

## FATEC - FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

## ESTRADAS

## LIGANTE ASFÁLTICO

2. SEM -2024 -

Dr. Edson de Moura

1

## Petróleo bruto ou cru

2

## Refinarias da Petrobrás

## Petróleo Bruto ou Cru

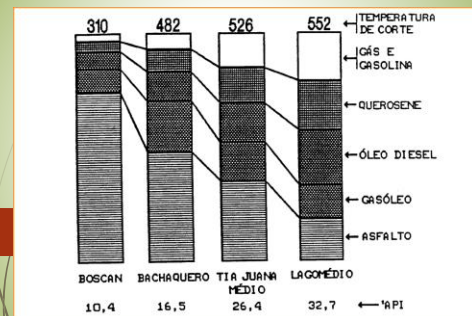
Praticamente, todo o asfalto em uso hoje em dia é obtido do processamento de petróleo bruto (ou cru).

Muitas refinarias são localizadas próximas a locais com transporte por água, ou supridos por dutos a partir de terminais marítimos.



3

## Rendimento de CAP por petróleos - (exemplos)



4

## Rendimento de CAP por petróleos - (exemplos)

| ORIGEM DO PETRÓLEO CRU | MASSA ESPECÍFICA A 15°C (kg/m³) | TEOR DE ASFALTENOS (%) | RESÍDUO EM BETUME (% de massa sobre o bruto) |
|------------------------|---------------------------------|------------------------|----------------------------------------------|
| Boscan (Venezuela)     | 1.005                           | 10,5                   | 79                                           |
| Rospomare              | 983                             | 17,4                   | 75                                           |
| Bachaquero             | 975                             | 6,4                    | 49                                           |
| Tia Juana              | 897                             | 4,0                    | 30                                           |
| Safaniya               | 892                             | 4,5                    | 36                                           |
| Árabe médio            | 891                             | 3,5                    | 34                                           |
| Kuwait                 | 867                             | 1,4                    | 19                                           |
| Árabe leve             | 858                             | 1,3                    | 19                                           |
| Kirkuk                 | 843                             | 2,1                    | 18                                           |

Lombardi, 1983

5

## COMPOSIÇÃO DO PETRÓLEO

- C1 e C2 – GN até 40°C
- C3 a C5 – GLP até 40°C
- C6 a C10 – Nafta (solventes, gasolina – 40°C a 180°C)
- C11 a C12 – querosene – 180 °C– 230 °C
- C13 a C17 – óleo diesel – 230 °C – 300 °C
- C18 a C25 – gasolina, óleos lubrificantes, óleos combustíveis, parafina – 300 °C – 400 °C
- C26 – C38 – óleos lubrificantes – 400°C - 520 °C
- C38 – asfalto – resíduo

Somente alguns tipos de petróleo são apropriados para a obtenção de asfalto

6

## PETRÓLEO

- **Petróleo leve ou intermediário** – Médio ou baixo rendimento (2 estágios de destilação)

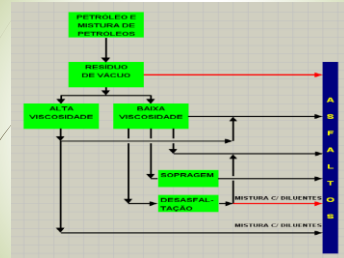
Ex. Árabe leve , Carmópolis

O CAP obtido é um resíduo de vácuo que necessita da adição de diluente

As refinarias são projetadas para produzirem asfalto a partir de mistura de diversos petróleos.

7

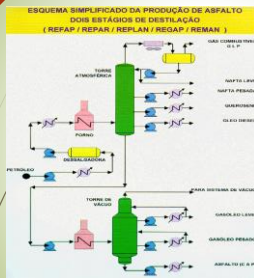
## Produção de CAP



Fonte: BR Distribuidora

8

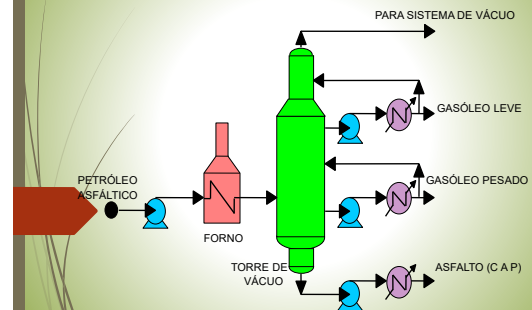
## Produção de CAP



Fonte: BR Distribuidora

9

Produção  
Destilação em apenas um estágio



10

## LEI GERAL DOS GASES

- A equação que envolve as variáveis de estado  $P$ ,  $T$  e  $V$  dos gases, é conhecida como **equação geral dos gases**:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

O cru (líquido) é gradativamente "aquecido" até 400°C e o vapor atinge 210°C (no topo da coluna de destilação)

Faixas: gasolina = T°C ambiente até 210°C  
querosene = até 300°C  
óleo diesel = até 400°C

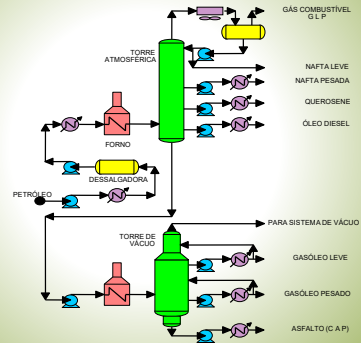
A aplicação de pressão de vácuo de 10 mm Hg no vapor que está a 210°C, voláteis mais pesados formam um novo volume de vapor, nesse caso de óleo diesel que corresponde à 400°C

Dessa forma, variando-se a pressão pode-se extrair produtos dos vapor até temperaturas de 550°C.

Os parâmetros controlados na destilação do petróleo:

**Temperatura e Pressão**

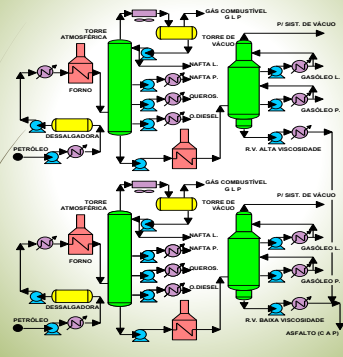
Produção  
Dois estágios de destilação



12

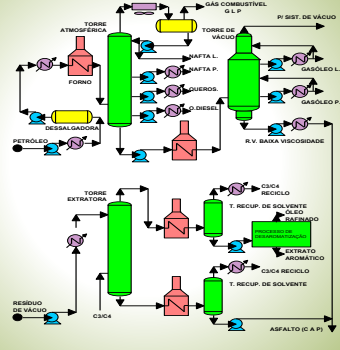
11

### Mistura de RV de alta e baixa viscosidade



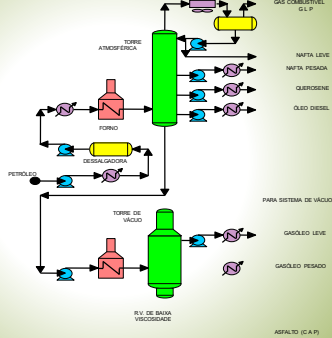
13

### Mistura de RASF e diluente



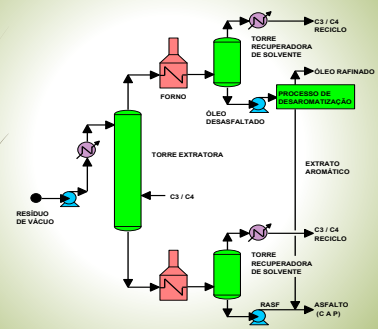
14

### Semi sopragem



15

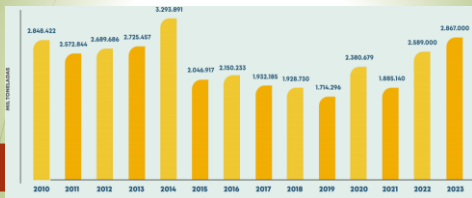
### Produção de asfalto unidade de desasfaltação a propano



16

### EVOLUÇÃO DO MERCADO CONSUMO DE ASFALTOS NAS REFINARIAS DO BRASIL

2010 - 2023



Fonte: Abeda/ANP 2024

17

### Cimento Asfáltico de Petróleo CAP

18

## Denominação

No passado o agente aglutinante utilizado nas misturas asfálticas era denominado de betume - rochas (gilsonita) impregnadas (naturalmente) com asfáltico daí a denominação de concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

O alcatrão, devido às suas características cancerígenas, teve seu uso gradativamente abandonado em misturas asfálticas, assim, para a produção de misturas asfálticas passou-se somente a utilizar o cimento asfáltico oriundo da destilação do petróleo, sendo a mistura, com emprego desse tipo de ligante denominada de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ).

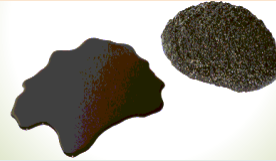
Entretanto, como o cimento asfáltico é um material termoplástico e só pode ser misturado aos agregados se estiver aquecido, o termo: usinado a quente torna-se redundante, assim, tem-se utilizado atualmente, somente a denominação de concreto asfáltico (CA).

19

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

O asfalto utilizado em pavimentação tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água, pouco reativo e de coloração marrom a preta.

Ele proporciona forte união dos agregados, formando uma mistura flexível, de baixa permeabilidade, resistente à maioria dos ácidos, álcalis e sais.



A pouca reatividade química a muitos agentes não evita que este material possa sofrer um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água.

20

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Sua constituição: hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos não voláteis de elevada massa molecular e uma pequena quantidade de grupos funcionais formados por enxofre, nitrogênio e oxigênio.

- Carbono, 82 a 88%;
- Hidrogênio, 8 a 11%;
- Enxofre, 0 a 6%;
- Oxigênio, 0 a 1,5% e
- Nitrogênio, 0 a 1%.

Sua composição química varia principalmente em função da origem do petróleo e, em menor grau, do processo empregado em seu refino.

21

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

De maneira simplificada, o asfalto pode ser representado por três componentes principais:

- uma componente maltênica (~78%),
- uma asfáltica (~20%) e
- uma resina (~2%),

22

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

No Brasil, utiliza-se a denominação cimento asfáltico de petróleo - CAP - para designar o asfalto empregado no setor rodoviário. Eles são caracterizados segundo as normas brasileiras ABNT e NBR e especificados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP.

A Especificação ANP - Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005 - classifica e caracteriza os CAPs empregados no Brasil. De acordo com esta resolução, os CAPs brasileiros são classificados pela penetração. Nessa classificação há atualmente quatro tipos de CAP, classificados por penetração:

23

## CLASSIFICAÇÃO DOS CAP

Até 2005 a classificação dos CAPs no Brasil era feita através do ensaio de Viscosidade Absoluta a 60°C, em Poise.

Atualmente os CAPs são classificados de acordo com sua Penetração em 0,1mm (25°C, 100g, 5s).

24

## Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

- CAP 30/45,
- CAP 50/70,
- CAP 85/100 e
- CAP 150/200,

Constituindo-se em produtos básicos para a produção de outros materiais asfálticos, como, por exemplo:

- os asfaltos diluídos de petróleo,
- as emulsões,
- os asfaltos modificados por polímeros e
- os asfaltos modificados por borracha moída de pneus

25

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005

| Características                      | Unidade | Limites         |                 |                 |                 | Métodos   |        |
|--------------------------------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|--------|
|                                      |         | CAP 30-45       | CAP 50-70       | CAP 85-100      | CAP 150-200     | ABNT      | ASTM   |
| Penetração (100g, 5s, 25 °C)         | 0,1mm   | 30 a 45         | 50 a 70         | 85 a 100        | 150 a 200       | NBR 6576  | D 5    |
| Ponto de Amolecimento                | °C      | 52              | 46              | 43              | 37              | NBR 6560  | D 36   |
| Viscosidade Saybolt-Furol            |         |                 |                 |                 |                 |           |        |
| a 135°C                              | s       | 192             | 141             | 110             | 80              | NBR 14950 | E 102  |
| a 150°C                              |         | 90              | 50              | 43              | 36              |           |        |
| a 177°C                              |         | 40 a 150        | 30 a 150        | 15 a 60         | 15 a 60         |           |        |
| Viscosidade Brookfield               |         |                 |                 |                 |                 |           |        |
| a 135°C, SP 21, 20rpm min            | cP      | 374             | 274             | 214             | 155             | NBR 15184 | D 4402 |
| a 150°C, SP 21, min                  |         | 203             | 112             | 97              | 81              |           |        |
| a 177°C, SP 21 min                   |         | 76 a 285        | 57 a 285        | 28 a 114        | 28 a 114        |           |        |
| Índice de Susceptibilidade Térmica   |         | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | -         | -      |
| Ponto de Fulgor min.                 | °C      | 235             | 235             | 235             | 235             | NBR 11341 | D 92   |
| Solubilidade em tricloroetileno, min | % massa | 99,5            | 99,5            | 99,5            | 99,5            | NBR 14855 | D 2042 |
| Ductilidade a 25 °C, min.            | cm      | 60              | 60              | 100             | 100             | NBR 6293  | D 113  |

26

A Especificação ANP – Resolução número 19, de 11 de julho de 2005 e Regulamento Técnico número 3/2005 (continuação)

| Características                            | Unidade | Limites   |           |            |             | Métodos  |        |
|--------------------------------------------|---------|-----------|-----------|------------|-------------|----------|--------|
|                                            |         | CAP 30-45 | CAP 50-70 | CAP 85-100 | CAP 150-200 | ABNT     | ASTM   |
| Efeito calor e ar a 163 °C, 85 min - RTFOT |         |           |           |            |             |          | D 2872 |
| Varição em massa, máx                      | % massa | 0,5       | 0,5       | 0,5        | 0,5         |          |        |
| Ductilidade a 25 °C                        | cm      | 10        | 20        | 50         | 50          | NBR 6293 |        |
| Aumento do Ponto de Amolecimento           | °C      | 8         | 8         | 8          | 8           | NBR 6560 |        |
| Penetração Retida (*)                      | %       | 60        | 55        | 55         | 50          | NBR 6576 |        |
|                                            |         |           |           |            |             |          | D 5    |

(\*) relação entre a penetração após o efeito do calor e do ar em estufa RTFOT e a penetração antes do ensaio.

27

## Tipos de ligantes asfálticos para pavimentação



- Cimentos asfálticos de petróleo - CAP;
- Asfaltos diluídos de petróleo - ADP;
- Emulsões asfálticas - EAP;
- Agentes rejuvenescedores
- Asfaltos modificados; elastoméricos (SBS) não elastomérico (TLA, Asfáltica, etc)
- AMB - asfalto modificado por borracha de pneu moído

28

## Asfaltos modificados

Por que modificar ligante asfáltico?

A necessidade de modificar ligantes asfálticos está no ganho das propriedades reológicas.

Aumentar o ponto de amolecimento para resistir a temperaturas mais elevadas de trabalho do pavimento e a maiores esforços das cargas.

Aumentar a viscosidade resultando em maior espessura de filme (resistência ao envelhecimento) sem risco de exsudação

Aumentar a recuperação elástica para resistir a mais repetição de cargas

Menor variação do módulo de resiliência com a temperatura, minimizando a formação de trilhas de roda para altas temperaturas e trincamento para baixas.

Propicia uma melhor adesividade ligante asfáltico/agregado.

Ligante asfáltico modificados por polímero apresentam melhor resistência ao envelhecimento

29

## Asfaltos modificados

A ANP, através de sua Resolução ANP Nº 32, DE 21.9.2010 - DOU 22.9.2010, regulamenta os parâmetros que os ligantes asfálticos modificados por polímeros elastoméricos devem apresentar.

| CARACTERÍSTICA                                           | UNIDADE | LIMITE     |            |            |            | MÉTODO    |        |
|----------------------------------------------------------|---------|------------|------------|------------|------------|-----------|--------|
|                                                          |         | Superfície | Superfície | Superfície | Superfície | ABNT      | ASTM   |
| Penetração (100g, 5s, 25°C)                              | 0,1mm   | 30 a 45    | 46 a 70    | 85 a 100   | 150 a 200  | NBR 6576  | D 5    |
| Ponto de amolecimento                                    | °C      | 52         | 46         | 43         | 37         | NBR 6560  | D 36   |
| Viscosidade Brookfield                                   |         |            |            |            |            |           |        |
| a 135°C, SP 21, 20 rpm min                               | cP      | 374        | 274        | 214        | 155        | NBR 15184 | D 4402 |
| a 150°C, SP 21, min                                      |         | 203        | 112        | 97         | 81         |           |        |
| a 177°C, SP 21, 150 min min                              |         | 76 a 285   | 57 a 285   | 28 a 114   | 28 a 114   |           |        |
| Ponto de fulgor, min                                     | °C      | 235        | 235        | 235        | 235        | NBR 11341 | D 92   |
| Ensaio de separação de fase, min                         | °C      | 235        | 235        | 235        | 235        | NBR 15184 | D 4402 |
| Recuperação elástica a 25°C, 20 min min                  | %       | 75         | 85         | 90         | 90         | NBR 14855 | D 2042 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 min min      |         |            |            |            |            |           |        |
| Varição em massa, máx                                    | % massa | 0,5        | 0,5        | 0,5        | 0,5        | NBR 6293  | D 2872 |
| Varição de ponto de amolecimento, máx                    | °C      | 8 a 17     | 8 a 17     | 8 a 17     | 8 a 17     | NBR 6560  | D 36   |
| Penetração de recuperação elástica                       | %       | 60         | 55         | 55         | 50         | NBR 6576  | D 5    |
| Recuperação de recuperação elástica original a 25°C, min | %       | 60         | 55         | 55         | 50         | NBR 6576  | D 5    |

30



### Asfaltos modificados

Tipos de polímeros empregados para modificação de ligante asfáltico para fins rodoviários. A classificação de Disnmem, (DNER 1998):

- a) **termorrígidos**: são aqueles que não se fundem, degradam numa temperatura limite e endurecem irreversivelmente quando aquecidos a uma temperatura dependente de sua estrutura química. Como por exemplo: resina epóxi, poliuretano, (garrafa pet) etc.
- b) **termoplásticos**: são aqueles que se fundem e se tornam maleáveis reversivelmente quando aquecidos. São incorporados aos asfaltos à alta temperatura (LEITE, 1999). Como por exemplo, tem-se o polietileno, polipropileno atático e o policloreto de vinila (EVA), metacrilato de glicidil.

31

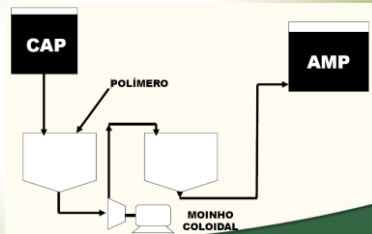
### Asfaltos modificados

- c) **elastômeros**: são aqueles que quando aquecidos se decompõem antes de amolecer, e apresentam propriedades elásticas que lembram a **borracha**. Como por exemplo, tem-se *Stireno-butadieno-rubber* (SBR) (DNER, 1998). trata-se de um polímero que é apresentado em meio aquoso e devido às suas características é utilizado em menor escala em modificações de ligante asfáltico.
- d) **elastômero-termoplásticos**: são aqueles que ao serem aquecidos se comportam como **termoplásticos**, mas em temperaturas mais baixas apresentam propriedades **elásticas**. Como exemplos, tem-se o SBS e o RET (DNER, 1998). *Styrene-Butadiene-Styrene* (SBS) é o mais empregado em modificação de ligantes.

32

### CAP MODIFICADO COM POLÍMERO

PRODUÇÃO



Fonte: BR Distribuidora

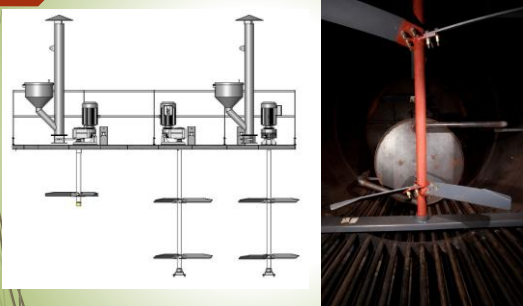
33

### Tanque com agitador



34

### Tanque com agitador



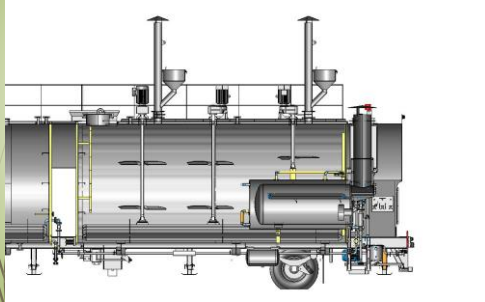
35

### Interior do tanque com agitador e sistema de aquecimento (óleo térmico)



36

## Tanque móvel com agitador



37

## Asfaltos modificados

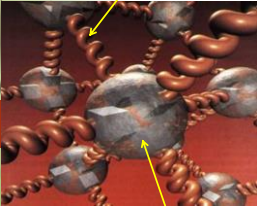
Com referência ao teor de polímero, tem-se praticado porcentagens na ordem de até 4%. Essa quantidade de polímero é função, principalmente, das características que se deseja atingir com o produto final e em menor escala ao tipo de ligante asfáltico matriz e também ao processo de incorporação do polímero.

Na denominação do ligante asfáltico modificado por polímero tem-se: 55/75E, 60/85E e 65/90E, a primeira dezena indica o ponto de amolecimento do ligante asfáltico modificado e a segunda dezena, indica a recuperação elástica e quanto maiores os valores numéricos, maior a porcentagem de polímero adicionado.

38

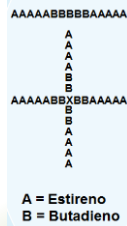
## Asfaltos modificados

Conformação espacial do SBS  
Domínio Butadiênico



Domínio Estirênico

Forma das ligações  
entre o estireno e o  
butadieno



39

## Asfaltos modificados

Determinação do teor de polímero em ligantes asfálticos modificados

Para se determinar a porcentagem de polímero SBS adicionado a um dado ligante asfáltico modificado é uma tarefa relativamente difícil, no processo de incorporação, ocorre uma reação química e devido a essa reação o processo de determinação não é usual.

Também existem variações quanto ao tipo de ligante asfáltico matriz, podendo existir dois tipos de ligantes asfálticos modificados por polímero SBS com mesma classificação, por exemplo, 55/75E, mas com adição de porcentagens de polímeros distintas.

Na prática, tem-se atentado para a classe em que o ligante asfáltico modificado se enquadra e não a quantidade de polímero adicionado.

40

## CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

- FORMAS DE INCORPORAÇÃO: via úmida e via seca
- VIA ÚMIDA – Estocável (Terminal Blending) e Não estocável (Just in time ou continuous Blending)
- Terminal Blending – Preparado em fábrica e transportado para a obra
- Just in time – Preparado na própria obra e aplicado imediatamente após a produção.

O DER/RJ possuiu uma unidade de produção do asfalto borracha do tipo Just in time

41

## CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

### VIA SECA

A borracha entra como parte do agregado pétreo, produzindo um material conhecido como "agregado- borracha"

Esse processo é pouco utilizado no mundo e quase nada no Brasil

42

### Ligante asfáltico modificado por BPM

Os ligantes asfálticos modificados por adição de BPM são denominados de fluidos pseudoplásticos quando acima de 100°C.

O processo de incorporação utiliza alta temperatura e alto cisalhamento que propicia a vulcanização de parte da borracha não vulcanizada no processo de industrialização do pneu, evidencia-se assim a preferência da utilização de borracha de pneus de caminhão em que, nesses pneus existem cerca de 70% de borracha em estado natural.

Diferentemente de pneus de veículos leves em que a porcentagem de borracha não vulcanizada é na ordem de apenas 30%.

### Especificação de ligante asfáltico modificado por BPM ANP Resolução n. 39 de 24.12.2008

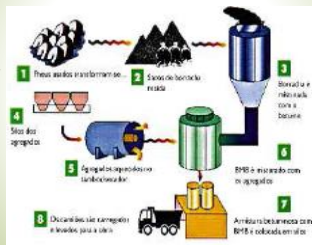
| CARACTERÍSTICA                                                  | UNIDADE | ABR      | ABR2     | ABR/NBR | MÉTODO |
|-----------------------------------------------------------------|---------|----------|----------|---------|--------|
| TIPO                                                            |         | ABR      | ABR2     | ABR/NBR | ASTM   |
| Penetração (100 g, 5s, 25°C)                                    | 0,1 mm  | 70 - 100 | 70 - 100 | 6576    | D 5    |
| Ponto de amolecimento, min.                                     | °C      | 55       | 55       | 6560    | D 36   |
| Viscosidade Brookfield a 175°C, spindle 3, 20 rpm, min.         | cP      | 100-200  | 100-200  | 15529   | D 2196 |
| Ponto de fulgor, min.                                           | °C      | 235      | 235      | 11241   | D 92   |
| Estabilidade à Fotooxidação, min.                               | °C      | 9        | 9        | 15166   | D 7173 |
| Recuperação Elástica a 25° C, 10 cm, min.                       | %       | 50       | 55       | 15086   | D 6084 |
| Variação em massa do RTOT, min.                                 | % massa | 1,0      | 1,0      | 15255   | D 2872 |
| Variação do ponto de amolecimento, min.                         | °C      | 10       | 10       | 6560    | D 36   |
| Porcentagem de Penetração original, min.                        | %       | 55       | 55       | 6576    | D 5    |
| Porcentagem de Recuperação Elástica Original (25°C, 10 cm) min. | %       | 100      | 100      | 15086   | D 6084 |

43

44

### CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

#### ► Método Terminal Blending (Fonte BR PETROBRAS)



Fonte: BR Distribuidora

45

### CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

#### ► Estágios de produção

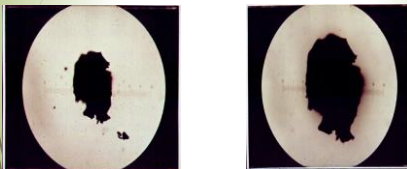


Fonte: BR Distribuidora

46

### CAP MODIFICADO COM BORRACHA MOÍDA

#### ► INCHAMENTO DA BORRACHA



Fonte: BR Distribuidora

47

Ensaios brasileiros de caracterização de CAP

48



### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

- Penetração
  - Ponto de amolecimento
  - Índice de consistência térmica
  - Viscosidade - Saybolt Furol (CAPs)
  - Viscosidade Rotacional (Brookfield)  
(ligantes modificados)
  - Ductilidade
- } Ensaio de consistência
- Ponto de Fulgor (segurança)
  - Solubilidade (qualidade - pureza)

49

### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

#### Penetração

50

### Ensaio de Consistência

#### Penetração

- Ensaio de classificação de cimentos asfálticos.
- Medida de consistência.
- Ensaio a 25°C, 100 g, 5s NBR 6576.
- Presente em especificações ASTM e européias.



51

### Ensaio de Consistência Penetração

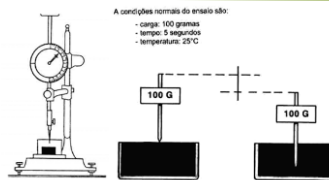


52

### Ensaio de Consistência

#### Penetração (ASTM D5-94 e NBR 6576)

- Profundidade, em décimo de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100 g) penetra numa amostra de cimento asfáltico (por 5 segundos) à temperatura de 25 °C.



Dureza do CAP é inversamente proporcional ao valor da penetração, por exemplo, o CAP-30/45 é mais duro do que o CAP-85/100.

53

### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

#### Ponto de amolecimento - PA

54

## PONTO DE AMOLECIMENTO

### Definição:

Mais baixa temperatura na qual uma esfera metálica padronizada, atravessando um anel também padronizado e cheio com o material asfáltico, percorre uma distância padronizada, sob condições especificadas

55

## Ensaio de Consistência

### Ponto de Amolecimento

- Ensaio classificatório de especificações europeia
- Especificação NBR 6560
- Empregado para estimativa de susceptibilidade térmica.
- Presente em especificações de asfaltos modificados e asfaltos soprados.

**PA corresponde a primeira dezena da denominação de ligante asfáltico modificados por polímero.**



56

## Ensaio de Consistência

### Ponto de Amolecimento - Anel Bola

- Uma bola de aço de dimensões e peso padronizados é colocada no centro de uma amostra de asfalto em banho. O banho é aquecido a uma taxa controlada de 5°C/minuto. Quando o asfalto amolece, a bola e o asfalto deslocam-se em direção ao fundo.



57

### Ponto de Amolecimento - Anel Bola

Início do ensaio

Final do ensaio



58

## PONTO DE AMOLECIMENTO



59

## PONTO DE AMOLECIMENTO

- Não possui ponto de fusão definido
- Amolece gradativamente com aumento da temperatura
- Ponto de amolecimento é uma medida arbitrária determinada sob condições pré-estabelecidas.

60

## Ensaios brasileiros de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

### ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE TÉRMICA Índice de *pfeiffer*

## Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica

A atual especificação brasileira admite uma variação do IST entre -1,5 a +0,7, também conhecido como índice de *pfeiffer*.

Valores de IST levemente positivos indicam um asfalto mais resistente a altas temperaturas, indicado para aplicação em regiões mais quentes. Entretanto, valores maiores que +0,7 indicam CAPs oxidados ou que sofreram um processo de envelhecimento no seu manuseio.

São CAPs muito duros, que tenderão a produzir misturas asfálticas de pouca flexibilidade, com desempenho comprometido quanto ao comportamento à fadiga (trincamento).

61

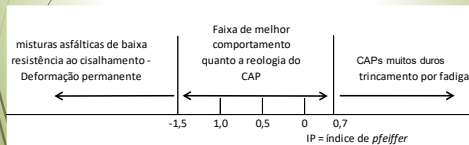
62

## Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica

Por outro lado, valores levemente negativos indicam um asfalto muito sensível a altas temperaturas, indicado para aplicação em regiões de temperaturas mais amenas e frias. Valores de IST abaixo de -1,5 tenderão a produzir misturas asfálticas de baixa resistência ao cisalhamento, com desempenho comprometido quando a deformação permanente (trilha de roda).

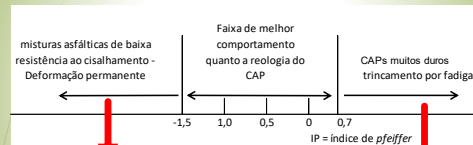


63

## Índice de consistência

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

Índice de Susceptibilidade Térmica



**IST < -1,5** – Indicam que o asfalto é muito sensível a alta temperatura possibilitando a ocorrência de deformações nas trilhas de roda e escorregamento do revestimento asfáltico

**IST > +0,7** – Indicam que o asfalto está oxidado (quebradiço a baixa temperatura e pouco sensível a alta temperatura)

64

## Ensaios brasileiros de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Viscosidade

## Ensaios brasileiros de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Viscosidade = Trabalhabilidade

65

66

## Ensaio de Consistência - Viscosidade

Determinando-se os valores da viscosidade para as temperaturas de 135 °C, 150 °C e 177 °C, é possível definir, através da curva viscosidade x temperatura do CAP, quais as temperatura que associadas à viscosidade do CAP oferece a melhor trabalhabilidade

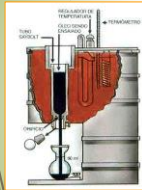
Deseja-se saber qual a melhor viscosidade que o CAP deve apresentar para bombeamento entre reservatórios. Qual a viscosidade que o CAP deve apresentar para o recobrimento do agregado na usinagem e por fim, qual a viscosidade para que ocorra o entrosamento dos agregados, de forma estável na compactação.

Ocorre que não é possível a determinação da viscosidade durante a execução das atividades de bombeamento, usinagem e/ou compactação. Entretanto, pode-se medir a temperatura do CAP e inferir a viscosidade correspondente desejável.

67

## VISCOSIDADE

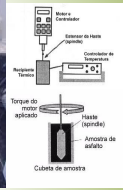
Dois métodos:



Saybolt Furler: Empírico



Brookfield: Embasamento teórico – Tensão de cisalhamento



Dependendo da consistência do CAP, os valores das temperaturas x viscosidade poderão variar significativamente.

68

## VISCOSIDADE

### Finalidade Saybolt Furler:

Determinar as temperaturas para produção da mistura asfáltica e para compactação dos CAPs

- Produção -  $85 \pm 10$  s (75 a 95)
- Compactação -  $140 \pm 15$  s (125 a 155)

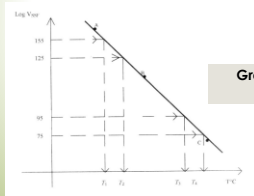


Gráfico Viscosidade x Temperatura

69

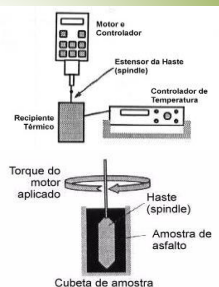
## VISCOSIDADE BROOKFIELD



70

## Viscosímetro Rotacional (Brookfield)

- MEDIDAS:** propriedades relacionadas ao bombeamento, estocagem, usinagem e compactação
- ABNT 15184 (2004)
- ASTM D 4402 (2002)
- RESULTADOS:**
  - ✓ comportamento do fluido
  - ✓ taxa de cisalhamento x tensão de cisalhamento;
  - ✓ viscosidade dinâmica (cP);
  - ✓ gráfico temperatura-viscosidade para projeto de mistura.



Viscosidade do ligante asfáltico está intimamente relacionada a espessura do filme de ligante que envolve os agregados.

O teor de ligante asfáltico de projeto foi obtido para um ligante com uma determinada viscosidade

Mantendo o teor de projeto na usinagem

Ligante com viscosidade menor

implica em espessura menores do filme de ligante

A mistura apresentará excesso de ligante asfáltico

Ligante com viscosidade maior

implica em espessura maiores do filme de ligante

A mistura apresentará falta de ligante asfáltico

Caso, durante a produção da mistura asfáltica ocorram variações na viscosidade do ligante asfáltico fornecido, certamente, ocorrerá alterações na qualidade da mistura asfáltica produzida.

71

72

## Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

### Dutibilidade

73

## DUTILIDADE

- Alta dutibilidade dos CAPs podem indicar:
  - Grandes deformações sem ruptura
  - Maior flexibilidade do material
  - Maior poder aglutinante

Possibilita ainda a identificação de possível contaminação do CAP com óleo combustível.

74

## Ensaio de Consistência

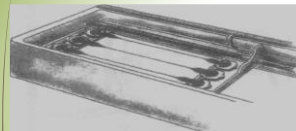
### Ductilidade

A ductilidade é dada pelo alongamento em centímetros obtido antes da ruptura de uma amostra de CAP, em banho de água a 25 °C, submetida pelos dois extremos à tração de 5 cm/minuto.



75

## DUTILIDADE



CAP - 30/45 - 60 cm  
CAP - 50/70 - 100 cm



Molde utilizado para o  
ensaio dutibilidade

Molde utilizado para o  
ensaio recuperação elástica

76

## Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

### Ponto de Fulgor

77

## Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

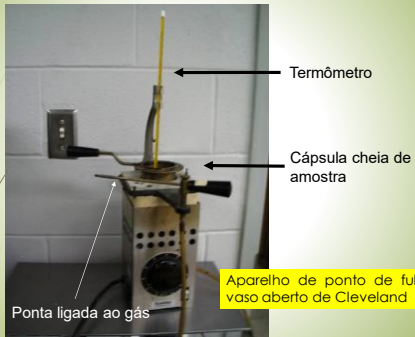
### Ponto de Fulgor - Segurança

### Ensaio adicional - Espumação

78



### Ponto de Fulgor (Segurança)

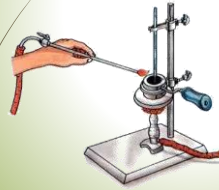


79

### Ensaio de Segurança

#### Ponto de Fulgor

- Menor temperatura, na qual os vapores emanados durante o aquecimento do material asfáltico se inflamam quando expostos a uma fonte de ignição.



80

### PONTO DE FULGOR



81

### ESPUMA

- CAP não devem conter água
- CAP contendo água à temperaturas elevadas produzem espumas que aumentam o seu volume da ordem de 30 vezes

82

### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

#### Solubilidade

83

### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

#### Solubilidade - Pureza

84

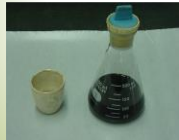
## Solubilidade (Pureza)



(1) Materiais e equipamentos



(2) Cadinho com papel filtro (esq)  
Amostra antes da filtragem (dir)



(3) Amostra dissolvida em tricloroetileno



(4) Filtragem com auxílio de vácuo

Em tricloroetileno NBR 14855

85

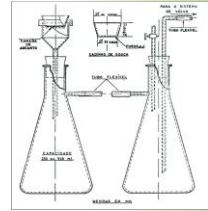
## SOLUBILIDADE

### FINALIDADE:

Determinar o grau de pureza do CAP

Quanto maior for o teor de material solúvel maior será o poder aglutinante do CAP

Valores abaixo de 99,5% indicam presença de impurezas ou craqueamento do CAP na produção na refinaria.



86

Ensaio brasileiro de caracterização de ligante asfáltico modificados

### Ensaio brasileiro de caracterização Ligante asfáltico modificados

- Penetração
- Ponto de amolecimento
- Separação de fase
- Viscosidade Rotacional (Brookfield)
- (ligantes modificados)
- Recuperação elástica

Ensaio de consistência

Ponto de Fulgor

(segurança)

87

88

### Ensaio brasileiro de caracterização Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP

Separação de fase

### Separação de fase - Estabilidade

#### Ligante asfáltico modificados

O ensaio de separação de fases (ABNT NBR 15166/2004) é empregado para quantificar a estabilidade à estocagem de ligante asfáltico modificados.

Consiste em se colocar o asfalto-polímero em um tubo metálico padronizado, na vertical, em repouso, durante **5 dias** dentro de uma estufa a **163°C** e ao final desse período colher uma amostra em dois pontos distintos: um no topo e outro no fundo do tubo.



Tubo alumínio utilizado no ensaio de separação de fase

89

90

## Separação de fase - Estabilidade

### ▪ Ligante asfáltico modificados

Nessas amostras são realizados os ensaios: ponto de amolecimento e recuperação elástica.

As diferenças entre os resultados das amostras do topo e da base não podem ser superior:

- 5°C para o ponto de amolecimento

91

## Ensaio de Consistência

### Recuperação elástica

A Recuperação Elástica é um ensaio empregado para caracterizar e distinguir materiais modificados por polímeros elastoméricos (AMP) ou por borracha de pneus (AB) em relação ao CAP convencional.

O ensaio é realizado a 25°C e a velocidade de estiramento é de 5 cm/min. Interrompe-se o ensaio após atingir-se 100 ou 200 mm de estiramento, para AB ou AMP, respectivamente, e secciona-se, imediatamente o fio de ligante, em seu ponto médio, observando-se ao final de 60 minutos, o quanto houve de retorno das partes ao tamanho original.



molde para recuperação elástica

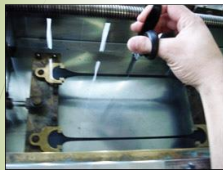


amostra no início da solicitação

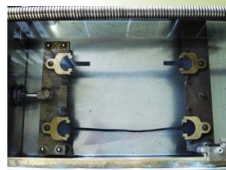
92

## Ensaio de Consistência

### Recuperação elástica



Amostras sendo cortada após ser esticada por 20 cm



Amostras após recuperação elástica, uma com elevada recuperação e outra sem recuperação.

93

## Moldes para recuperação elástica



94

## Recuperação elástica



Fonte: BR Distribuidora

95

## Recuperação elástica

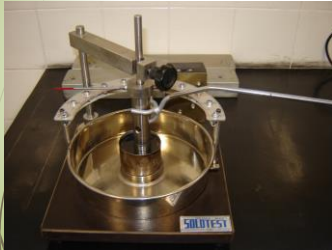


Fonte: BR Distribuidora

96

## RECUPERAÇÃO ELÁSTICA

Torçômetro (AMB) não especificado nas normas brasileiras



97

Ensaio em laboratório que simulam o envelhecimento do ligante asfáltico

RTFOT simula o ligante após a usinagem

TFOT – ECA – semelhante ao RTFOT

PAV simula um período de 5 a 10 anos de vida de serviço

98

## Estufa de Película Fina Rotativa - RTFOT

Estufa de Filme Fino Rotativo (Rolling Thin Film Oven Test - RTFOT) - ABNT 15235 e ASTM 2872 – desenvolvido pelo Superpave

- Neste ensaio, uma fina película de asfalto no interior de uma jarra de vidro é submetida à uma injeção de ar à 163 °C por 85 minutos, com duração de 3 a 4 segundos por ciclo.



Cilindro para colocar a amostra de ligante



99

## RTFOT

Recipiente para ligante na RTFOT



Antes do preenchimento



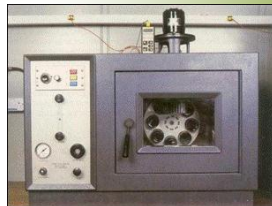
após do preenchimento com ligante



Recipiente coberto após ensaio RTFOT

100

## RTFOT



101

## TFOT - ECA

Simula a degradação do CAP durante a usinagem

Limitação – espessura do filme considerado

- O ensaio TFOT apresentava deficiência na simulação da usinagem devido a espessura da camada de CAP considerada ser da ordem de 3 mm, o que não ocorre na prática em mistura asfáltica
- RTFOT espessuras mais delgadas



102



**PAV**

Vaso de envelhecimento sob pressão, denominado de PAV foi desenvolvido pelo Superpave para simular o envelhecimento do ligante asfáltico que ocorre entre 5 a 10 anos da vida de serviço da mistura asfáltica



103

**PAV PRESSURE AGING VESSEL**

- Simula o envelhecimento do CAP por oxidação ao longo de sua vida de serviço por 5 a 10 anos
- O ensaio é conduzido por 20 horas em temperaturas de 90°C (para ligantes usados em temperaturas baixas de pavimento)
- 100°C (para ligantes usados em temperaturas intermediárias de pavimento)
- 110°C (para ligantes usados em temperaturas altas de pavimento)

O ligante utilizado no ensaio é o ligante que foi submetido ao envelhecimento no RTFOT, e a pressão de ensaio: 305 psi (2.10 MPa ou 20.7 atmosferas).

104

**PAV - Pressure Aging Vessel**

## ■ Equipamento

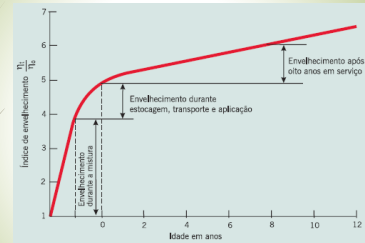


Os ensaios que são realizados na amostra de ligante após as simulações de RTFOT também são utilizados para avaliar a perda de voláteis.

105

**Envelhecimento do CAP**

## ■ ETAPAS



Fonte: Pavimentação asfáltica para engenheiros – Petrobras - Abeda

106

Ensaios complementares

107

**Ensaio de massa específica do ligante**

ABNT 6296

ETAPAS:

- Picnômetro com asfalto e água
- Determinação da massa do picnômetro totalmente preenchido com água a 25°C
- Determinação da massa do picnômetro preenchido até a metade com asfalto a 25°C
- Determinação da massa do picnômetro preenchido metade com água e metade com asfalto, a 25°C

108



## Etapas do ensaio de massa específica do ligante



(1) Pícnômetros com asfalto e com água



(2) Massa do picnômetro com água a 25°C



(3) Massa do picnômetro com asfalto até a metade



(4) Massa do picnômetro com metade asfalto e metade água

Fotos: Patrícia B. Silva

109

## DENSIDADE RELATIVA

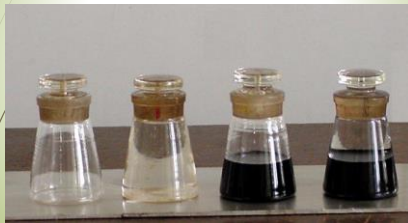
### Finalidade:

Transformar as unidades gravimétricas em volumétricas para o cálculo do índice de vazios.

110

## DENSIDADE RELATIVA

### ESQUEMA DO ENSAIO



111

## IP 87 - Ponto de Ruptura Fraass - Especificação Alemã

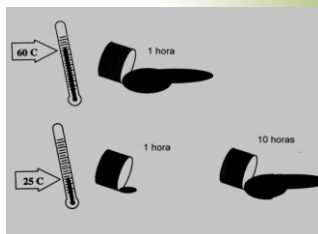
- Depende da consistência da matéria-prima – CAP.
- Adição de SBS, SBR e BMP reduz no máximo 7°C do Fraass do CAP original.
- Ensaio que apresenta correlação com resultados do BBR e  $T_g$ .



112

## Comportamento do Asfalto

- Comportamento Viscoelástico
- Correlação entre tempo/temperatura



113

Obrigado pela atenção

114