

Misturas asfálticas: Conceituação, Materiais e Dosagem

Conteudista:

Letícia Alberto Borges Madureira

Brasília, fevereiro de 2023

Misturas asfálticas: Conceituação, Materiais e Dosagem

Módulo 2

Tipos de Ligantes Asfálticos

Conteudista:

Letícia Alberto Borges Madureira

Brasília, fevereiro de 2023

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lago de Asfalto em Trinidad.....	2
Figura 2 - Imprimação de base com uso de CM-30.....	5
Figura 3 - Esquema da câmara de expansão de Asfalto-Espuma e o processo de Espumação	6
Figura 4 - Reciclagem <i>in situ</i> utilizando asfalto-espuma	6
Figura 5 - Processo úmido - <i>Wet process - Terminal Blend e Continuous Blend</i>	12
Figura 6 - Processo Seco - <i>Dry Process</i>	12
Figura 7 - Fatores que interferem na ruptura da emulsão asfáltica.....	15
Figura 8 -Asfaltos oxidados.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação Brasileira para Agentes Rejuvenescedores - DNC 733/97	8
Tabela 2 - Características do cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico	10
Tabela 3 - Características do cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida	13
Tabela 4 - Sugestão para emprego de materiais asfálticos em pavimentação.....	17

SUMÁRIO

1.	O QUE É LIGANTE ASFÁLTICO?.....	1
2.	ASFALTOS NATURAIS (CAN)	1
3.	CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)	2
4.	ASFALTO DILUÍDO DE PETRÓLEO (ADP).....	3
5.	ASFALTO ESPUMA.....	5
6.	AGENTES REJUVENESCEDORES (ARE, AR).....	7
7.	ASFALTO MODIFICADO	8
7.1.	ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO (AMP).....	10
7.2.	ASFALTO MODIFICADO POR BORRACHA DE PNEUS (AMB).....	11
8.	EMULSÕES ASFÁLTICAS	14
9.	ASFALTOS OXIDADOS OU SOPRADOS DE USO INDUSTRIAL	17
10.	REFERÊNCIAS.....	18

1.0 QUE É LIGANTE ASFÁLTICO?

Como já descrito no Módulo 1, ligante é o material que tem a propriedade de aglutinar partículas sólidas para formar uma massa coesa.

Os ligantes denominados “Ligante Asfálticos” são aqueles constituídos por misturas complexas de hidrocarbonetos de elevada massa molar, cujos componentes principais são o carbono e o hidrogênio, contendo também outros elementos como o oxigênio, enxofre e alguns metais. São obtidos por evaporação natural de depósitos localizados na superfície da terra (asfaltos naturais), ou por destilação em unidades industriais especialmente projetadas (refinarias de petróleo) (Senço, 1997).

2.ASFALTOS NATURAIS (CAN)

Conforme já apresentado no Módulo 1, o asfalto natural foi o primeiro a ser utilizado na natureza, justamente por serem prontamente utilizáveis, por estarem disponíveis na natureza. Os asfaltos são provenientes de “lagos” formados a partir de depósitos de petróleo que migraram para a superfície, e após processos naturais de perda de outras frações, resultaram em um produto que contém betume e, eventualmente, materiais minerais (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os asfaltos naturais eram naturalmente moles e eram encontrados em depósitos da Ilha Trinidad, do Lago Bermudez na Venezuela, e em extensas ocorrências de “areias alcatroadas” no Oeste do Canadá. Os asfaltos naturais também aparecem encrustados em poros de rochas, denominadas rochas asfálticas (gilsonita e asfaltita) e misturados em impurezas minerais (argilas e areias), em quantidade variáveis, sendo geralmente submetidos a processos de purificação para serem utilizados na pavimentação (ABEDA, 2010).

No Brasil, as primeiras pavimentações asfálticas ocorreram em vias do Rio de Janeiro, com asfalto natural importado em barris de Trinidad.

Figura 1 - Lago de Asfalto em Trinidad



Fonte: ABEDA, 2010.

3.CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) utilizado em pavimentação é proveniente da destilação do petróleo e tem como propriedade ser um adesivo termoviscoelástico, ou seja, possui propriedades viscoplásticas alteradas pela variação da temperatura. Segundo Bernucci *et al.* (2008), o CAP é um material impermeável à água e pouco reativo.

A termoviscoelasticidade do asfalto se manifesta no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade, ao tempo e à intensidade de carregamento, além da temperatura de serviço. O comportamento termoviscoelástico é mais comumente assumido do que o termoviscoelástico, com suficiente aproximação do real comportamento do material (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os CAPs são flexíveis, resistentes à ação da maioria dos produtos inorgânicos e duráveis, contribuindo para o seu desempenho.

Os CAPs são matéria-prima para outros tipos de asfaltos como os asfaltos diluídos, as emulsões asfálticas, os asfaltos modificados, os asfaltos espuma, os asfaltos soprados, além de suas aplicações rodoviárias a quente por meio do concreto asfáltico que envolve vários tipos de composições granulométricas em conjunto com o CAP.

Além das informações compartilhadas no Módulo 1 sobre as especificações brasileiras que designam um CAP, no Módulo 4, mais informações serão

disponibilizadas sobre as caracterizações baseadas em propriedades relacionadas ao desempenho dos pavimentos em serviço, a especificação SUPERPAVE.

4. ASFALTO DILUÍDO DE PETRÓLEO (ADP)

O Asfalto Diluído de Petróleo - ADP resulta da diluição do cimento asfáltico por destilados leves de petróleo, proporcionando um produto menos viscoso que o CAP e que podem ser aplicados a temperaturas mais baixas, sendo que os diluentes evaporam-se após a aplicação. Sua principal aplicação é na imprimação de camadas de base dos pavimentos.

No caso do ADP ocorre a adição de um diluente volátil, obtido do próprio petróleo, ao asfalto. A denominação do ADP é dada segundo a velocidade de evaporação do solvente.

No Brasil são fabricados dois tipos de asfalto diluído: o de cura rápida (CR) e o de cura média (CM). O CR utiliza gasolina ou nafta como solvente, enquanto o CM utiliza o querosene. O ADP também é classificado segundo sua viscosidade cinemática para cada classe. Um ligante asfáltico do tipo CM-30 é um asfalto diluído de cura média (CM) cuja faixa de viscosidade a 60 °C começa em 30cSt (centiStokes = unidade utilizada para viscosidade cinemática).

TOME NOTA:

Para obter a viscosidade em m²/s, multiplique a viscosidade em cSt por 10⁻⁶

Para se obter os asfaltos diluídos, há um custo elevado social e financeiro. Os solventes emanam para a atmosfera, gerando problemas de meio ambiente e de saúde ocupacional (ABEDA, 2010). Devido aos problemas ambientais, em países desenvolvidos, seu uso vem sendo substituído por Emulsões Asfálticas de Petróleo - EAP.

Por possuir uma pequena quantidade de voláteis em relação ao ADP, a emulsão tem um impacto ambiental muito menor. Na cura, o ADP perde para a

atmosfera produtos valiosos que demandam grande energia para serem produzidos; enquanto a EAP não. A EAP é um produto de uso mais seguro, com pouco risco de incêndio comparado ao ADP, que pode apresentar baixo ponto de fulgor. E, para aplicação em temperatura ambiente, a EAP economiza combustível por poder ser aplicada em temperaturas mais baixas, comparando com o ADP. Veremos sobre as Emulsões Asfálticas de Petróleo – EAP mais à frente.

As especificações brasileiras para asfalto diluído tipo cura rápida são definidas na norma DNER-EM 362/97 e para asfalto diluído tipo cura média utiliza-se a DNER-EM 363/97.

Pelas normas citadas, os asfaltos diluídos são caracterizados pelos seguintes ensaios:

- Viscosidade cinemática
- Viscosidade Saybolt-Furol
- Ponto de Fulgor
- Destilação
- Resíduo a 360°C, por diferença, em % volume mínimo
- Teor de água
- Penetração do resíduo de destilação
- Teor de betume do resíduo de destilação
- Ductibilidade do resíduo de destilação

Figura 2 - Imprimação de base com uso de CM-30



Fonte: THIVES, 2016.

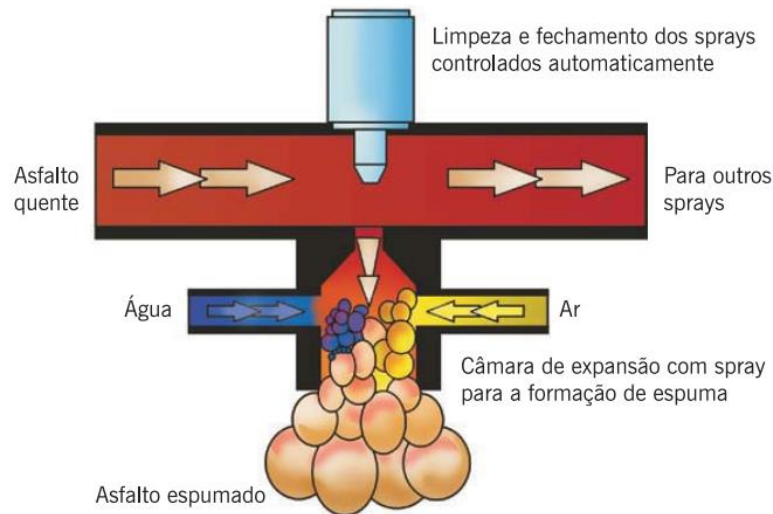
O ADP pode ser utilizado nos serviços de imprimação, preferencialmente os de cura média, CM-30 para superfície com texturas fechadas e CM-70 para texturas abertas. O CR não é recomendado devido a uma penetração não adequada na base.

As taxas de aplicação do asfalto diluído usuais são da ordem de 0,8 a 1,6 l/m², devendo ser determinadas experimentalmente mediante absorção pela base em 24 h. Deve ser observado o tempo de cura, conforme especificação de serviço de Imprimação.

5.ASFALTO ESPUMA

O Asfalto Espuma é uma técnica de utilização do CAP que consiste em se promover o aumento de seu volume pelo choque térmico. Promove-se o encontro, sob condições apropriadas, entre o asfalto aquecido à temperatura típica de utilização a quente com água espargida à temperatura ambiente dentro de uma câmara desenvolvida especialmente para este processo (Figura 3).

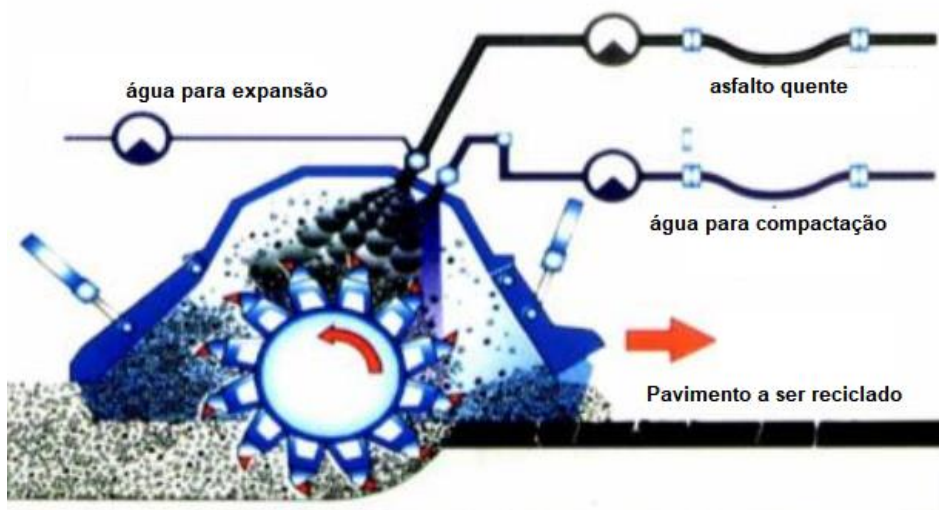
Figura 3 - Esquema da câmara de expansão de Asfalto-Espuma e o processo de Espumação



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Essa técnica foi inicialmente patenteada e vem sendo empregada nos EUA, Austrália e Europa desde os anos 1980. No processo, ocorre a expansão de volume do CAP de 10 a 15 vezes e então ele é utilizado espargido sob os agregados úmidos e frios produzindo uma mistura betuminosa. O uso desta técnica pode se dar em algumas atividades de campo como: reciclagem a frio *in situ* do revestimento, do revestimento e da base com adição de cimento e também na camada final de base.

Figura 4 - Reciclagem *in situ* utilizando asfalto-espuma



Fonte: Adaptado de THIVES, 2016.

Na reciclagem a frio *in situ*, o material fresado é misturado com a espuma de asfalto no próprio local do corte (Figura 4). A operação ocorre dentro do módulo

fresador da máquina fresadora-recicladora. Além da espuma de asfalto e dos materiais fresados do pavimento existente, pode-se incluir também agregados adicionais. O equipamento fresador-reciclador espalha o material reciclado na espessura determinada em projeto por meio de saída niveladora controlada.

TOME NOTA:

Para mais informações sobre a execução de serviços utilizando Asfalto-espuma, verificar as especificações de serviço DNIT 169/2014-ES - Reciclagem de pavimento em usina com espuma de asfalto e DNIT 166/2013-ES - Reciclagem de pavimento a frio "in situ" com adição de espuma de asfalto.

6. AGENTES REJUVENESCEDORES (ARE, AR)

Ao longo do tempo, sob efeito das intempéries, o ligante asfáltico perde parte de suas frações maltênicas (aromáticos do asfalto). Essas alterações provocam uma elevação relativa na quantidade de asfaltenos do ligante asfáltico, tornando-o mais rígido e frágil. Para devolver as características de flexibilidade do ligante, utiliza-se o chamado agente rejuvenescedor que visa repor parte desta fração aromática.

O uso de aditivos químicos ao ligante envelhecido recoloca as resinas e óleos aromáticos para a recuperação das características do ligante. Os principais agentes rejuvenescedores disponíveis no mercado são os agentes à base de óleo de xisto e à base de alcatrão.

Os agentes rejuvenescedores à base de óleo de xisto podem ser: a frio - ARE e a quente - AR. Estes são classificados conforme a viscosidade do ligante asfáltico: AR-1 e ARE-1; AR-5 e ARE-5; AR-25 e ARE-25; AR-75 e ARE-75; AR-250 e ARE-250; AR-500 e ARE-500.

Quanto mais envelhecido for o asfalto a ser rejuvenescido, menos viscoso deve ser o agente. Os agentes são utilizados em processos de reciclagem a quente, seja em usina ou *in situ*, já para as reciclagens a frio são utilizados os agentes

rejuvenescedores emulsionados. O agente rejuvenescedor a quente é disponibilizado pela Petrobrás, com especificações dadas pelo DNC 733/97 (extinto Departamento Nacional de Combustíveis, atualmente Agência Nacional de Petróleo - ANP), conforme

Tabela 1.

Tabela 1 - Especificação Brasileira para Agentes Rejuvenescedores - DNC 733/97

Características	Unidade	Especificações					
		AR1	AR5	AR25	AR75	AR250	AR500
		Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.
Viscosidade cinemática, 60°C	cSt	50 175	176 900	901 4.500	4.501 12.500	12.501 37.500	37.501 60.000
Ponto de fulgor (VAC) ¹	°C	218	218	218	218	218	218
Saturados	% massa	30	30	30	30	30	30
ECA, 163°C (Efeito do calor e do ar)							
Razão viscosidade ²	-	4	4	4	4	4	4
Varição de massa, máx.	%	4	4	3	3	3	3
Densidade 20/4°C		Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar

¹VAC – Vaso Aberto de Cleveland.

²Razão de viscosidade = $\frac{\text{Viscosidade a } 60^{\circ}\text{C após RTFOT ou TFOT}}{\text{Viscosidade a } 60^{\circ}\text{C antes RTFOT ou TFOT}}$

Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008

Diversos tipos de agentes rejuvenescedores são testados, fabricados e lançados no mercado, como óleos de base biológica e óleos vegetais modificados. Entretanto, parte dos produtos são patenteados, o que prejudica uma descrição química detalhada. O que se busca com o agente rejuvenescedor é reestabelecer as características do ligante asfáltico, após seu envelhecimento.

7. ASFALTO MODIFICADO

O CAP pode receber adição de polímeros como o SBR (borracha estireno-butadieno), o EVA (etileno-acetato de vinila) ou o SBS (estireno-butadieno-estireno), além de poder ser modificado pelo uso da borracha de pneus. Os modificadores interferem no comportamento reológico do CAP, conferindo elasticidade e melhorando suas propriedades mecânicas.

O Asfalto Modificado apresenta uma série de vantagens em sua utilização. Com o uso destes modificadores ocorre uma diminuição da suscetibilidade térmica do ligante, uma melhor característica adesiva e coesiva, uma maior resistência ao envelhecimento, uma elevação em seu ponto de amolecimento, o aumento da sua elasticidade, o aumento da resistência à deformação permanente e a melhora das características de fadiga e da propagação de fendas (THIVES, 2016).

Para condições de alto volume de veículos comerciais com pesos por eixo crescente em rodovias de grande fluxo ou em aeroportos, em corredores de tráfego pesado e canalizado em condições adversas de clima e com ampla variação térmica entre inverno e verão, o uso dos asfaltos modificados tem sido necessário.

O uso dos asfaltos modificados reduz os custos de manutenção dos pavimentos, aumenta sua resistência ao envelhecimento e oxidação e também à abrasão das misturas. Seu uso também é recomendado para revestimento de pontes com objetivo de reduzir a susceptibilidade térmica e aumentar a resistência à flexão no pavimento.

Para a escolha do modificador a ser utilizado alguns fatores são considerados como: o preço do polímero, a facilidade de incorporação do polímero no asfalto, os equipamentos disponíveis para mistura do polímero com o asfalto, a composição química do cimento asfáltico a ser modificado pelo polímero, a resistência ao envelhecimento, a estabilidade à estocagem e também sua curva de viscosidade para estimativa da temperatura de usinagem e compactação.

Os polímeros são classificados conforme seu comportamento frente às variações térmicas. São do tipo termorrígidos, termoplásticos, elastoméricos e elasto-termoplásticos. Nem todos os polímeros são passíveis de serem adicionados ao CAP e nem todo CAP quando modificado por polímeros apresenta estabilidade à estocagem (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Alguns ensaios mais aprofundados podem ser necessários para a avaliação dos asfaltos modificados. Estes são necessários para garantir a obtenção de asfaltos modificados compatíveis e com baixa viscosidade à alta temperatura, facilitando o bombeamento, a usinagem e a compactação da mistura asfáltica desejada. Entretanto, ainda se discutem quais seriam os mais adequados ensaios de desempenho.

Nos AMP, a viscosidade não pode ser determinada pelos viscosímetros capilares ou Saybolt Furol. Devem ser determinados em viscosímetros dinâmicos com registro da taxa de cisalhamento e geometria. Ainda há uma certa dificuldade em se estabelecer temperaturas de mistura e compactação.

7.1. ASFALTO MODIFICADO POR POLÍMERO (AMP)

O Asfalto Modificado por Polímero - AMP, conforme apresentado, possui para o polímero do tipo elastomérico, especificações em norma DNIT 129/2011-EM. Nesta normativa, polímero se define como substância macromolecular que resulta da união de moléculas simples.

Os AMP elastoméricos são classificados segundo o Ponto de Amolecimento e sua recuperação elástica a 25 °C. São os tipos: CAP-55/75-E, 60/85-E e 65/90-E. A Tabela 2, demonstra os limites estabelecidos e os ensaios a serem seguidos, conforme NORMA DNIT 129/2011-EM.

Tabela 2 - Características do cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico

Características	Unidade	55/75-E	60/85-E	65/90-E	Método de Ensaio	
		Limite da Especificação			ABNT / NBR	DNIT- ME
Penetração 25°C, 5s, 100g	0,1 mm	45 – 70	40-70	40-70	-	155/2010
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	55	60	65	-	131/2010
Ponto de Fulgor, mín.	°C	235	235	235	11341	-
Viscosidade Brookfield a 135°C, spíndle 21, 20 rpm, máx.	cP	3000	3000	3000	15184	-
Viscosidade Brookfield a 150°C, spíndle 21, 50 rpm, máx.	cP	2000	2000	2000	15184	-
Viscosidade Brookfield a 177°C, spíndle 21, 100 rpm, máx.	cP	1000	1000	1000	15184	-
Ensaio de Separação de Fase, máx.	°C	5	5	5	15166	-
Recuperação Elástica a 25°C, 20 cm, mín.	%	75	85	90	-	130/2010
Efeito do calor e do ar - RTFOT , 163 °C, 85 minutos						
Variação de massa, máx., (1)	% massa	1,0	1,0	1,0	15235	-
Variação do PA, máx.	°C	- 5 a +7	- 5 a +7	- 5 a +7	-	131/2010
Porcentagem de Penetração Original, mín.	%	60	60	60	-	155/2010
Porcentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín.	%	80	80	80	-	130/2010

Fonte: DNIT, 2011.

O polímero elastomérico é de fácil incorporação e não requer alto cisalhamento, possui boa resistência ao envelhecimento e fácil dispersão no CAP. A sua utilização também promove resistência à deformação permanente.

7.2.ASFALTO MODIFICADO POR BORRACHA DE PNEUS (AMB)

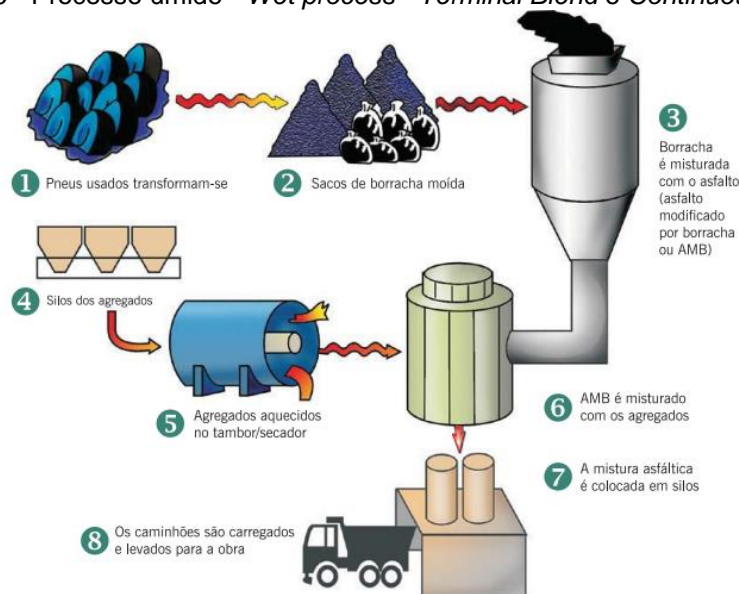
O Asfalto Modificado por Borracha de Pneus (AMB) é o CAP acrescido de borracha moída de pneus. O processo de incorporação utiliza alta temperatura e alto cisalhamento, o que propicia a degradação e a desvulcanização parcial da borracha moída durante a incorporação no asfalto. O tamanho da partícula deve ser observado para garantir a compatibilidade do ligante. O menor tamanho de partícula da borracha propicia maior viscosidade a alta temperatura.

As misturas com borracha de pneu requerem de 3 a 4 vezes mais quantidade de polímero virgem para alcançar as mesmas propriedades reológicas, devido ao fato de a borracha conter de 40% a 50% de elementos não polímeros e os polímeros estarem vulcanizados (THIVES, 2016).

A legislação ambiental que obriga que as empresas fabricantes ou reformadoras de pneus devam dar destinação final aos pneus inservíveis, aliada aos benefícios da incorporação dos polímeros no ligante asfáltico, incentivou a utilização desse tipo de AMB. Além de utilizar grandes volumes do resíduo das borrachas de pneus, há melhorias para as misturas asfálticas sob vários aspectos.

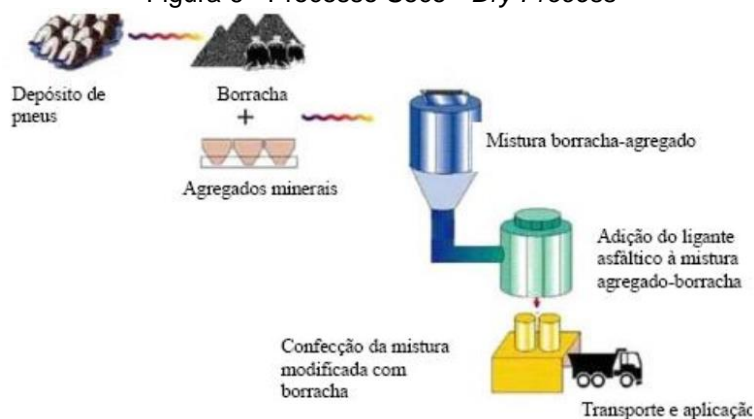
A incorporação da borracha às misturas asfálticas se dá de duas maneiras: pelo processo úmido (*wet process*) ou pelo processo seco (*dry process*), conforme Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 - Processo úmido - *Wet process - Terminal Blend e Continuous Blend*



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Figura 6 - Processo Seco - *Dry Process*



Fonte: THIVES, 2016.

No processo úmido, a incorporação da borracha de pneu é feita ao CAP como um polímero modificador das suas características. No processo seco, a incorporação é feita à mistura asfáltica como substituição de parte do agregado.

O ligante modificado por borracha por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser estocável ou não estocável. O sistema não estocável é conhecido como “Continuous Blending”, é produzido na própria obra e deve ser aplicado imediatamente. O sistema estocável, conhecido como “Terminal Blending” é preparado em um terminal especial, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, podendo ser transportado até a obra.

A norma DNIT 111/2009 - EM especifica o cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending”. O teor mínimo de borracha deve ser de 15% em peso, incorporado ao ligante asfáltico por via úmida e os limites estabelecidos e os ensaios a serem seguidos estão demonstrados na Tabela 3.

As aplicações do asfalto borracha são diversas. Seu uso pode ser no concreto asfáltico denso, em Membranas Absorvedoras de Tensão (SAM), em Camadas intermediárias anti-reflexão de trincas (SAMI), no Concreto Asfáltico Descontínuo (*Gap Graded*), em Camada Porosa de Atrito (aberto), em Camada Selante (*Cape Seal*) e também em tratamentos superficiais duplos e triplos (THIVES, 2016).

Tabela 3 - Características do cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida

Características	Unid.	Asfalto Borracha		Métodos de ensaio
		Tipo AB 8	Tipo AB 22	
Penetração, 100g, 5s, 25°C	0,1mm	30-70	30-70	DNER ME 003/99
Ponto de Amolecimento, min, °C	°C	55	57	DNER ME-247/94
Viscosidade Brookfield, 175°C, 20rpm, Spindle 3	cP	800-2000	2200-4000	NBR 15529
Ponto de Fulgor, min	°C	235	235	DNER ME 148/94
Recuperação Elástica Ductilômetro, 25°C, 10 cm, min	%	50	55	NBR 15086:2006
Estabilidade à estocagem, máx	°C	9	9	DNER ME-384/99
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C:				
– Variação em massa, máx.	%	1	1	NBR 15235:2006
– Variação do Ponto de Amolecimento, máx	°C	10	10	DNER ME-247/94
– Porcentagem de Penetração Original, mín.	%	55	55	DNER ME 003/99
– Porcentagem da Recuperação Elástica Original, . 25°C 10cm, mín.	%	100	100	NBR 15086:2006

* Ensaio no resíduo do material resultante do ensaio NBR 15235:2006

Fonte: DNIT, 2009.

8. EMULSÕES ASFÁLTICAS

Como exposto no item 3, nos Asfaltos Diluídos de Petróleo - ADP é feita a adição de um diluente de petróleo com o objetivo de evitar a necessidade de aquecimento do CAP a fim de obter viscosidades de trabalho nos serviços de pavimentação. Uma outra maneira de se atingir essas viscosidades no CAP é por meio do emulsão do asfalto com as Emulsões Asfálticas de Petróleo - EAP.

As emulsões asfálticas são dispersões coloidais de uma fase asfáltica (50 a 70 % de CAP) em fase aquosa composta de agentes emulsificantes e aditivos que estabilizam o produto, promovem a melhoria da adesividade e o controle de ruptura. Entre as vantagens das emulsões asfálticas está a redução da viscosidade do CAP, possibilitando a sua utilização em temperatura ambiente e reduzindo a liberação de voláteis e oxidação do CAP (ABEDA, 2022).

Uma emulsão é definida como uma dispersão estável entre dois ou mais líquidos que não se misturam. A emulsão asfáltica é constituída por parcelas de água e asfalto, com a inserção de emulsificante ou emulsionante. Estes componentes são inseridos em um moinho coloidal que cisalha o asfalto em pequenos glóbulos. O emulsificante é um agente tensoativo que reduz a tensão superficial das moléculas, permitindo que os glóbulos do asfalto permaneçam estáveis em suspensão na água por um certo tempo, evitando sua ruptura.

Os agentes emulsificantes conferem cargas elétricas, positivas ou negativas, ou, em alguns casos, não conferem ionicidade aos glóbulos de asfalto. Desta forma, a emulsão asfáltica é classificada quanto à carga da partícula em: catiônica (cargas positivas), aniônica (carga negativa), neutra (sem ionicidade) ou como anfotérica (que atraem tanto cargas positivas quanto negativas).



TOME NOTA:

As emulsões catiônicas são as de maior uso na pavimentação pelo seu melhor desempenho nos serviços.

Quando ocorre a separação entre as fases da água e do asfalto, considera-se que ocorreu a ruptura da emulsão. O tempo necessário para que se ocorra essa separação de fases confere diferentes usos em campo para a emulsão, servindo,

também, como base para a sua classificação quanto à velocidade de ruptura. Esta velocidade é função da composição química do agente emulsificante e da sua dosagem na emulsão e seus fatores podem ser alterados por alguns fatores, conforme Figura 7.

Figura 7 - Fatores que interferem na ruptura da emulsão asfáltica

FATORES QUE <i>RETARDAM</i> A RUPTURA	FATORES QUE <i>ACELERAM</i> A RUPTURA
Emprego de um asfalto de alta viscosidade (cimentos asfálticos) 	Emprego de um asfalto de baixa viscosidade (asfaltos diluídos ou fluxados) 
Pequena concentração de asfalto 	Concentração de asfalto elevada 
Emprego de uma elevada quantidade de emulsivo 	Emprego de uma pequena quantidade de emulsivo 
Emprego de um emulsivo aniônico 	Emprego de um emulsivo catiônico 
Utilização de um material úmido pouco reativo e uma pequena superfície específica 	Utilização de um material seco reativo e com alta superfície específica 
Temperatura ambiente. Temperatura baixa dos agregados e da emulsão 	Temperatura ambiente. Temperatura alta dos agregados e da emulsão 
Ausência ou pequena agitação das misturas emulsão + agregados 	Agitação intensa da mistura emulsão + agregados 

Fonte: (Adaptado de ABEDA, PETROBRAS; 2009)

As emulsões podem ser classificadas em: RR - ruptura rápida, RM - ruptura média, RL - ruptura lenta e RC - ruptura controlada.

- A emulsão RR é considerada rápida porque ocorre imediatamente após seu contato com agregados limpos de baixa área superficial, por exemplo, na briga utilizada para tratamento superficial.
- A emulsão RM é considerada média porque há um tempo de exposição maior, permitindo a mistura da emulsão com agregados sem sujidades e com baixa área superficial, como, por exemplo, em britas utilizadas em pré-misturados abertos.

- A emulsão RL é considerada lenta quando seu tempo de rompimento é superior à média e a rápida e permite a mistura com agregados de elevada área superficial, como os agregados miúdos, pó de pedra e filer utilizados em pré-misturados densos.
- A emulsão RC é considerada controlada porque sua reatividade é intermediária entre a RM e a RL e pode ter seu tempo controlado conforme necessidade de aplicação com diferentes aditivos. Ela é formulada especialmente com características específicas dependendo do tipo de estrutura da via, clima e tráfego. A emulsão é utilizada em lama asfáltica de ruptura controlada e microrrevestimento asfáltico.

As emulsões também possuem a terminologia 1C e 2C, onde C indica emulsão asfáltica do tipo catiônica, e os números 1 ou 2 estão associados a menor e maior viscosidade/teor de asfalto, respectivamente. Segundo a ABEDA (2010), para Lamas Asfálticas, há três tipos de emulsões: LA-1C, LAN e LARC, onde a terminologia N significa carga de partícula neutra e RC significa ruptura controlada. A mesma proposição foi feita para as emulsões asfálticas para imprimação (EAI).

Os resíduos das emulsões asfálticas modificadas por polímeros elastoméricos SBS e SBR apresentam vantagens sobre os resíduos das emulsões convencionais, a saber (ABEDA,2010):

- menor susceptibilidade térmica tanto a alta quanto a baixa temperatura;
- maior coesão interna que se transmite à mistura asfáltica ou tratamentos de superfície;
- maior elasticidade, praticamente inexistente nos resíduos asfálticos das emulsões convencionais;
- maior adesividade aos agregados;
- maior resistência ao envelhecimento em serviço.

Essas características são fundamentais, principalmente para as técnicas a frio.

Em uma estrutura de pavimento, em todas as camadas asfálticas existentes, pode-se utilizar as emulsões asfálticas. Desde um pavimento novo até a reconstrução de camadas destinadas à recuperação e ao rejuvenescimento do

rolamento. A Tabela 4 apresenta sugestões para o emprego de emulsões em serviços asfálticos.

Tabela 4 - Sugestão para emprego de materiais asfálticos em pavimentação

CARACTERÍSTICAS	EMULSÕES ASFÁLTICAS														
	CONVENCIONAIS								RUPTURA CONTROLADA	ELASTOMÉRICAS					ARES ¹
	RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA		RUPTURA LENTA			RUPTURA RÁPIDA		RUPTURA MÉDIA	RUPTURA CONTROLADA	RUPTURA LENTA			
	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C	LA-1C	LAN	EA I	LA-RC	RR1C-E	RR2C-E	RM1C-E	RC1C-E	RL1C-E	
Imprimação								x							
Pintura de Ligação	x									x					
TSS		x									x				
TSD		x									x				
TST		x									x				
Macadame Betuminoso		x									x				
PMF Aberto			x	x								x			
PMF Denso					x									x	
Areia Asfalto à Frio			x	x	x							x		x	
Mistura na Estrada				x	x										
Microrevestimento													x		
Solo-Emulsão					x										
Lama Asfáltica						x	x			x					
SAM/SAMI											x				
Reciclagem à Frio														x	

(1) ARE = Agente de reciclagem emulsionado.

Fonte: ABEDA, 2010.

9.ASFALTOS OXIDADOS OU SOPRADOS DE USO INDUSTRIAL

Os asfaltos oxidados ou soprados de uso industrial são obtidos pela passagem de uma corrente de ar através da massa de asfalto, em temperatura adequada, com ou sem catalisador. Eles são mais sólidos e mais duros que o CAP e menos sensíveis às intempéries, menos adesivos, menos aglutinantes, menos dúcteis. Os asfaltos oxidados são adequados às impermeabilizações.

Seu processo de fabricação consiste em uma desidrogenação e policondensação. Uma geração de átomos policondensados e eliminação de água (pelo aumento de carbono e redução de hidrogênio).

O uso mais comum destes asfaltos é industrial (Figura 8), com aplicações em telhados, EM revestimentos acústicos e isolamentos elétricos. Por serem menos dúcteis, apresentam maior resistência à variação de temperatura.

Figura 8 -Asfaltos oxidados



Código 1032
ASFALTO OXIDADO B-105 / KG



Código 13
ASFALTO OXIDADO O-94 / KG



Código 924
BETUPLAST

Fonte: Adaptado de THIVES, 2016.

10. REFERÊNCIAS

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. Manual Básico de Emulsões Asfálticas. Rio de Janeiro, ABEDA, 2001. 2ª ed. 2010

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. Página da web. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/produtos/#produtos-emulsoes>. Acesso em 30 abr. 2022.

ABEDA – PETROBRAS. *Emulsões Asfálticas*. Programa Asfalto na Universidade, 2009.

BERNUCCI, *et al.* *Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros*. 2008.

SENÇO, W. In: Manual de técnicas de pavimentação., Ed.; Pini, São Paulo, Vol.1, p. 1-746, 1997

THIVES, L. P. *Comportamento dos materiais empregados na pavimentação: Ligantes Asfálticos*. 2016. 16 p. Notas de Aula.