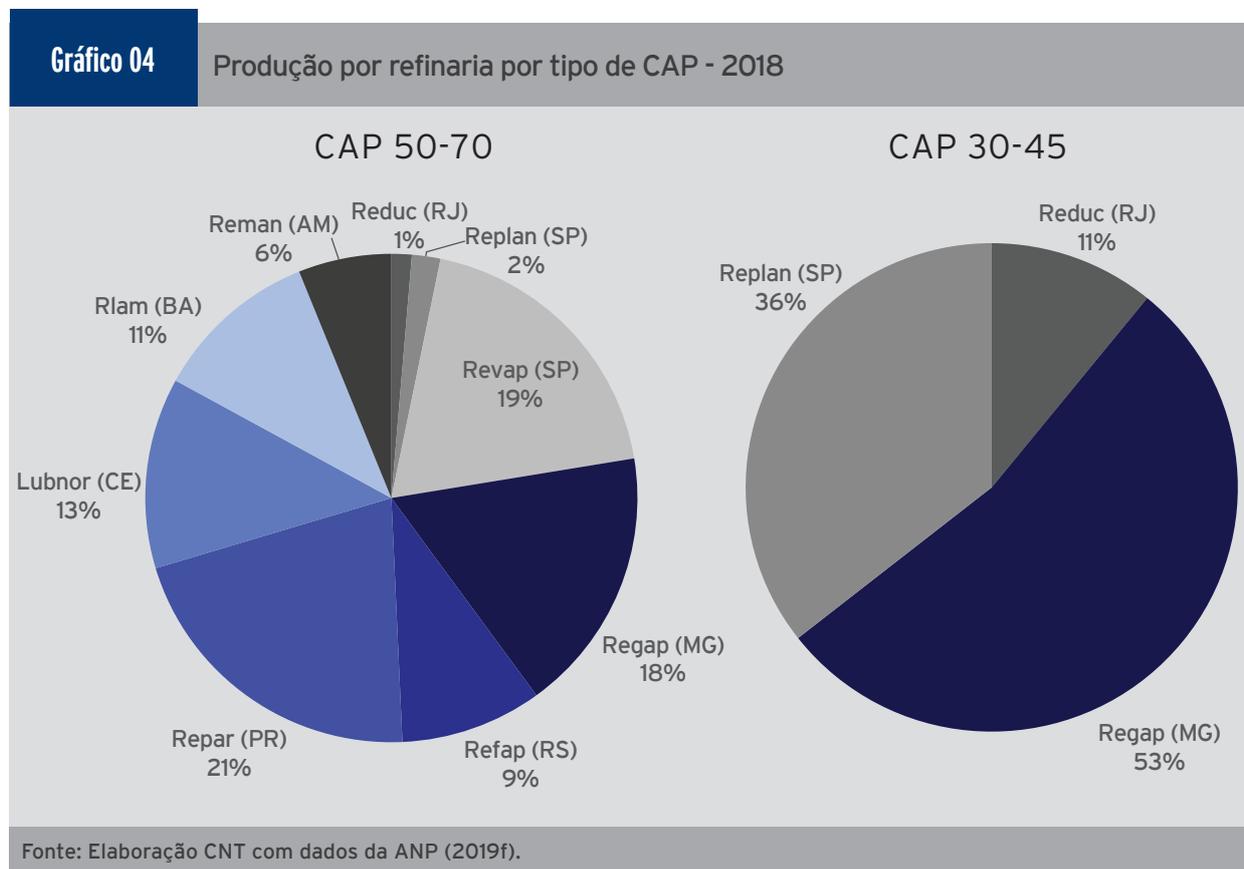


Percebe-se também uma grande variação anual do volume de asfalto produzido, o que está diretamente associado à demanda interna por esse produto, e, por isso, pode ser explicado principalmente pela quantidade de obras no país, uma vez que constitui um dos principais insumos dessa atividade. A produção anual de asfalto pode ser considerada um termômetro do desempenho econômico do país. Quanto mais se investe em infraestrutura no país, maiores serão os volumes de asfalto consumidos. Verifica-se, assim, um pico no consumo do asfalto em 2014, quando houve um grande volume de obras do governo federal, além de coincidir com o ano de disputa eleitoral.

Considerando ainda que os dois principais tipos de CAP aplicados na pavimentação são os CAP 50-70 e CAP 30-45, o Gráfico 03 apresenta dos dados de produção, em toneladas, por tipo de CAP.



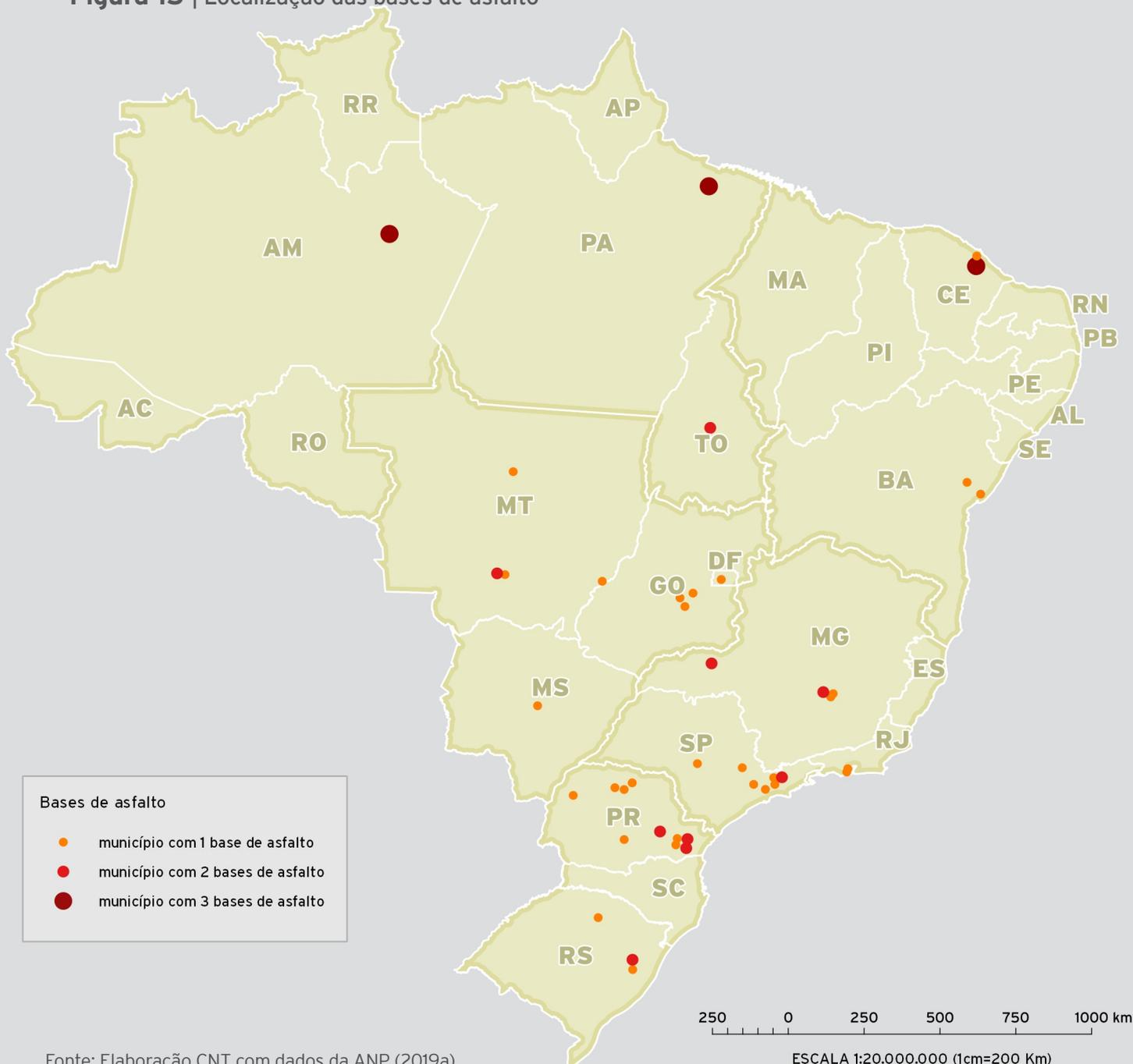
A produção de CAP 50-70 é superior à produção do CAP 30-45 em todos os anos representados. A distribuição dessa produção, por refinaria, é apresentada no Gráfico 04. Destaca-se que apenas três refinarias produzem o CAP 30-45 e estão concentradas na região Sudeste. Isso pode ter impacto na disponibilidade desse material para as obras rodoviárias do país, bem como nos projetos dessas obras, uma vez que devem ser ajustados para que utilizem apenas o tipo de insumo disponível.



Os consumidores finais do asfalto têm acesso a essa produção de CAP por meio dos distribuidores, conforme explicado na seção anterior. Na data de consulta para esse estudo, havia 29 distribuidores de asfalto autorizados.

Segundo o normativo aplicável, cada distribuidor deve possuir pelo menos uma base de asfalto, que consiste na instalação autorizada, onde ocorre o recebimento, o armazenamento, a industrialização e a expedição do material betuminoso. A lista de bases de asfalto autorizadas pela ANP, por sua vez, relaciona 57 estabelecimentos, cuja dispersão pelo território nacional está representada na Figura 15.

Figura 15 | Localização das bases de asfalto



Fonte: Elaboração CNT com dados da ANP (2019a).

A elevada concentração da produção de asfalto nas refinarias das regiões Sul e Sudeste pode implicar uma menor oferta do produto para as demais regiões do país ou um aumento do custo para que o insumo chegue até as distribuidoras mais distantes, refletindo, também, no custo final do produto para o consumidor.

Por fim, é necessário destacar a importância de que esse material, quando produzido e distribuído, esteja em conformidade com as especificações técnicas e que sejam manuseados e acondicionados da forma correta. A ANP é o órgão responsável por realizar essa fiscalização. Segundo informado pela própria agência, atualmente não são realizadas coletas de amostra de asfalto para aferição de suas especificações, pois a ANP não dispõe

de laboratório equipado para essa modalidade¹⁵ e também não terceiriza a realização dos testes. Isso significa que o órgão regulador e fiscalizador do setor atualmente não possui capacidade técnica de atestar a qualidade do CAP produzido e comercializado no mercado nacional.

Nesse contexto, a Petrobras deve emitir um Certificado de Qualidade, no qual garante todas as propriedades do asfalto carregado, conforme especificado na resolução da ANP. As especificações são aferidas logo após o término da sua produção. Em seguida, o produto ainda passa pelo tanque de estocagem para, depois, alimentar as estações de carregamento. Esses certificados são encaminhados para a agência reguladora, mas apenas para fins de registro, uma vez que não há conferência adicional ou qualquer impeditivo para a comercialização do produto previamente à análise da agência.

No caso de asfaltos modificados, o Certificado de Qualidade do produto é emitido pelos distribuidores, responsáveis pela sua modificação e comercialização. Ressalta-se que, quando um distribuidor adquire CAP convencional das refinarias e o revende sem quaisquer alterações no produto, ou seja, o revende como CAP convencional (30-45 ou 50-70), o Certificado de Qualidade válido é aquele emitido pela Petrobras. Nesse caso, não houve qualquer tipo de manipulação pelo distribuidor, que apenas executa o transporte entre a refinaria e o consumidor final. No entanto, o distribuidor permanece responsável pela assistência técnica pós-venda.

Quanto à fiscalização referente à autorização para manuseio e acondicionamento desse material, em 2018, foram realizadas 29 ações de fiscalização em distribuidores de asfalto. Como resultado dessas ações, foram emitidos três autos de infração, dois autos de interdição e dois autos de apreensão. As causas das infrações foram: construção ou operação de instalação sem autorização; não cumprimento de notificação; e não apresentação de documento de outorga.

3.3 Precificação do asfalto

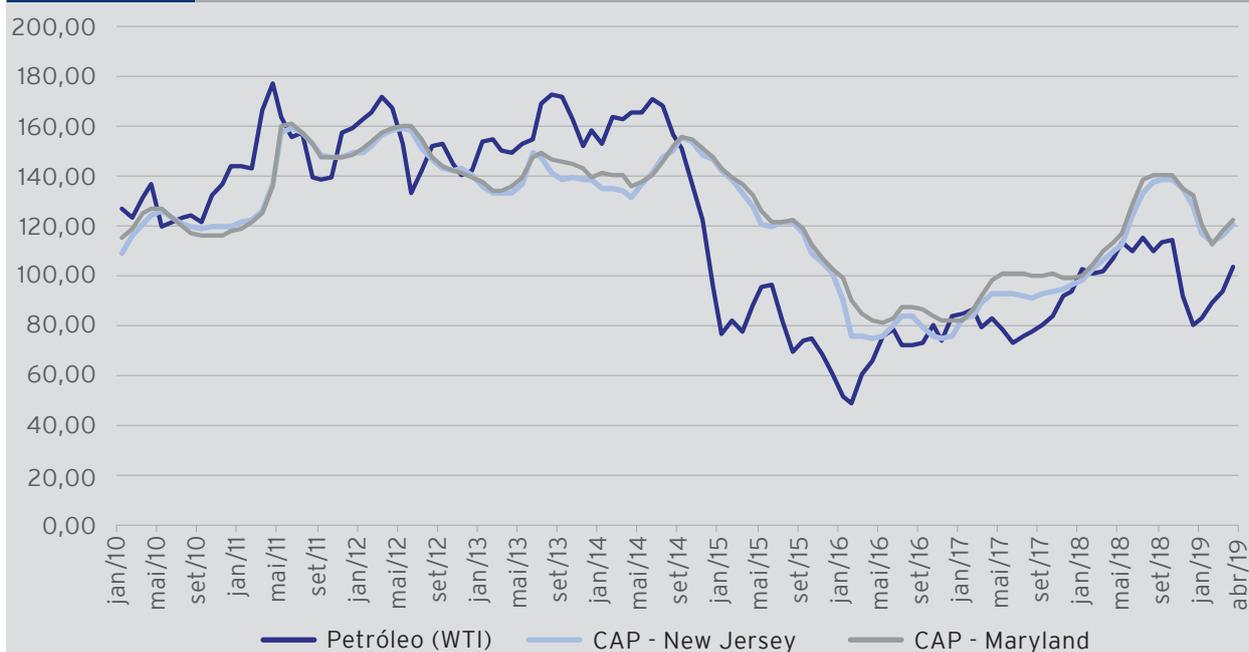
Conforme já abordado, o preço do asfalto é influenciado pela distância entre as refinarias e os distribuidores, entre os distribuidores e os consumidores finais, e entre as refinarias e os consumidores finais. Além desse aspecto previsível, esse insumo vem sofrendo aumentos significativos desde o final de 2014, resultado de diferentes políticas de reajustamento de preços adotada pela Petrobras e da volatilidade do mercado internacional do petróleo.

Nos países em que há concorrência na produção e no refino de derivados de petróleo, os preços do CAP tendem, naturalmente, a acompanhar as cotações da sua principal matéria-prima. Os Estados Unidos são um exemplo onde essa dinâmica de mercado ocorre, conforme ilustra o Gráfico 05, que mostra a evolução dos preços do petróleo e do CAP no país, nos últimos dez anos.

15. Segundo informado pela agência, os laboratórios da ANP realizam apenas análises de combustíveis líquidos e de petróleo.

Gráfico 05

Evolução da cotação do barril de petróleo e do preço do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) nos EUA - Número Índice



Nota: Para elaboração desse gráfico, foi utilizado como referência o preço médio de cada produto no ano de 2009, representado pelo valor 100. O valor dos demais períodos representa a variação relativa entre o preço do período e o valor de referência.
 Fonte: Elaboração CNT com dados do FRED (2019), *State of New Jersey* (2019) e *The Maryland Asphalt Association, Inc* (2019).

No Brasil, ao contrário da dinâmica americana, não há concorrência no refino de derivados de petróleo, sendo a Petrobras praticamente monopolista¹⁶ nesse mercado¹⁷. Pelo fato de a empresa ser uma sociedade de economia mista, a precificação do CAP no país (e dos outros derivados) mostra-se sujeita a interferências do governo federal, sua principal acionista.

O Gráfico 06 permite analisar a evolução dos preços do asfalto praticados pelas refinarias brasileiras desde 2013. Antes de novembro de 2014, o preço do CAP era mantido praticamente estável, mesmo que, para isso, fossem utilizados mecanismos artificiais, tais como subsídios ou aportes do governo federal. A partir de novembro de 2014, é possível verificar algumas variações pontuais de preço, até 2016, e um aumento mais acentuado a partir de meados de 2017.

Os reajustes aplicados entre 2014 e 2016 foram justificados pela Petrobras como sendo decorrentes de parâmetros internos da companhia, porém, sem detalhamento da metodologia adotada. Além disso, esclareceu, à época, que o preço do asfalto não teria relação direta com o preço do petróleo por possuir nuances específicas do segmento, como condições climáticas e demandas das obras de infraestrutura.

A partir de 2017, a empresa informou que os reajustes nos preços do CAP eram decorrentes

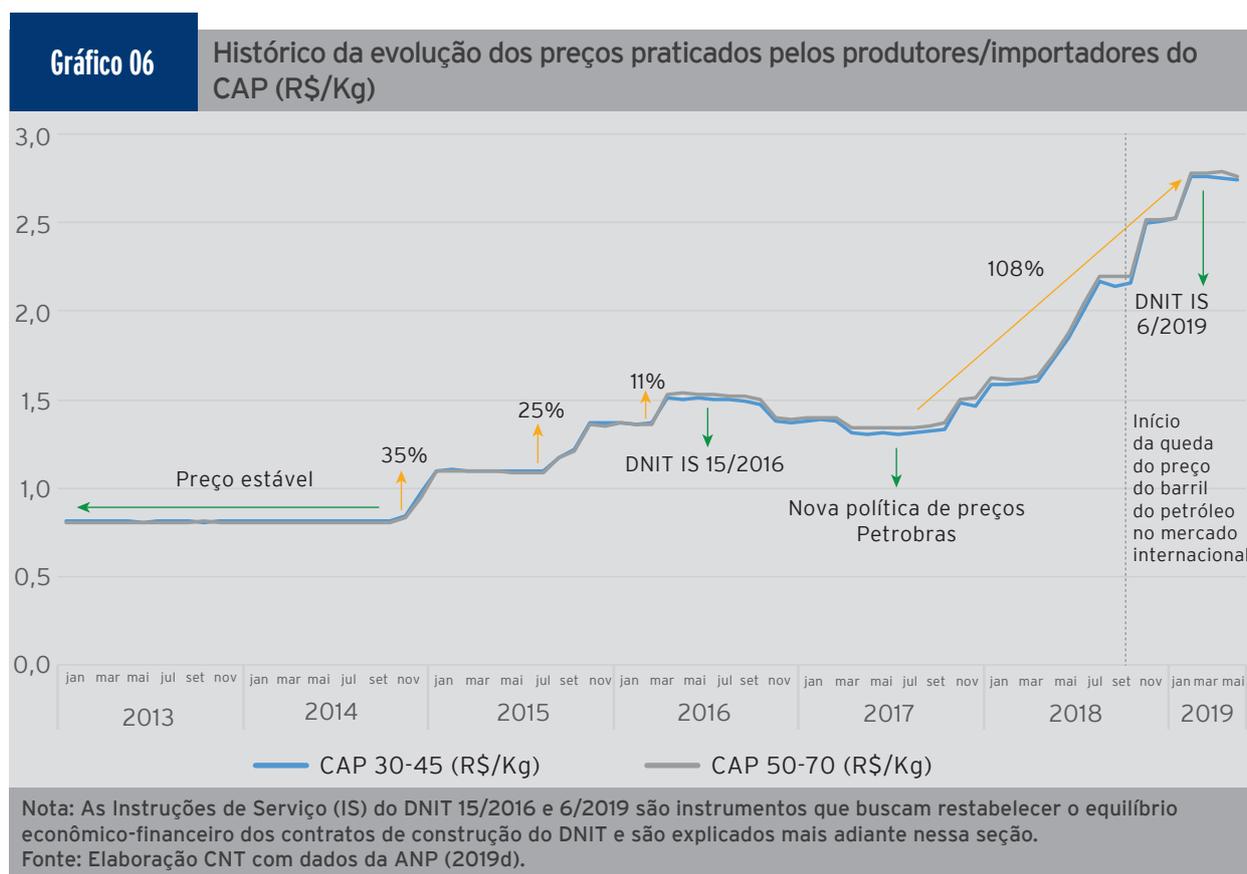
16. As refinarias da Petrobras respondem por 98,2% da capacidade total de refino.

17. A teoria econômica propõe que, nesse cenário, a boa regulação é fundamental para o investimento que, por sua vez, é essencial para o crescimento econômico. O monopólio, apesar de não ser por si só um problema, gera a necessidade de maior regulação do governo e de uma agência reguladora para evitar essa falha de mercado, em que o único fornecedor disponível pode criar suas próprias regras de preço e impor ao mercado consumidor o ônus de suas ineficiências.

da recomposição das perdas acumuladas durante o período em que o preço do produto foi mantido estável. Além disso, uma vez superada essa defasagem, os preços do asfalto passariam a acompanhar as variações cambiais e do barril de petróleo no mercado internacional, conforme nova política de preços da empresa, anunciada em julho de 2017. O primeiro impacto disso para o setor da construção civil foi sentido em novembro de 2017, quando o preço do CAP subiu mais de 10% em um único mês.

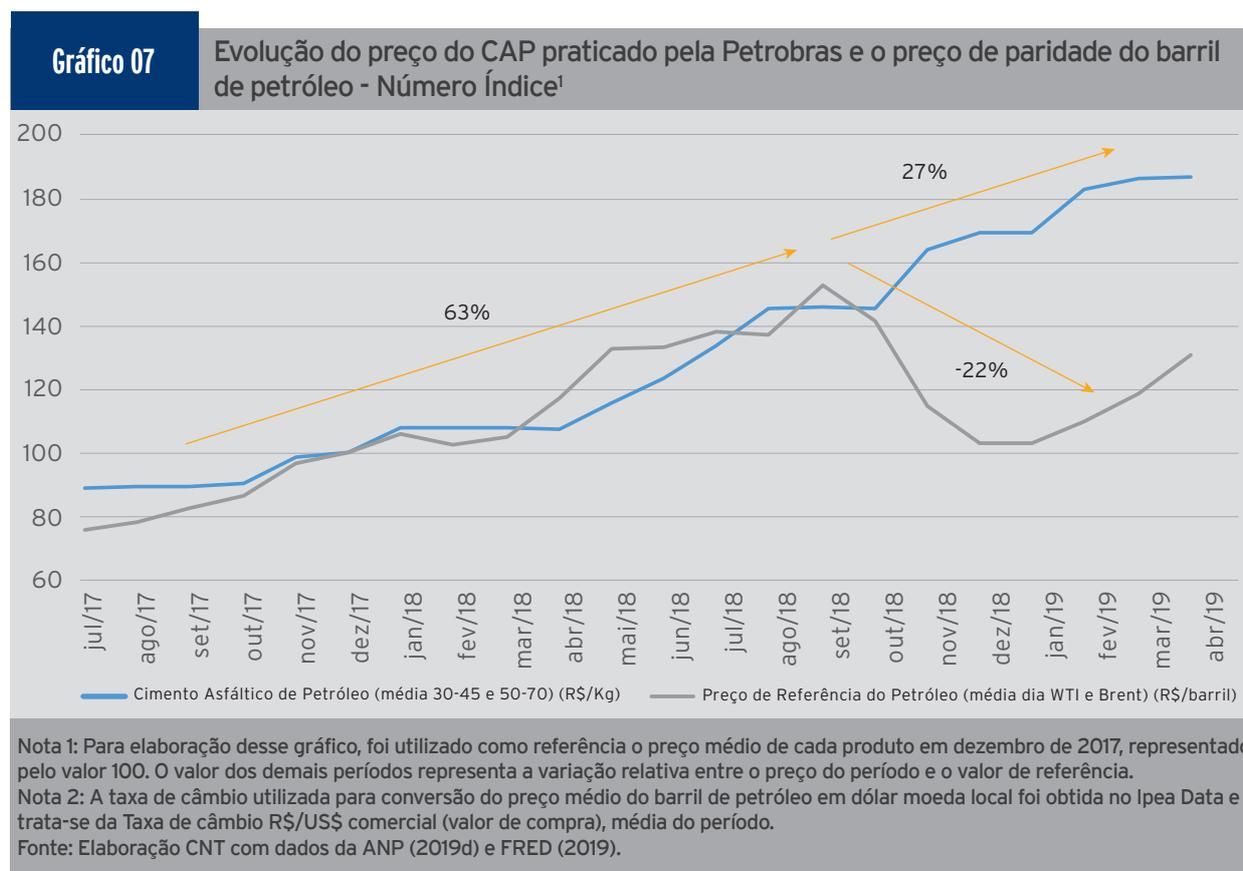
Após esse primeiro aumento, a empresa anunciou que os reajustes ocorreriam mensalmente, variando entre 8% e 12%, até que tal defasagem do preço fosse superada. Esses aumentos tiveram um impacto no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos das obras rodoviárias públicas e das concessionárias de rodovias. Para dar tempo às negociações referentes a esse impacto, entre os meses de fevereiro e abril de 2018, as construtoras e concessionárias teriam negociado com a Petrobras uma trégua no aumento dos preços.

Com o fim do prazo de três meses, a política de reajustes mensais foi retomada, perdurando até agosto de 2018, quando, diante de novos apelos das construtoras, uma nova proposta foi feita pela Petrobras para que os reajustes fossem realizados trimestralmente.



O Gráfico 07 apresenta (em número índice) a variação do preço do CAP e do preço de referência do petróleo no mercado internacional, após anúncio da nova política de preços da Petrobras. Vale notar que, entre setembro de 2017 e outubro de 2018, os preços do CAP, em R\$/Kg, aumentaram cerca de 63%, passando de R\$ 1,33 para R\$ 2,18, montante similar ao aumento verificado do preço do barril do petróleo em moeda local no mesmo período (ainda acompanhando as variações do mercado internacional).

Contudo, nos últimos meses, mais especificamente entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, embora o preço médio de referência do barril do petróleo, em R\$, tenha caído cerca de 22,4%, os preços do CAP subiram 27%. Assim, entre setembro de 2017 e fevereiro de 2019, os preços do CAP no Brasil acumularam alta de 108% (passando de cerca de R\$ 1,33 para R\$ 2,77), enquanto o preço do barril do petróleo, em R\$, subiu cerca de 33,3% no mesmo período. Mesmo com uma nova subida do preço do barril de petróleo, observada a partir de fevereiro de 2019, ainda se verifica uma defasagem entre os preços praticados. Esse descolamento entre os preços do CAP praticados pela Petrobras e o preço internacional do petróleo não é explicado pela empresa, o que demonstra uma falta de transparência da formação dos preços dos produtos comercializados por ela.



No entanto, há de se ressaltar que a nova política de preços da Petrobras, na qual os preços dos derivados de petróleo acompanham os preços praticados no mercado internacional, é benéfica para o mercado, visto que, quando não há interferência da estatal ou do Estado, pode ocorrer um aumento da atratividade para a entrada de concorrentes no setor de refino de petróleo.

Porém, conforme já mencionado, essas variações de preço são sentidas no equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de obras rodoviárias, sejam eles do DNIT, sejam presentes nas obrigações das concessões rodoviárias.

No âmbito das obras contratadas pelo DNIT, geralmente há previsão de reajustes anuais, o que não tem se mostrado suficiente frente aos reajustes do preço do CAP. Visando a recompor o equilíbrio dos contratos impactados após novembro de 2014, foi editada a

Instrução de Serviço (IS) nº 15/2016. Esse normativo prevê o reajuste dos contratos nos casos em que o impacto financeiro decorrente dos reajustes do preço do asfalto for superior ao lucro operacional do período considerado desequilibrado, limitado a dois termos aditivos por ano.

Assim, criou-se um impasse entre o DNIT e as construtoras, com o argumento de que tal normativo não era suficiente para absorver o impacto dos frequentes reajustes praticados. As construtoras entraram na justiça, buscando a garantia do equilíbrio dos contratos e alertando para o risco de paralisação das obras, caso não fosse definida uma nova solução.

Como resultado, em março de 2019, o DNIT editou uma nova Instrução de Serviço (IS) nº 6/2019, que estabelece novos procedimentos e critérios para o reequilíbrio econômico-financeiro dos contratos decorrentes da variação dos custos de aquisição de materiais asfálticos, especificamente. Esse novo normativo estabelece uma metodologia para o cálculo do ressarcimento ou estorno do contrato, conforme for o caso, devido à variação do preço do asfalto. Novamente, o reequilíbrio será realizado por meio de termo aditivo e poderá ser realizado em períodos mínimos de quatro meses.

Essa IS apenas poderá ser aplicada para casos a partir de janeiro de 2019. Para os casos anteriores, fica mantida a aplicação da IS nº 15/2016. Apesar de ainda não possuir uma análise prévia do seu impacto, o órgão considera que ela solucionará os problemas de reequilíbrio dos contratos. Na mesma linha, a Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias (Aneor) também considera que tal medida atenderá às demandas do setor.

Por outro lado, persiste uma preocupação para as empreiteiras, que diz respeito ao fato de essa IS considerar apenas os desequilíbrios decorrentes dos reajustes a partir de 2019, não restituindo as perdas anteriores. Para solucionar essa defasagem, existe uma ação civil pública, em que as empresas solicitam a recomposição do equilíbrio dos contratos desde o anúncio da nova política de preços adotada pela Petrobras, a partir de janeiro de 2018. Por meio desse recurso, as construtoras esperam recompor pelo menos as perdas relativas a 2018, segundo informado pela Aneor.

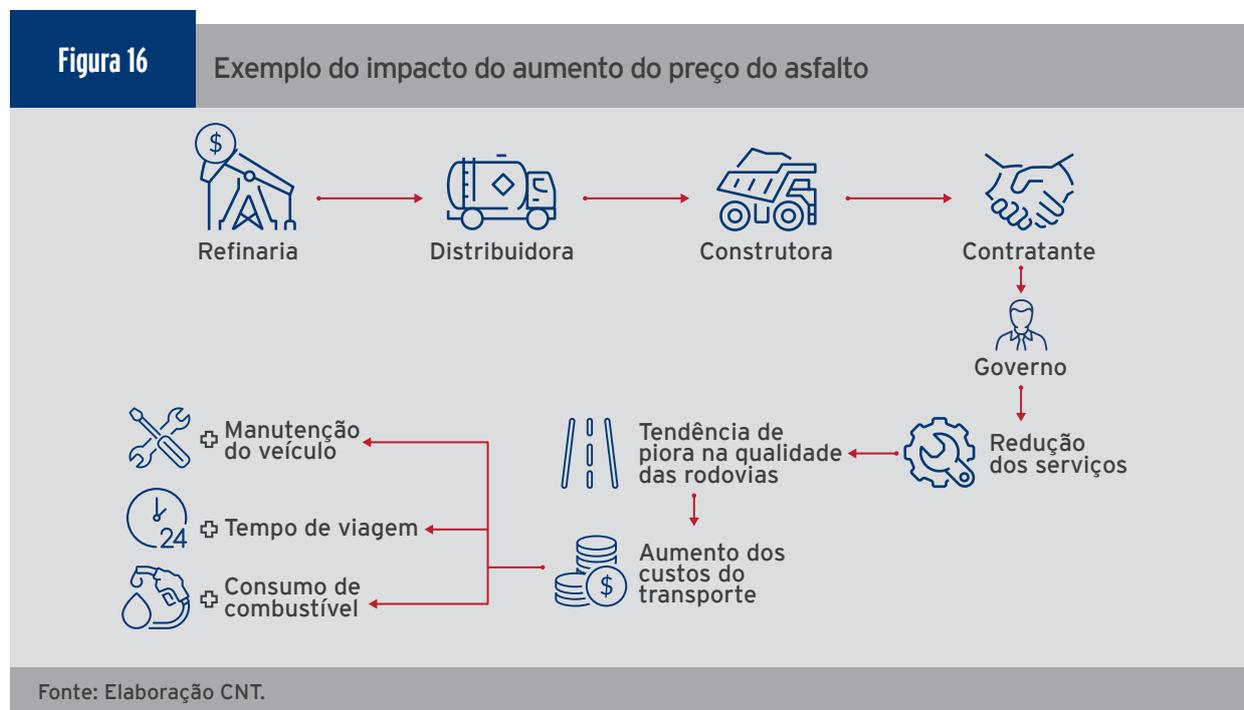
De forma associada, o DNIT também editou a IS nº 1/2019, que altera a formação do índice de reajustamento dos contratos, aplicado a cada 12 meses. Essa medida aprimora a adequação dos preços de contrato, especialmente para produtos asfálticos, que passaram a incorporar índices que antes não eram considerados.

No âmbito das concessões rodoviárias, a principal fonte de receita das empresas são as tarifas de pedágio. Via de regra, essas tarifas são reajustadas por índices de preço (IPCA ou IGPM). Porém, os aumentos do preço do CAP tornaram-se desproporcionais a esses índices. Considerando que os dois principais investimentos previstos, ao longo de toda a vida do contrato, são as obras de ampliação e manutenção da malha viária - que utilizam como matéria-prima o asfalto -, esses aumentos foram suficientes para desequilibrar os contratos de concessão.

A variação do preço do CAP acompanhando o valor do barril de petróleo no mercado internacional não foi um fato previsto pelas concessionárias, pois alterou o comportamento observado por um período superior a dez anos, no qual o preço do insumo era mantido relativamente constante. Fatos como esses poderiam ensejar a recomposição do equilíbrio econômico-financeiro do contrato das concessionárias.

De maneira geral, o que se percebe é que os aumentos de preços sucessivos do CAP têm impacto de forma direta ou indireta na sociedade, visto que, quando o preço do asfalto é ajustado pela Petrobras, as distribuidoras repassam esse valor às construtoras, que o repassam para o contratante - que pode ser o governo (federal, estadual ou municipal) ou as concessionárias de rodovias.

A Figura 16 exemplifica, no caso de uma obra pública, como o aumento dos preços do CAP afeta a todos. Quando há aumento do preço do asfalto, o valor para execução das obras de construção e manutenção rodoviária também aumenta, uma vez que esse é um dos principais insumos dessas atividades. Como consequência, a quantidade de serviços que poderão ser prestados, seja para manutenção, seja para pavimentação de novos trechos, diminui, pois o orçamento do governo é limitado. Isso tende a acarretar, de maneira geral, uma piora na qualidade das rodovias. Com rodovias em estados insatisfatórios, os transportadores e os demais usuários das vias são impactados com o aumento da necessidade de manutenção dos veículos, aumento do tempo de viagem e aumento do consumo de combustível¹⁸.



Após essa breve caracterização do setor e com o devido embasamento técnico acerca das características do asfalto, o próximo capítulo apresenta os principais problemas identificados e as suas possíveis soluções.

18. Segundo a Pesquisa CNT de Rodovias 2018, o tráfego em rodovias com infraestrutura inadequada pode levar ao desperdício de combustível de cerca de 5% do volume.

4. Principais problemas e possíveis soluções para o asfalto

Uma vez apresentado o panorama atual do mercado de asfaltos, é possível compreender melhor a dinâmica por trás dos problemas existentes. Para identificá-los, foram consultados especialistas representantes de diversas áreas relacionadas ao asfalto no contexto rodoviário, a saber: concessionárias de rodovias, DNIT, academia (universidades), ANP, Petrobras¹⁹, Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias (Aneor), distribuidores de asfalto e ANTT.

São vários os problemas em torno da atual cadeia do asfalto - os quais impactam direta ou indiretamente a qualidade da infraestrutura de transporte rodoviária, que representa o principal meio por onde são transportados cargas e passageiros no Brasil.

Por conseguinte, durante as entrevistas, também foram exploradas possíveis alterações na atual dinâmica do setor que poderiam proporcionar uma melhor qualidade do pavimento, especialmente com relação às características do ligante betuminoso utilizado.

As informações levantadas foram agrupadas, conforme apresentado na Figura 17, de forma a permitir a identificação dos principais aspectos relacionados aos problemas apontados pelos entrevistados, bem como as respectivas sugestões de melhoria.

Ao final do capítulo, são listadas algumas alternativas de materiais utilizados para melhorar o desempenho do próprio CAP, enquanto os problemas verificados não são devidamente solucionados.

Figura 17

Principais aspectos relacionados à qualidade do asfalto



Fonte: Elaboração CNT.

19. A participação da Petrobras foi realizada por meio do envio de documento por escrito, com algumas respostas às perguntas realizadas.

4.1 Especificações

O CAP comercializado no Brasil deve atender às especificações da resolução ANP nº 19, de 2005. Conforme explicado no capítulo anterior, esse normativo adota como referência propriedades empíricas do material. Dentre elas, utiliza-se como principal característica a viscosidade, medida por meio do ensaio de penetração.

As faixas de penetração adotadas usualmente para pavimentação são 30-45 e 50-70 décimos de milímetros. Especialistas consultados apontam que essas faixas são relativamente amplas - um CAP 50-70, por exemplo, pode ter sua penetração variando entre qualquer valor de 50 a 70 décimos de milímetros que se enquadrará como um mesmo tipo de asfalto. Esses valores, no entanto, seriam suficientemente distantes para impactar a correta calibração dos equipamentos de usinagem e pavimentação. Ou seja, os ajustes dos equipamentos para uma mistura asfáltica constituída por um CAP 50-70 com penetração mais próxima de 50 são diferentes daqueles com um CAP com penetração mais próxima de 70. Porém, os dois se enquadram e são comercializados como o mesmo produto.

Chama atenção também a amplitude dos intervalos aceitos para as demais propriedades estabelecidas pela norma. Por exemplo, a viscosidade Saybolt Furol medida a 177 °C admite valores entre 76 e 285 segundos para o CAP 30-45 e entre 57 e 285 segundos para o CAP 50-70.

Por outro lado, alguns entrevistados discordam que a margem aceita pela especificação atual seja um problema, uma vez que é natural qualquer produto apresentar uma variação a cada lote fabricado. Além disso, os equipamentos utilizados já estariam preparados para trabalhar com essas variações.

Não obstante, essa heterogeneidade dificulta a previsão de como o material irá se comportar futuramente no pavimento. Nesse sentido, os especialistas frisam que as especificações atuais são defasadas e não satisfatórias para prever o comportamento do material na rodovia, o que é explicado, em parte, pelo empirismo das propriedades consideradas. O Brasil possui uma grande diversidade climática e de composição de tráfego. As especificações do CAP deveriam ser capazes de prever e avaliar o comportamento do asfalto sob cada uma dessas condições específicas, inclusive, após determinado período de serviço, ou seja, simulando os efeitos do tráfego e intemperismo ao longo dos anos de serviço da rodovia.

Dessa forma, as especificações brasileiras para o CAP devem ser atualizadas e modernizadas, incorporando propriedades reológicas do asfalto. O agente responsável por realizar essa atualização deve ser a ANP, no entanto, durante as entrevistas, não foi mencionada nenhuma movimentação nesse sentido.

Representantes da academia destacaram a completa adaptabilidade do Superpave para as condições de clima e tráfego verificadas no Brasil. Por ser baseado em graus de

desempenho (PG), que utilizam como referência as temperaturas máxima e mínima às quais o material será submetido em campo, é possível fazer a correta seleção do ligante para qualquer região do país.

Outro problema relacionado à atual especificação é que ela prioriza ensaios mais baratos em detrimento dos mais efetivos. A despeito dos altos valores dos investimentos aplicados na realização das obras rodoviárias, opta-se por economizar no principal mecanismo de garantia da qualidade dos materiais nelas empregados, o que é um fator crítico para o bom desempenho de toda a estrutura.

A adoção de ensaios um pouco mais aprimorados, capazes de aferir características reológicas do material, e não apenas empíricas, permitiria conhecer melhor as qualidades do material e até prever seu comportamento futuro na rodovia de forma relativamente precisa.

Além disso, foi relatado que os ensaios e equipamentos adotados pela especificação Superpave não são tão mais caros ou complexos do que os já utilizados atualmente em alguns ensaios da normativa brasileira. Assim, não seriam demasiadamente complexos a adequação e o treinamento dos profissionais para realizá-los, e esse investimento inicial resultaria em um melhor desempenho futuro, menor custo de manutenção e maior durabilidade do pavimento.

Enquanto não há uma revisão completa das especificações do CAP, os entes responsáveis por garantir um bom desempenho dos materiais ligantes nas rodovias adotam estratégias diversas. Durante as entrevistas, foram identificadas algumas dessas práticas voltadas a sanar as deficiências verificadas pela aplicação da atual norma.

No âmbito das concessionárias de rodovias, os cenários identificados contemplavam desde a adoção de CAP modificado por alguma substância que melhore seu desempenho, tais como polímeros e asfalto-borracha, até normas próprias, com faixas de variação para cada propriedade mais restritas que as especificadas pela ANP.

Isso é adotado com o objetivo de evitar problemas relacionados à heterogeneidade dos produtos, que pode impactar a calibração dos equipamentos. Essa medida atende às necessidades da concessionária. Por outro lado, restringe também o rol de distribuidoras capazes de fornecer material com as especificações exigidas.

No âmbito das obras públicas, essa medida não é uma alternativa, uma vez que só pode ser exigido aquilo que está especificado na lei e nas resoluções oficiais. Assim, uma das alternativas adotadas também tem sido a utilização de CAP modificado. Contudo, a depender da forma de contratação da obra, caso seja realizada pelo Regime Diferenciado de Contratação - RDC²⁰ na forma integrada, essa decisão cabe à empresa projetista e construtora, restando pouca margem de atuação para o poder público nesse sentido.

20. O RDC integrada é uma modalidade de contratação de obras públicas em que a empresa vencedora é responsável pela elaboração do projeto de engenharia e execução da obra.

Portanto, destaca-se a importância e urgência de atualização das especificações oficiais do CAP pelo órgão competente.

O Quadro 03 consolida os principais pontos abordados nesta seção.

Quadro 03		Principais problemas do asfalto relacionados à especificação e propostas de soluções	
		Problemas	Propostas de Soluções
Especificações		<ul style="list-style-type: none"> Os intervalos adotados para cada propriedade do CAP são muito amplos; As propriedades consideradas não permitem uma boa previsão do comportamento futuro do asfalto no pavimento; As propriedades são baseadas apenas em ensaios empíricos; As classificações não são mais adequadas para atender à atual composição do tráfego das rodovias brasileiras; São priorizados ensaios baratos em detrimento dos mais efetivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Atualização e modernização das normas que especificam o CAP, adotando propriedades reológicas para caracterizá-lo; Adoção de ensaios mais precisos, capazes de prever melhor o comportamento futuro do CAP no pavimento.
		Fonte: Elaboração CNT.	

4.2 Fornecedores

Outro problema mencionado pelos especialistas foi o monopólio da produção do asfalto. Apesar de a lei admitir que outras empresas realizem o refino do petróleo, a Petrobras ainda é a única que desempenha essa atividade e fornece asfalto no país. Um dos inconvenientes decorrentes disso é o preço do insumo, pois uma maior diversidade de fornecedores no mercado pode provocar uma redução do preço, ou, ao menos, uma maior margem para negociação desse. Outros empecilhos estão relacionados à própria qualidade do material, a possíveis barreiras para atualização de normas e ao poder de controle sobre o mercado.

Muitos monopólios tendem a ser negativos para o mercado consumidor porque, devido à ausência de concorrência, os clientes ficam subordinados às ações e limitações de um único fornecedor. Ou seja, se a Petrobras decide priorizar a produção de um único tipo de cimento asfáltico, o mercado deve se ajustar à oferta. Essa situação pode ser exemplificada pela maior produção do CAP 50-70, sendo o CAP 30-45 produzido em apenas três refinarias no Sudeste do país. Isso pode implicar uma menor disponibilidade desse tipo de asfalto no mercado, fazendo com que os projetistas e construtores tenham que se adequar para utilizar o produto disponível, mesmo quando ele não for o mais indicado.

A situação de produção monopolista também tende a gerar pressões contrárias a mudanças de aprimoramento das especificações do asfalto, uma vez que isso pode resultar em custos adicionais hoje inexistentes. Adicionalmente, pode ser estabelecido um mercado não favorável para a pesquisa e o desenvolvimento, limitando o surgimento de soluções inovadoras, ecológicas e de maior custo-benefício.

A alternativa de importação do asfalto, por sua vez, é pouco representativa no Brasil, o que reforça ainda mais o domínio do mercado pela Petrobras. Um dos motivos para isso é a deficiência da infraestrutura portuária para recebimento desse material, especificamente quando importado a quente. Como os portos não possuem capacidade de tancagem adequada, são necessárias inúmeras viagens de caminhões-tanque para descarregar toda a mercadoria, tornando o processo demorado, caro e praticamente inviável. Além disso, o volume transportado de uma única vez pelas embarcações que realizam esse tipo de transporte, geralmente, é superior à demanda de um único consumidor. Por esse motivo, um pequeno volume de asfalto que é eventualmente importado ocorre a frio ou a quente em contêineres.

Além das dificuldades operacionais e logísticas listadas, mercados monopolistas favorecem o controle de preços - com conseqüente criação de barreiras artificiais de valor -, o que acaba por, eventualmente, não permitir o aumento da competição. Com a presença de mais produtores no mercado, os distribuidores e as empreiteiras teriam maior poder de barganha em relação às especificações e ao preço do produto.

O preço seria um fator ajustado de forma mais natural e coerente com o mercado, pois se equilibraria com base na oferta e demanda e no preço internacional do petróleo, sua matéria-prima. A Petrobras é uma empresa pública sob controle acionário da União e possuía histórico de controle de preços por parte do Estado, o que afugentava muitos investidores que temiam uma competição desleal. Nesse sentido, a nova política de preços divulgada pela empresa em 2017, na qual o preço do asfalto passou a ser reajustado com base nas variações do mercado internacional, é importante para fomentar a atração de novos fornecedores para o mercado brasileiro.

De modo geral, a competição é fator fundamental para promover uma melhoria contínua. Os produtores competem entre si para ganhar e fidelizar clientes e, para isso, procuram fornecer serviços melhores e produtos mais adequados às demandas identificadas. Isso também fomenta a busca por novas tecnologias, capazes de reduzir os custos da própria empresa. Dessa forma, verificam-se benefícios para todas as partes. Além disso, uma maior dispersão do controle sobre o mercado, entre diferentes produtores, dificulta a organização de medidas contrárias ao interesse público.

Recentemente, a Petrobras anunciou a venda de oito refinarias, das quais seis atualmente são produtoras de asfalto. Será necessário aguardar a concretização desse novo cenário para se observar o comportamento futuro do mercado.

Ademais, verifica-se como problemática também a existência de poucos distribuidores e usinas de asfalto. Algumas concessionárias de rodovias que adotam especificações mais rígidas para o CAP apontaram que são poucos os distribuidores capazes de atender aos padrões de qualidade exigidos. Elas também constataram que a baixa quantidade de usinas de asfalto eventualmente afeta o tempo para a entrega do material, dificultando a execução de serviços de modo tempestivo.

A desigual distribuição das bases de asfalto no território brasileiro também impacta o custo que o transporte do material representa no preço final do insumo. Em alguns casos, devido à distância entre a refinaria ou a base de asfalto até a obra, esse valor pode representar cerca de 40% do custo total do CAP. Por causa das especificidades da logística desse produto, a maioria dos distribuidores fica localizada próximo às refinarias.

De modo geral, uma maior quantidade de fornecedores no mercado, atrelada a uma fiscalização eficaz, seria capaz de fomentar a competição entre eles, que, por sua vez, buscariam melhorar a qualidade do insumo e da prestação do serviço, favorecendo o mercado e os clientes.

O Quadro 04 consolida os principais problemas e as propostas de soluções para os aspectos relacionados à quantidade de fornecedores de asfalto no mercado nacional.

Quadro 04		Principais problemas do asfalto relacionados aos fornecedores e propostas de soluções	
		Problemas	Propostas de Soluções
Fornecedores		<ul style="list-style-type: none"> Deficiência quanto à qualidade do CAP fornecido; Falta de transparência na formação dos preços do CAP; Barreiras para atualização das especificações do CAP devido à presença de poucos, mas influentes, fornecedores, que são os principais agentes que teriam que se adequar; Criação de barreiras artificiais de valor, dificultando o aumento da competição no mercado de fornecimento do CAP. 	<ul style="list-style-type: none"> Maior transparência quanto à política de preços adotada pela Petrobras; Maior quantidade de refinarias e distribuidores de asfalto; Facilitação do processo de importação.
Fonte: Elaboração CNT.			

4.3 Fiscalização

É possível apontar deficiências na fiscalização do asfalto sob dois aspectos. O primeiro consiste na fiscalização realizada pela ANP para verificação da conformidade do material comercializado. O segundo diz respeito à fiscalização já na obra, cujo ensaio é realizado pela construtora ou pelo fiscal da obra, a depender do caso.

A ANP é responsável pela fiscalização, dentre outros, do asfalto produzido nas refinarias e do asfalto industrializado pelas distribuidoras, que são comercializados a outras distribuidoras ou ao consumidor final. Atualmente, essa fiscalização não ocorre, nem mesmo de maneira amostral, pois a instituição não possui laboratório equipado para esse tipo de produto, tampouco utiliza laboratórios terceirizados. Assim, a fiscalização nesse âmbito não é apenas inadequada mas também, atualmente, é inexistente.

O único controle realizado pela agência quanto às especificações do material comercializado é por meio do Certificado de Qualidade emitido pela Petrobras, ou pelas distribuidoras,

quando há modificação do asfalto. Nesse documento, constam as especificações do CAP comercializado. A ANP realiza a conferência do documento, mas sua anuência não é requisito para a comercialização do produto. Por isso, muitas vezes, quando o certificado é analisado pela ANP, o produto já foi inclusive comercializado e utilizado.

Considera-se prioritária a solução dessa deficiência. A escassez de recursos é notória em diversas áreas da Administração Pública, no entanto, não pode ser utilizada como justificativa para o não cumprimento das obrigações do Estado.

Em resposta, a ANP citou possível convênio com a Abeda, que está em fase de preparação, para a realização de análises de asfaltos em laboratórios certificados terceirizados, que seriam mantidos pela Associação. No entanto, podem ser questionáveis a validade e efetividade dessa solução, uma vez que o órgão fiscalizador deve possuir atuação independente dos fiscalizados; e a Abeda, como representante dos distribuidores de asfalto, constitui um dos principais fiscalizados pela agência no âmbito dos asfaltos. Assim, sugere-se como alternativa a realização de convênios entre a ANP e universidades para a adequada execução dos ensaios e procedimentos de fiscalização.

Uma vez sanado esse problema, destaca-se a importância de que esses dados sejam transparentes e disponíveis. Atualmente, as informações acerca de ações pontuais de fiscalização em distribuidores de asfalto (realizadas apenas no âmbito da autorização para operar) são apresentadas de forma agregada no relatório anual da agência. Isso gera desconhecimento e desinformação acerca da real situação do mercado. Essas informações são importantes para que os agentes envolvidos na cadeia de asfalto tomem decisões mais bem embasadas e possam cobrar as autoridades responsáveis no desempenho de suas funções.

Quanto à fiscalização do material na obra, ela deve ocorrer em todas as etapas, desde o seu recebimento - para a verificação de sua conformidade antes da sua aceitação - até sua aplicação no pavimento - quando a temperatura de aplicação deve ser controlada, para que não ocorram alterações não previstas nas propriedades do asfalto.

Nas concessionárias de rodovias, verifica-se um alto rigor quanto a essa fiscalização. Por exemplo, em algumas concessionárias, os ensaios são realizados em todo carregamento de material recebido, e não apenas por amostragem. Outras ainda adotam especificações próprias, com intervalos mais restritos que os estabelecidos pela norma da ANP.

Já no âmbito do setor público, seria praticamente inviável a adoção de igual rigor. O DNIT, órgão responsável pelas obras nas rodovias públicas federais, carece de estrutura suficiente para executar a fiscalização e o acompanhamento de todas as obras contratadas por ele, uma vez que a maioria dos procedimentos exige a presença do fiscal em campo. Essa deficiência está relacionada não apenas à reduzida quantidade de fiscais mas também à inexistência de instalações próprias do órgão para a realização dos ensaios, das análises e do controle tecnológico dos materiais.

Dessa forma, para auxiliar na fiscalização dos empreendimentos rodoviários, o DNIT realiza a contratação de uma empresa supervisora. Com isso, a dificuldade verificada passa a ser na aferição acerca da adequada atuação dessa empresa. Auditoria realizada pelo Tribunal de Contas da União (TCU)²¹ constatou que, por vezes, a contratação dessa empresa sofria atraso em comparação à contratação da obra, ocasionando o início dos serviços sem a devida fiscalização. O mesmo documento aponta também que os controles internos do DNIT se mostraram insuficientes para aferir a supervisão contratada. Exemplo disso era a ausência de padrão para apresentação dos relatórios pelas supervisoras, ocasionando possível omissão de informações relevantes.

Por meio dos apontamentos desse relatório de auditoria e das entrevistas com especialistas que atuam na área, conclui-se que são falhos o controle e as fiscalizações por parte do empreiteiro contratado, do DNIT e da empresa supervisora. Nos moldes atuais, casos de não conformidade podem ser omitidos, ou sequer identificados, quando não ocorre a realização dos ensaios estabelecidos. De forma geral, o atual procedimento para fiscalização dessas obras é falho e facilita a ocorrência de erros, comprometendo a qualidade e o desempenho final das rodovias brasileiras.

Para agravar essa situação, durante as entrevistas, foi constatado que não existe uma cultura de devolução pelas empreiteiras de material que não esteja em conformidade. Quando um problema é detectado, geralmente ele é tratado no próprio canteiro de obras. Outra questão que agrava a situação do controle nas obras é que, com os aumentos do preço do CAP, os distribuidores eventualmente absorveram parte desses aumentos (pois as construtoras não estavam conseguindo pagar devidamente os distribuidores). Essa situação deixou as construtoras em uma relação delicada com os distribuidores, desestimulando ainda mais a devolução de material em caso de não conformidade.

Para solucionar essa situação, é importante que a equipe de fiscalização alocada em campo (na obra) seja rigorosa quanto às especificações e conformidades dos materiais. Também é necessário que haja um acompanhamento centralizado pela sede acerca da realização da fiscalização de todas as obras.

Nesse sentido, pode-se citar o SUPRA (sistema denominado “Supervisão Rodoviária Avançada”) como uma das ações do DNIT para melhorar a disponibilidade de informações e acelerar e padronizar os relatórios de acompanhamento das obras realizadas pelo órgão. Isso, a princípio, resolve a necessidade de maior acompanhamento dos empreendimentos pela sede e possibilita o acesso a todos os resultados de testes e ensaios realizados em campo.

Ressalta-se, no entanto, que, nos contratos verificados aleatoriamente nesse sistema, não foram encontrados resultados de ensaios referentes especificamente às propriedades do CAP - os relatórios verificados diziam respeito apenas à mistura asfáltica e aos agregados. Assim, não é possível identificar se isso ocorreu devido à não realização dos testes ou simplesmente à não disponibilização desses dados. Por isso, salienta-se a necessidade

21. TCU, 2012.

de aferição das propriedades do CAP em campo, para se evitar o uso de materiais em desconformidade e o comprometimento de toda a infraestrutura. Essas informações também são importantes para proporcionar um conhecimento a respeito dos problemas que, de fato, se verificam em campo.

Outra questão que deve ser tratada é o tempo para contratação das empresas supervisoras. Esse processo deve ocorrer de forma coordenada com a contratação da obra, a fim de garantir que sua execução, desde o seu início, seja devidamente supervisionada.

Conforme foi exposto durante entrevista com representante do DNIT, reconhecendo as limitações dos recursos disponíveis, existem iniciativas para implementar mecanismos indiretos que aumentariam o rigor na fiscalização e a conformidade das obras públicas, melhorando, assim, sua qualidade.

A primeira consiste no estabelecimento da obrigatoriedade de que todas as novas obras contratadas pelo órgão sejam seguradas. Na prática, a seguradora atuaria como um novo agente fiscalizador, pois, no caso de qualquer tipo de falha, caberá a ela arcar com os custos de reparo. Assim, para diminuir os riscos de que a obra venha a falhar ou a apresentar defeitos precocemente, é esperado que a seguradora cobre a construtora para que sejam cumpridos todos os padrões de qualidade estabelecidos, inclusive os ensaios dos materiais.

Outra iniciativa seria a implementação da “obra acreditada”. Ela funcionaria como um selo de qualidade. Para isso, seria necessária a criação de um certificador de obras, que seria um fiscalizador e garantidor da qualidade do empreendimento entregue.

Nesse sentido, já existe um programa lançado pela Secretaria do Programa de Parcerias de Investimentos (SPPI) em parceria com o Inmetro, denominado “Programa de Inspeção Acreditada para Empreendimentos de Infraestrutura”, também chamado de “Certificação Acreditada”. Nele, Organismos de Inspeção Acreditados (OIAS), habilitados pelo Inmetro, realizam uma inspeção técnica e imparcial dos projetos e/ou das obras de empreendimentos de infraestrutura. O Programa tem foco em aprimorar a qualidade dos projetos de engenharia, mitigar riscos e aumentar a confiança nos prazos e no orçamento das obras. Porém, esse programa ainda não é adotado no âmbito das obras públicas contratadas pelo DNIT.

O Quadro 05 consolida os principais pontos relacionados à fiscalização.

Quadro 05		Principais problemas do asfalto relacionados à fiscalização e propostas de soluções	
		Problemas	Propostas de Soluções
Fiscalização		<ul style="list-style-type: none"> • Inexistências de fiscalização quanto às especificações do CAP por parte do órgão regulador; • Insuficiência de recursos para fiscalização adequada nas obras; • Possibilidade de erros ou omissões quanto à realização dos ensaios do CAP e seus resultados por parte das empresas construtoras e supervisoras das obras; • Pouca cultura de devolução de materiais não conformes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalização intensiva e independente realizada pelo órgão regulador; • Transparência dos dados de fiscalização do CAP quanto às suas especificações e sua distribuição; • Mecanismos mais eficientes de fiscalização e garantia da qualidade dos insumos nas obras públicas.
	Fonte: Elaboração CNT.		

4.4 Alternativas tecnológicas

Enquanto não são implementadas soluções razoáveis para os problemas abordados na seção anterior, o setor vem adotando alternativas para suprir essas deficiências, tanto no âmbito das obras privadas, quanto de algumas obras públicas.

Durante as entrevistas, em diversas vezes e de modo praticamente unânime, foi relatado o uso de CAP modificado como alternativa para contornar os problemas de qualidade verificados atualmente com relação ao CAP convencional. Muitos especialistas destacaram que o uso de modificadores tem melhorado o desempenho e a durabilidade dos pavimentos.

Diferentes tipos de materiais vêm sendo estudados e empregados na pavimentação como modificadores do asfalto há mais de 40 anos. Os mais utilizados têm demonstrado um bom resultado com relação ao aumento da resistência a deformações permanentes em altas temperaturas e à redução da fragilidade do material em baixas temperaturas.

Alguns dos aditivos mais comuns utilizados na pavimentação são polímeros, asfaltos naturais, ácidos e materiais reciclados, com a borracha de pneus. A quantidade de material a ser incorporada no asfalto depende das propriedades finais desejadas. Por isso, as especificações referentes aos asfaltos modificados se baseiam nas alterações físicas e mecânicas após a mistura do CAP com o material modificador.

A seguir, são apresentadas as principais alternativas utilizadas e/ou disponíveis atualmente no mercado para modificação do asfalto, conforme indicado pelos especialistas entrevistados.

4.4.1 Asfalto modificado por TLA (*Trinidad Lake Asphalt*)

Na República de Trinidad e Tobago, está localizado um dos maiores depósitos naturais de asfalto, chamado de lago de asfalto. O produto retirado é chamado de asfalto TLA (*Trinidad Lake Asphalt*). O cimento asfáltico de petróleo modificado com a adição desse material é denominado de CAP-TLA.

Após a sua extração, o asfalto natural é desidratado e suas impurezas, removidas. A adição do TLA pode ocorrer, por via seca, diretamente à mistura asfáltica (ligante e agregados), ou por via úmida, em que o material é adicionado ao ligante antes da realização da mistura com os agregados.

O DNIT estabeleceu, por meio da norma nº 168/2013-EM, as especificações necessárias para o CAP-TLA 40-55, cuja classificação é expressa em termos da penetração, aferida conforme ensaio de penetração descrito na seção 2.3.1. A norma define ainda que a dosagem de TLA no CAP deve ser de, no mínimo, 25% em massa.

A utilização do CAP-TLA tem sido recomendada para promover o aumento da resistência à deformação permanente, aumento da vida útil do pavimento, melhoria da adesão e de propriedades antiderrapantes e aumento da estabilidade proporcionada aos veículos. Esse material já é utilizado em diversos países da Europa, nos Estados Unidos, na China e em alguns trechos de rodovias concedidas no Brasil.

4.4.2 Asfalto modificado por polímero

O uso de polímeros vem sendo amplamente estudado e empregado para alterar o comportamento dos asfaltos, melhorando o desempenho dos pavimentos. Os polímeros são compostos químicos chamados de macromoléculas, pois são formados pela união sequencial de várias moléculas pequenas, iguais ou de vários tipos diferentes, formando uma longa cadeia de átomos de carbono.

O polímero pode alterar o comportamento do ligante asfáltico por meio de dois métodos. Um consiste no aumento da dureza do asfalto, o que melhora a capacidade de dispersão de carga do material, eleva sua força estrutural e permite estender a vida útil do pavimento. Esses benefícios podem ser aproveitados para a execução de projetos de pavimentos com camadas mais finas de revestimento, apresentando a mesma vida útil que teriam caso fosse utilizado apenas o CAP convencional em sua mistura.

O outro método consiste em aumentar o componente elástico do asfalto. Isso aumenta a flexibilidade do material, característica importante em locais onde a temperatura é elevada ou onde o tráfego é de baixa velocidade ou estacionário, pois reduz a vulnerabilidade a deformações permanentes do pavimento.

De modo geral, os asfaltos modificados por polímeros são menos suscetíveis a temperaturas extremas e, por isso, podem ser empregados em uma maior faixa de temperaturas, quando comparado ao asfalto regular. Outros benefícios são maior resistência à fadiga²², menor taxa de envelhecimento e maior coesão.

Ressalta-se que, apesar de existirem diversos tipos de polímeros, nem todos proporcionam um melhor desempenho da pavimentação quando misturados ao CAP. Para que a modificação do asfalto seja eficaz e viável técnica e economicamente, o polímero deve: se misturar adequadamente ao asfalto; ser resistente à degradação na temperatura de usinagem do asfalto; apresentar as mesmas características de fluidez que o CAP convencional nas temperaturas de mistura e aplicação; e melhorar a resistência à deformação em rodovias com temperatura elevada, sem que o asfalto se torne muito rígido e quebradiço em baixas temperaturas. Além disso, o asfalto polímero deve ser capaz de manter suas propriedades durante os processos de estocagem, aplicação e em serviço; deve poder ser processado por equipamentos convencionais; e ser química e fisicamente estável.

Alguns dos fatores que influenciam a compatibilidade e as características finais do asfalto modificado são o tipo de polímero utilizado, as propriedades do CAP convencional utilizado na mistura, o teor de polímero empregado e o próprio processo de fabricação escolhido.

A alteração das propriedades do CAP polímero não ocorre de forma linear à quantidade de polímero adicionado, por isso são necessários ensaios químicos para uma caracterização mais completa da amostra de asfalto que será modificado, a fim de que seja definida exatamente a quantidade de polímero necessária para se obterem as propriedades finais desejadas.

Assim, a produção do asfalto modificado por polímeros trata-se de um processo complexo e que apresenta um custo mais elevado em comparação à utilização do CAP convencional. Apesar disso, as vantagens da utilização do asfalto modificado são constatadas ao longo de toda a vida útil do pavimento, com a redução dos custos de manutenção e aumento da sua durabilidade.

O tipo mais comum de polímero empregado na pavimentação no Brasil é o SBS (estireno-butadieno-estireno). Outros polímeros também utilizados são o SBR (copolímero de estireno-butadieno), o EVA (acetado de vinila) e o RET (*reactive elastomeric terpolymer*).

A resolução da ANP que estabelece as especificações do asfalto modificado por polímeros é a nº 32, de setembro de 2010, que abrange todos os polímeros elastoméricos²³. Segundo esse normativo, os cimentos asfálticos modificados por polímeros elastoméricos são classificados segundo seu ponto de amolecimento e a recuperação elástica a 25 °C, classificando-se nos tipos 55/75-E, 60/85-E e 65/90-E. Como a quantidade de polímero a

22. Processo inevitável que ocorre devido ao acúmulo das solicitações do tráfego ao longo do tempo. A ruptura por fadiga ocorre devido às tensões de tração nas fibras inferiores do revestimento.

23. Polímeros elastoméricos são aqueles que apresentam propriedades elásticas, ou seja, que, após a aplicação de uma tensão, retornam rapidamente a sua forma e dimensões originais. O SBS, SBR, EVA e RET são classificados como tal, mesmo que, em alguns casos, esse comportamento varia conforme a temperatura e proporção de material na mistura.

ser incorporada no asfalto depende das propriedades finais desejadas, esse normativo se baseia nas alterações físicas e mecânicas do asfalto modificado, e não na quantidade ou no tipo de polímero elastomérico utilizado.

Por fim, ressalta-se que já é um entendimento consolidado entre os especialistas de que a utilização de asfaltos modificados por polímeros é uma solução técnica adequada para uma série de problemas relacionados à construção de rodovias. Também é consenso que sua utilização implica mudanças mínimas no processo construtivo usual.

Dessa forma, resta um trabalho conjunto entre os diversos setores da indústria de construção rodoviária para melhorar o entendimento do potencial desse material para aumentar sua disseminação nas obras brasileiras, proporcionando rodovias mais eficientes com relação ao custo de manutenção e vida útil, o que representa um ganho para toda a sociedade. Apesar disso, essa já é uma técnica amplamente utilizada em diversos países e em vários trechos rodoviários no Brasil.

4.4.3 Asfalto modificado por ácido polifosfórico (*polyphosphoric acid* - PPA)

O ácido polifosfórico (PPA) é formado por um conjunto de cadeias de ácido fosfórico, altamente solúvel em compostos orgânicos, como o é o caso do CAP. O mecanismo de modificação do ligante com a adição dessa substância depende das características químicas do asfalto. Por outro lado, a forma como essa reação ocorre ainda é pouco conhecida.

Ainda assim, esse modificador vem sendo empregado na pavimentação em diferentes locais do mundo desde a década de 1970 e pode ser utilizado sozinho ou combinado com outro polímero. A utilização do PPA com outros polímeros é, muitas vezes, justificada por questões econômicas, uma vez que o custo do ácido é menor que o dos polímeros, e sua adição viabiliza a redução da proporção de polímero necessária para se preservarem as características desejadas do asfalto modificado.

A mudança das propriedades da mistura com a adição de PPA ao CAP pode variar. De forma geral, sua utilização reduz a penetração do material ligante, eleva seu ponto de amolecimento e aumenta a resistência a deformações permanentes e ao trincamento por fadiga. Apresenta ainda uma melhora na adesividade do ligante com os agregados. Por outro lado, há um aumento da viscosidade da mistura, ocasionando um aumento da temperatura necessária para usinagem e compactação, implicando um maior gasto energético para sua execução. Também se verifica uma elevação do índice de envelhecimento da mistura.

Esse modificador vem sendo utilizado para adequar as propriedades do CAP aos critérios do Superpave, pois permite ampliar a faixa de temperatura de trabalho dos ligantes asfálticos - a adição de PPA promove um aumento significativo da temperatura alta do PG, enquanto mantém praticamente estável a temperatura baixa.

No Brasil, ainda não existe normativo específico para a utilização do ácido polifosfórico na modificação do CAP para pavimentação, no entanto, constitui uma alternativa interessante, segundo alguns especialistas.

4.4.4 Asfalto-borracha

A incorporação da borracha na mistura asfáltica consiste em uma técnica que, além de conferir propriedades desejáveis para o pavimento, possui um viés ambiental importante, pois proporciona uma destinação mais sustentável para milhões de pneus descartados anualmente.

A borracha pode ser adicionada à mistura asfáltica por via seca ou úmida. A incorporação por via seca consiste no emprego da borracha triturada como agregado da mistura, constituindo o chamado agregado-borracha. A via úmida, por sua vez, consiste na mistura de borracha finamente triturada com o asfalto, que, por sua vez, dá origem ao denominado asfalto-borracha.

Essa técnica vem sendo estudada desde a década de 1960, mas, no Brasil, sua aplicação é relativamente recente. A primeira execução de asfalto-borracha no país ocorreu em 2001, em um trecho da BR-116, no Rio Grande do Sul.

A produção do asfalto-borracha, ou seja, a incorporação da borracha ao asfalto pela via úmida, pode resultar em um ligante estocável ou não. Na fabricação do ligante modificado pelo método não estocável, o equipamento misturador deve ser alocado próximo à obra, e a mistura precisa ser aplicada imediatamente. No Brasil, no entanto, tem-se empregado usualmente a produção pelo sistema estocável. Nesse sistema, a mistura é realizada em um terminal central e, posteriormente, transportada para os diversos locais de obras. Esse método permite um melhor controle da qualidade do produto em comparação com o não estocável.

A composição dos pneus e, portanto, os tipos de substâncias incorporadas ao asfalto-borracha contêm borracha sintética, borracha natural e negro de fumo, além de outros materiais, tais como aço e fibras, que são removidos previamente. Essa combinação e a quantidade de material moído adicionado influenciam as propriedades finais da mistura.

A resolução da ANP que trata das especificações do asfalto-borracha é a nº 39, de 2008. Essa norma classifica o asfalto-borracha conforme sua viscosidade, mas não estabelece a quantidade de borracha a ser adicionada. Por sua vez, o DNIT, por meio da norma 111, de 2009, estabelece especificações semelhantes para esse material e define que o percentual de borracha moída na mistura deve ser entre 15% e 20% da massa final do ligante.

A adição de borracha no asfalto apresenta diversos benefícios para o pavimento, tais como a redução do envelhecimento, devido à presença de substâncias que reduzem a oxidação; o aumento da flexibilidade e da resistência ao acúmulo de deformações permanentes; a menor suscetibilidade térmica; a redução do ruído pela passagem de veículos, melhorando

o conforto dos passageiros e dos locais limítrofes às rodovias; e a melhor aderência pneu-pavimento, aumentando a segurança dos passageiros de veículos que circulam por ele.

Por outro lado, a borracha causa um aumento na viscosidade da mistura, o que requer temperaturas mais elevadas de mistura e aplicação. Em alguns casos, é possível adicionar aditivos a fim de melhorar a viscosidade e, portanto, a trabalhabilidade do ligante após a adição da borracha.

Considerando os benefícios e o viés ambiental proporcionado por essa alternativa, algumas concessionárias de rodovias vêm adotando esse material como principal ligante utilizado em suas obras. Inclusive, alguns especialistas apontaram que seu desempenho tem se demonstrado igual ou superior ao do asfalto modificado por polímeros.

Por fim, cabe destacar que alguns dos especialistas consultados consideraram que a utilização de CAP convencional, mesmo que nas qualidades e especificações adequadas, não atenderia, de forma apropriada, à atual composição do tráfego nas rodovias do Brasil. Por isso, a utilização de CAP modificado seria um futuro inevitável para o setor.

Após essa breve exposição de algumas alternativas de materiais que podem melhorar o desempenho do asfalto na pavimentação, é importante ressaltar que não existe uma solução única, nem um modificador ideal para o asfalto. A melhor seleção deve ser feita de acordo com as necessidades e características de cada obra. Destaca-se, também, que o emprego de modificadores que melhoram o desempenho do pavimento não elimina a necessidade de solução dos problemas apresentados relacionados ao CAP convencional.

O Quadro 6 esquematiza os problemas identificados e as soluções e alternativas propostas por esse trabalho.

Quadro 06		Resumo dos principais problemas e propostas de soluções para o asfalto				
		Problemas		Propostas de Soluções		
Especificações		<ul style="list-style-type: none"> Os intervalos adotados para cada propriedade do CAP são muito amplos; As propriedades consideradas não permitem uma boa previsão do comportamento futuro do asfalto no pavimento; As propriedades são baseadas apenas em ensaios empíricos; As classificações não são mais adequadas para atender à atual composição do tráfego das rodovias brasileiras; São priorizados ensaios baratos em detrimento dos mais efetivos. 		<ul style="list-style-type: none"> Atualização e modernização das normas que especificam o CAP, adotando propriedades reológicas para caracterizá-lo; Adoção de ensaios mais precisos, capazes de prever melhor o comportamento futuro do CAP no pavimento. 		
		Fornecedores	<ul style="list-style-type: none"> Deficiência quanto à qualidade do CAP fornecido; Falta de transparência na formação dos preços do CAP; Barreiras para atualização das especificações do CAP devido à presença de poucos, mas influentes, fornecedores, que são os principais agentes que teriam que se adequar; Criação de barreiras artificiais de valor dificultando o aumento da competição no mercado de fornecimento do CAP. 		<ul style="list-style-type: none"> Maior transparência quanto à política de preços adotada pela Petrobras; Maior quantidade de refinarias e distribuidores de asfalto; Facilitação do processo de importação. 	
			Fiscalização	<ul style="list-style-type: none"> Inexistências de fiscalização quanto às especificações do CAP por parte do órgão regulador; Insuficiência de recursos para fiscalização adequada nas obras; Possibilidade de erros ou omissões quanto à realização dos ensaios do CAP e seus resultados por parte das empresas construtoras e supervisoras das obras; Pouca cultura de devolução de materiais não conformes. 		<ul style="list-style-type: none"> Fiscalização intensiva e independente realizada pelo órgão regulador; Transparência dos dados de fiscalização do CAP quanto às suas especificações e à sua distribuição; Mecanismos mais eficientes de fiscalização e garantia da qualidade dos insumos nas obras públicas.
Alternativas tecnológicas	Utilização de asfalto modificado					
	Trinidad Lake Asphalt (TLA)	Polímeros	Ácido polifosfórico (PPA)	Asfalto-borracha		

Fonte: Elaboração CNT.

5. Considerações finais

A infraestrutura rodoviária do país recebe um alto fluxo de veículos todos os dias, transportando cargas e passageiros. Esse tráfego é responsável por movimentar as economias locais, regionais, nacional e internacional. Por esse motivo, é importante que as rodovias estejam em boas condições de uso e que seus pavimentos apresentem um bom desempenho ao longo do tempo, resistindo ao calor, às intempéries, ao tráfego; e evitando o surgimento precoce de defeitos - o que coloca em risco a segurança de quem circula pelas vias e aumenta os custos com a manutenção dos veículos.

Dessa forma, motivada a aprofundar o entendimento acerca das causas que impactam a qualidade do pavimento e considerando o momento atual vivido pelo setor - no qual o preço do asfalto vem enfrentando aumentos consecutivos -, a CNT desenvolveu o presente estudo abordando a qualidade do CAP.

Hoje, o CAP é produzido por uma única empresa, apesar de não existir monopólio estabelecido em lei. A falta de concorrentes gera problemas relacionados à qualidade e ao custo do produto, além de conferir barreiras para a atualização das normas vigentes e interferência na importação do produto.

Quanto à norma que estabelece as especificações do CAP comercializado, foi possível perceber que há uma necessidade urgente de sua atualização. A atual resolução propõe intervalos muito amplos para as propriedades do material, e esses são medidos por meio de ensaios empíricos, não suportando mais a demanda imposta pelo tráfego atual das rodovias brasileiras. Isso gera dificuldade na calibração das usinas de asfalto, fazendo com que o construtor não tenha total conhecimento sobre o material empregado na rodovia.

Além dos pontos citados, a ausência de fiscalização, tanto nas refinarias como nas obras, impacta negativamente as condições das rodovias. A agência reguladora não fiscaliza o material durante sua produção, tampouco no processo de distribuição do CAP. Os órgãos executores das obras públicas, por sua vez, também possuem pouca capacidade de fiscalização sobre a realização dos ensaios nas obras. Esses fatores somados contribuem para potencializar possíveis erros e omissões das empreiteiras, impactando, assim, a qualidade da infraestrutura.

A fim de solucionar os problemas encontrados atualmente, os especialistas entrevistados relataram a utilização de asfaltos modificados como forma de corrigir as deficiências do CAP, melhorar a resistência do pavimento ao tráfego e aumentar, assim, o desempenho e a durabilidade dos pavimentos.

Assim, este estudo pretende estimular a melhoria da qualidade do asfalto utilizado no país, por se tratar de um dos principais insumos empregados nas obras de construção e manutenção rodoviária. Ademais, é necessário que sejam pensadas soluções que priorizem não só os aspectos de viabilidade técnica e econômica mas também os fatores ecológicos com vistas a evitar passivos socioambientais para as futuras gerações.

Com essa exposição, a Confederação espera contribuir para o desenvolvimento e a melhoria da infraestrutura de transporte do Brasil.

Referências

ABM Van Zijl b.v. RTFOT oven Controls. Disponível em: <http://www.abmbv.nl/nl/catalog/articlegroup/700165/rtfot-oven-controls>. Acesso em: jun. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução nº 3.665, de 4 de maio de 2011. Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. Brasília: ANTT, 2011. Disponível em: https://anttlegis.datalegis.inf.br/action/UriPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&sgl_tipo=RES&num_ato=00003665&seq_ato=000&vlr_ano=2011&sgl_orgao=DG/ANTT/MT&cod_modulo=161&cod_menu=5411. Acesso em: jan. 2019.

_____. Resolução nº 5.232, de 14 de dezembro de 2016. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento Terrestre do Transporte de Produtos Perigosos, e dá outras providências. Brasília, ANTT, 2016. Disponível em: https://anttlegis.datalegis.inf.br/action/UriPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00005232&sgl_tipo=RES&sgl_orgao=DG/ANTT/MTPA&vlr_ano=2016&seq_ato=000. Acesso em: jan. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Bases de asfaltos. Brasília: ANP, 2019a. Disponível em: <http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/simp/consulta-base-distribuicao/consulta.xhtml>. Acesso em: mai. 2019.

_____. Distribuidoras autorizadas pela ANP. Brasília: ANP, 2019b. Disponível em: <http://app.anp.gov.br/anp-cpl-web/public/simp/consulta-empresas-autorizadas/consulta.xhtml>. Acesso em: mai. 2019.

_____. Importações & exportações (metros cúbicos). Dados atualizados em 31 de maio de 2019. Brasília: ANP, 2019c. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/DADOS_ESTATISTICOS/importacao_exportacao/Importacoes_Exportacoes_m3.xlsx. Acesso em: mai. 2019.

_____. Preços de produtores e importadores de derivados de petróleo. Dados atualizados em 20 de maio de 2019. Brasília ANP, 2019d. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/Precos/Precos-produtores-importadores-derivados-petroleo/Precos_Medios_Ponderados_Semanais_a_partir_de_2013.xls. Acesso em: mai. 2019.

_____. Produção nacional de derivados de petróleo (metros cúbicos). Dados atualizados em 24 de maio de 2019. Brasília: ANP, 2019e. Disponível em: http://www.anp.gov.br/images/DADOS_ESTATISTICOS/Producao_derivados/Producao-de-Derivados-m3.xls. Acesso em: mai. 2019.

_____. Produção de CAP 30-45 e CAP 50-70 por refinaria. Brasília: ANP, 2018. Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC).

_____. Produção CAP 30-45 e 50-70 por refinaria em 2018. Brasília: ANP, 2019f. Sistema Eletrônico do Serviço de Informação ao Cidadão (e-SIC).

_____. Resolução ANP nº 2, de 14 de janeiro de 2005. Brasília: ANP, 2005a. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg%2Fresolucoes_anp%2F2005%2Fjaneiro%2Frap%202%20-%202005.xml. Acesso em: dez. 2018.

_____. Resolução ANP nº 3, de 14 de janeiro de 2005. Brasília: ANP, 2005b. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg%2Fresolucoes_anp%2F2005%2Fjaneiro%2Frap%203%20-%202005.xml. Acesso em: fev. 2019.

_____. Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005. Brasília: ANP, 2005c. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg%2Fresolucoes_anp%2F2005%2Fjulho%2Frap%2019%20-%202005.xml. Acesso em: set. 2018.

_____. Resolução ANP nº 42, de 18 de agosto de 2011. Brasília: ANP, 2011. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2011/agosto&item=rap-42--2011>. Acesso em: dez. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6293**: ligantes asfálticos: determinação da ductilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.

_____. **ABNT NBR 6560**: ligantes asfálticos: determinação do ponto de amolecimento: método do anel e bola. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 6576**: materiais asfálticos: determinação da penetração. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **ABNT NBR 11341**: derivados de petróleo: determinação dos pontos de fulgor e de combustão em caso aberto Cleveland. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.

_____. **ABNT NBR 14855**: ligantes asfálticos: determinação da solubilidade em tricloroetileno. Rio de Janeiro: ABNT, 2015c.

_____. **ABNT NBR 14950**: materiais betuminosos: determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **ABNT NBR 15184**: materiais betuminosos: determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **ABNT NBR 15235**: materiais asfálticos: determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BERNUCCI, L. B; et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras, Abeda, 2010.

BRASIL. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 7 ago. 1997.

_____. Decreto nº 2.455, de 14 de janeiro de 1998. Implanta a Agência Nacional do Petróleo - ANP, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 jan. 1998.

BRASIL ESCOLA. Filtração - Método de Separação de Misturas. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/filtracaometodo-separacao-misturas.htm>. Acesso em: jun. 2019.

CARDOSO, B.; COSTA, A. C. **Abeda: 50 Anos na Estrada do Asfalto**. 1. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto, 2016.

CERATTI, J. A.; BERNUCCI, L. B.; SOARES, J. B. **Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2015.

CONCEPA/ANTT. **Estudo Laboratorial do Módulo Dinâmico de Concretos Asfálticos Convencionais e Modificados**. Porto Alegre, Brasil: [s.n.], 2016. Disponível em: http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/Relatorio_Final__Estudo_Laboratorial_do_Modulo_dinamico_de_concretos_Asfalticos_convencionais_e_Modificados.pdf.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Escalada de Preço do Material Asfáltico Ameaça Obras Rodoviárias no País**. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/escalada-preco-material-asfaltico-ameaca-obras-rodoviarias-pais>. Acesso em: set. 2018.

_____. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018**. Brasília: CNT, 2018. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>.

_____. **Transporte Rodoviário: Por que os Pavimentos das Rodovias do Brasil não Duram?** Brasília: CNT, 2017. Disponível em: [http://cms.cnt.org.br/Imagens CNT/PDFs CNT/Estudos CNT/estudo_pavimentos_ao_duram.pdf](http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimentos_ao_duram.pdf).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Pavimentação**. 2. ed. Rio de Janeiro: DNER, 1996.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 131/2010-ME: Materiais asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: DNIT, 2010a.

_____. **Norma DNIT 155/2010-ME: Material asfáltico - Determinação da penetração - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: DNIT, 2010b.

EQUIPO PARA LABORATÓRIO. V300002 Viscosímetro Rotacional Expert R Fungilab. Disponível em: <http://equipoparalaboratorio.mx/viscosimetros/1843-v300002-viscosimetro-rotacional-expert-r-fungilab.html>. Acesso em: jun. 2019.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Estudo da Cadeia Produtiva do Asfalto: Diagnóstico de Problemas e Proposições de Aprimoramento**. São Paulo: FIESP, 2009.

FEDERAL RESERVE BANK OF ST. LOUIS. Crude Oil Prices: West Texas Intermediate (WTI) - Cushing, Oklahoma. St. Louis: FRED, 2019. Disponível em: <https://fred.stlouisfed.org/series/DCOILWTICO>. Acesso em: jun. 2019.

FERNANDES, P. R. N. **Avaliação do Desempenho de Ligante Asfáltico Modificado por Poli (Ácido Fosfórico) (PPA) e Efeitos da Adição do Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC)**. Universidade do Ceará, 2011.

INMETRO. Inmetro e SPPI lançam Programa de Inspeção Acreditada para Empreendimentos de Infraestrutura. Fev. 2018. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/noticias/verNoticia.asp?seq_noticia=4283. Acesso em: jun. 2019.

_____. Portaria nº 367, de 20 de dezembro de 2017. Brasília: Inmetro, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Anual da Indústria da Construção - PAIC. Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Industria_da_Construcao/Pesquisa_Anual_da_Industria_da_Construcao/2017/xls/tabelas_2017_xls.zip. Acesso em: jun. 2019.

IPEA DATA. Taxa de câmbio - R\$ / US\$ - comercial - compra - média. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: jun. 2019.

I.M.P. Rhéomètre à Flexion du Barreau. Disponível em: https://www.impbautest.ch/fr/rheometre-a-flexion-du-barreau_content--1-1028.html. Acesso em: jun. 2019.

IMPERPAV ENGENHARIA. **Avaliação de Cimentos Asfálticos de Petróleo para Emprego em Pavimentação**. São Paulo: ABCR, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. **Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: IBP/Comissão de Asfalto, 1994.

MELLO, L. G. R. **A Teoria do Dano em Meio Contínuo no Estudo da Fadiga em Misturas Asfálticas**. Brasília: Universidade de Brasília, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/18543>.

NOTÍCIAS BQL. Ensaio em lubrificantes: tudo o que você precisa saber sobre Ponto de Fulgor e Ponto de Combustão. 2015. Disponível em: <https://biolub.com.br/blog/ensaios-em-lubrificantes->

tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-ponto-de-fulgor-e-ponto-de-combustao/. Acesso em: jun. 2019.

PAMPLONA, T. F. **Efeito da Adição de Ácido Polifosfórico em Ligantes Asfálticos de Diferentes Fontes**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013.

PETROBRAS. Preço do Asfalto: Resposta à Folha de S. Paulo. Jan. 2015. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/preco-do-asfalto-resposta-a-folha-de-s-paulo.htm>. Acesso em: fev. 2019.

_____. Reajuste de preços de asfalto: resposta à revista Isto É. Mai. 2015. Disponível em: <http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados-1/reajuste-de-precos-de-asfalto-resposta-a-revista-isto-e.htm>. Acesso em: fev. 2019.

PROGRAMA DE PARCERIAS DE INVESTIMENTOS. Governo cria selo de qualidade para empreendimentos de infraestrutura. Dez. 2017. Disponível em: <https://www.ppi.gov.br/governo-federal-cria-selo-de-qualidade-para-empresendimentos-de-infraestrutura>. Acesso em: jun. 2019.

READ, J.; WHITEOAK, D. **The Shell Bitumen Handbook**. 5. ed. Londres: Thomas Telford Publishing, 2003.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.

STATE OF NEW JERSEY. Department of Transportation. Asphalt Cement and Fuel Price Index. New Jersey: 2019. Disponível em: <https://www.state.nj.us/transportation/business/aashtoware/PriceIndex.shtm>. Acesso em: jun. 2019.

THE MARYLAND ASPHALT ASSOCIATION, INC. Asphalt Index: Historical Pricing for Asphalt. Maryland: 2019. Disponível em: <https://mdasphalt.org/asphalt-index/>. Acesso em: jun. 2019.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório de Fiscalização. Processo nº TC 006.375/2014-6. Fiscalização 171/2014. 20 jun. 2014.

_____. Relatório de Auditoria: Auditoria Operacional na Gestão das Obras do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Brasília: TCU, 2012.

TUCHUMANTEL JÚNIOR, O. Asfalto Modificado por TLA. Disponível em: <http://sinicesp.org.br/materias/2011/bt08a.htm>. Acesso em: jun. 2019.

Glossário

Termo	Definição
Agregados	Conjunto de grãos minerais que se enquadram dentro de determinados limites de dimensões, podendo ser britados ou não, comumente utilizados na construção civil.
Asfalto	Mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo por destilação ou de forma natural, cujo principal componente é o betume, portanto é um material betuminoso mas também pode conter oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção. Também empregado como sinônimo de betume.
Betume	Mistura de hidrocarbonetos pesados, com propriedades ligantes, inflamável, de elevada viscosidade, que ocorrem na natureza ou são fabricados pela destilação do petróleo, de carvão, de madeira ou de resinas. Comumente empregado como sinônimo de asfalto.
Cimento asfáltico de petróleo (CAP)	O asfalto derivado do refino do petróleo que apresenta propriedades físicas tais que se enquadram em classificações estabelecidas por normativos específicos.
Condensação	Transição de um material do estado gasoso para o estado líquido.
Destilação	Método de separação de uma mistura homogênea, que se baseia nas diferenças de temperatura de ebulição de cada substância que compõe a mistura.
Elasticidade	Está relacionada aos materiais que, via de regra, não escorrem, ou seja, àqueles que sofrem deformação devido à aplicação de determinado carregamento, mas que, ao cessar essa força, o material retoma a sua forma original.
Fracionamento	Processo de separação das substâncias de uma mistura.
Imprimação	Camada fina de material asfáltico aplicado, geralmente, entre a base e o revestimento, com o objetivo de aumentar a coesão da superfície, fixar partículas eventualmente soltas e impermeabilizar a camada do pavimento antes da execução da camada superior.
Ligante	Material que proporciona união entre os agregados. Podem ser asfálticos ou hidráulicos. Os ligantes asfálticos são aqueles obtidos do petróleo, como o asfalto e o alcatrão, enquanto os ligantes hidráulicos são materiais minerais finamente moídos, como a cal ou o cimento, e denominados assim por apresentarem bom comportamento ligante mesmo em meio aquoso.
Material termoviscoelástico	Material cujo tipo de resposta à aplicação de uma força externa apresenta características tanto de viscosidade, quanto de elasticidade, e varia conforme a temperatura.
Oxidação	Reação química entre oxigênio e outra substância.
Pavimento	Estrutura constituída por um sistema de camadas sobrepostas de diferentes materiais, de forma a resistir e distribuir os efeitos oriundos do tráfego e melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e à segurança.
Petróleo	Óleo de origem fóssil composto por uma mistura de hidrocarbonetos e pequenas porções de oxigênio, nitrogênio e enxofre. Resultado da transformação da matéria orgânica presente nas rochas sedimentares.
Pintura de ligação	Camada fina de material asfáltico aplicado sobre a superfície de uma camada asfáltica, nova ou antiga (no caso de reforço ou recapeamento), com o único objetivo de promover aderência entre as camadas.

Ponto de ebulição	Temperatura na qual uma substância em estado líquido passa para o estado gasoso.
Produto perigoso	Aqueles que tenham potencial de causar dano ou apresentem risco à saúde, à segurança e ao meio ambiente e tenham sido classificados como tais pelos órgãos competentes.
Refinaria	Complexo industrial onde é processado petróleo, gás natural e seus derivados, produzindo derivados gasosos, líquidos e sólidos, necessariamente por meio de processos físicos e químicos de refino.
Reologia	Ciência que estuda o comportamento do material com base em suas características de escoamento e deformação.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a ação do tráfego. Tem a função de melhorar as condições de rolamento e deve ser capaz de resistir às ações do tráfego e do intemperismo para aumentar a durabilidade do pavimento.
Revestimento asfáltico	Revestimento em que o material empregado nessa superfície é composto por uma mistura de agregados e um ligante asfáltico, que pode ser cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou outros insumos betuminosos.
Superpave	<i>Superior Performing Asphalt Pavements</i> , ou pavimentos asfálticos de performance superior, em tradução livre. Método para seleção do material asfáltico que adota especificações baseadas em propriedades fundamentais ou reológicas. Baseado em "graus de desempenho", denominados PG (<i>Performance grade</i> - PG), que utilizam como referência as temperaturas máximas e mínimas às quais o material será submetido durante sua vida útil.
Tratamentos superficiais	Revestimento constituído pela aplicação de material betuminoso, sobre a base ou sobre um revestimento pré-existente, seguida de cobertura de agregado.
Usinagem	Processo de mistura dos agregados com o ligante betuminoso, que prepara as misturas asfálticas para pavimentação, de acordo com os requisitos das especificações.
Viscosidade	Representa a resistência de um material ao seu escoamento, dessa forma, quanto maior a viscosidade, menor a velocidade com que o material escorre.

Apêndice

Ensaio Superpave

Neste Apêndice, são apresentados, de forma sucinta, os principais ensaios e propriedades adotados pela especificação do Superpave, conforme referido na Seção 2.4.

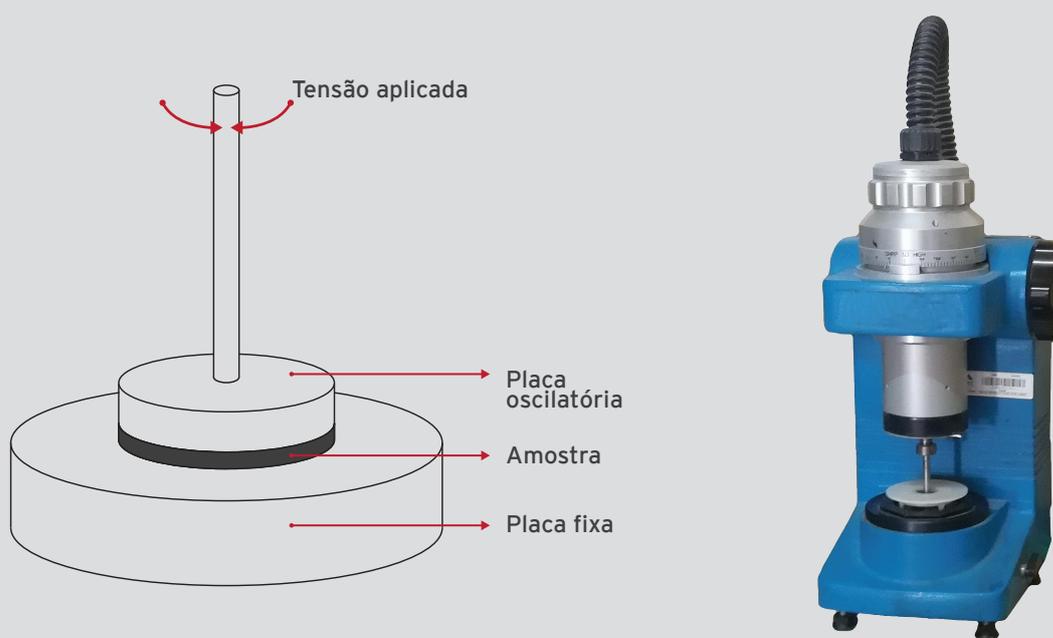
Cisalhamento dinâmico

O cisalhamento dinâmico de uma amostra de asfalto é medido por um equipamento denominado reômetro de cisalhamento dinâmico (*Dynamic Shear Rheometer - DSR*). O ensaio consiste na aplicação de uma força de cisalhamento oscilatória em uma amostra de asfalto colocada entre duas placas paralelas a uma temperatura controlada. A frequência de oscilação do DSR é de 10 rad/s ou 1,59 Hz.

A partir da tensão de cisalhamento aplicada e a deformação causada na amostra, esse ensaio caracteriza o comportamento viscoelástico do material - por meio das variáveis módulo complexo de cisalhamento (G^*) e do ângulo de fase (δ). O produto entre essas medidas é utilizado para controlar a rigidez do asfalto, importante para assegurar a resistência necessária para evitar deformações, em altas temperaturas, e trincamentos por fadiga, em baixas. A Figura A ilustra o ensaio.

Figura A

Ensaio de cisalhamento dinâmico (DSR)



Fonte: Adaptado de Bernucci, et. al. (2010).

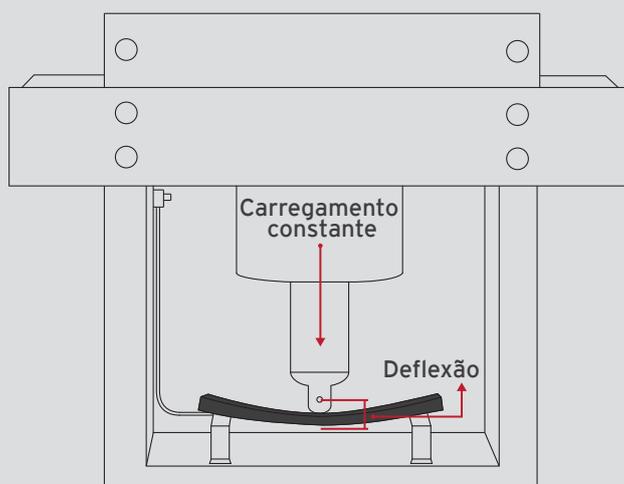
Fluência (BBR)

A fluência também é uma medida de rigidez do material. No entanto, o equipamento utilizado para determinar essa propriedade é denominado reômetro de fluência em viga (*Bending Beam Rheometer* - BBR) e tem como objetivo aferir a deflexão de uma amostra sob carregamento constante a baixas temperaturas - relacionando-se a formação de trincas térmicas.

O ensaio consiste na aplicação de um carregamento estático sobre uma vigota de asfalto. A partir da carga aplicada e da deflexão da vigota (sua deformação vertical), por um tempo determinado e a uma temperatura controlada, obtêm-se as medidas do módulo de rigidez estática (S) e a relaxação (coeficiente angular - m). Materiais com baixa rigidez estática apresentam melhor comportamento em climas frios - não trincarão -, portanto a norma do Superpave estabelece que o valor máximo para S deve ser de 300 Mpa. A relaxação, por sua vez, está relacionada à capacidade de o material dissipar as tensões aplicadas, portanto, quanto maior o valor de m , menor a formação de trincas. Assim, a norma estabelece um valor mínimo para essa variável de 0,3. A Figura B ilustra a realização de um ensaio.

Figura B

Ensaio de fluência (BBR)



Fonte: I.M.P.

Alongamento na ruptura (tração direta)

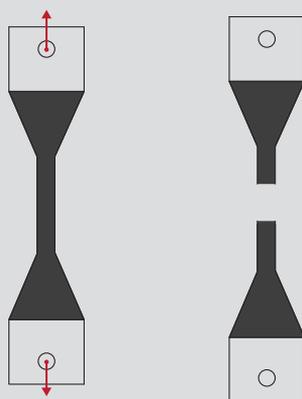
De forma geral, o ensaio BBR (*Bending Beam Rheometer*) é capaz de estimar adequadamente a relação entre rigidez e falha do asfalto. No entanto, para alguns ligantes, especialmente os asfaltos modificados por polímero, essa relação ainda não é tão bem definida. Por esse motivo, o Superpave inclui outra medida de tensão e força em suas especificações, denominado ensaio de tração direta (*Direct Tension Test* - DTT).

O DTT mede o alongamento de uma amostra, moldada em formato de uma gravata-borboleta, decorrente da aplicação de uma tensão de ruptura, a baixas temperaturas (entre 0 °C e -36 °C). O alongamento é medido em variação percentual do comprimento final em relação ao comprimento original do corpo de prova. A Figura C ilustra a amostra de asfalto antes e após a realização do ensaio.

Vaso de envelhecimento sob pressão (PAV)

Figura C

Corpo de prova ensaio de tração direta (DTT)



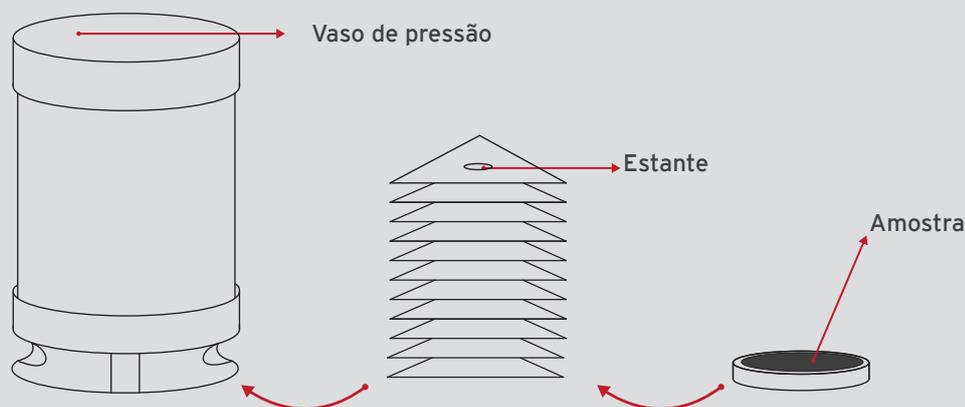
Fonte: Bernucci, et. al. (2010).

Enquanto o ensaio RTFOT (sigla do inglês para *rolling thin film oven test*) é utilizado para simular o envelhecimento do asfalto decorrente do processo de usinagem da mistura asfáltica, o vaso de envelhecimento sob pressão (*Pressure Aging Vessel* - PAV) é empregado para simular o efeito de um longo período (aproximadamente, dez anos) do asfalto no pavimento, em serviço.

O ensaio consiste em submeter uma amostra, já envelhecida pelo RTFOT, a uma pressão de 2070 kPa, a temperaturas entre 90 °C e 110 °C, por um período de 20 horas. A Figura D apresenta um esquema do equipamento utilizado.

Figura D

Vaso de envelhecimento sob pressão (PAV)



Fonte: Adaptado de Bernucci, et. al. (2010).



Setor de Autarquias Sul | Quadra 1
Bloco "J" | Edifício Clésio Andrade | 13º andar | CEP: 70070-944
Brasília-DF | Brasil
Central de Relacionamento: 0800 728 2891
www.cnt.org.br