



AULA 4a – Ligantes asfálticos, agregados e misturas asfálticas

PTR 3322 - Pavimentação Rodoviária

Profa. Kamilla Vasconcelos

Profa. Dra. Liedi Bernucci



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



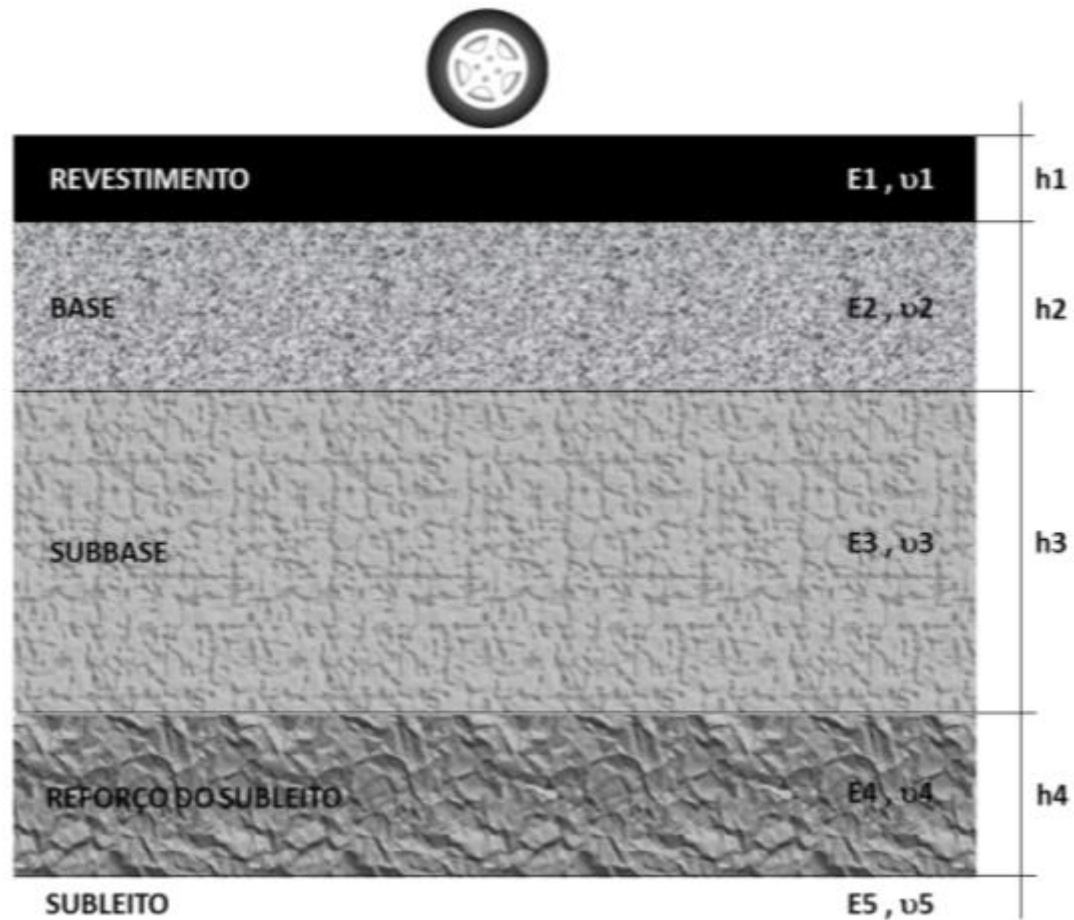
Introdução





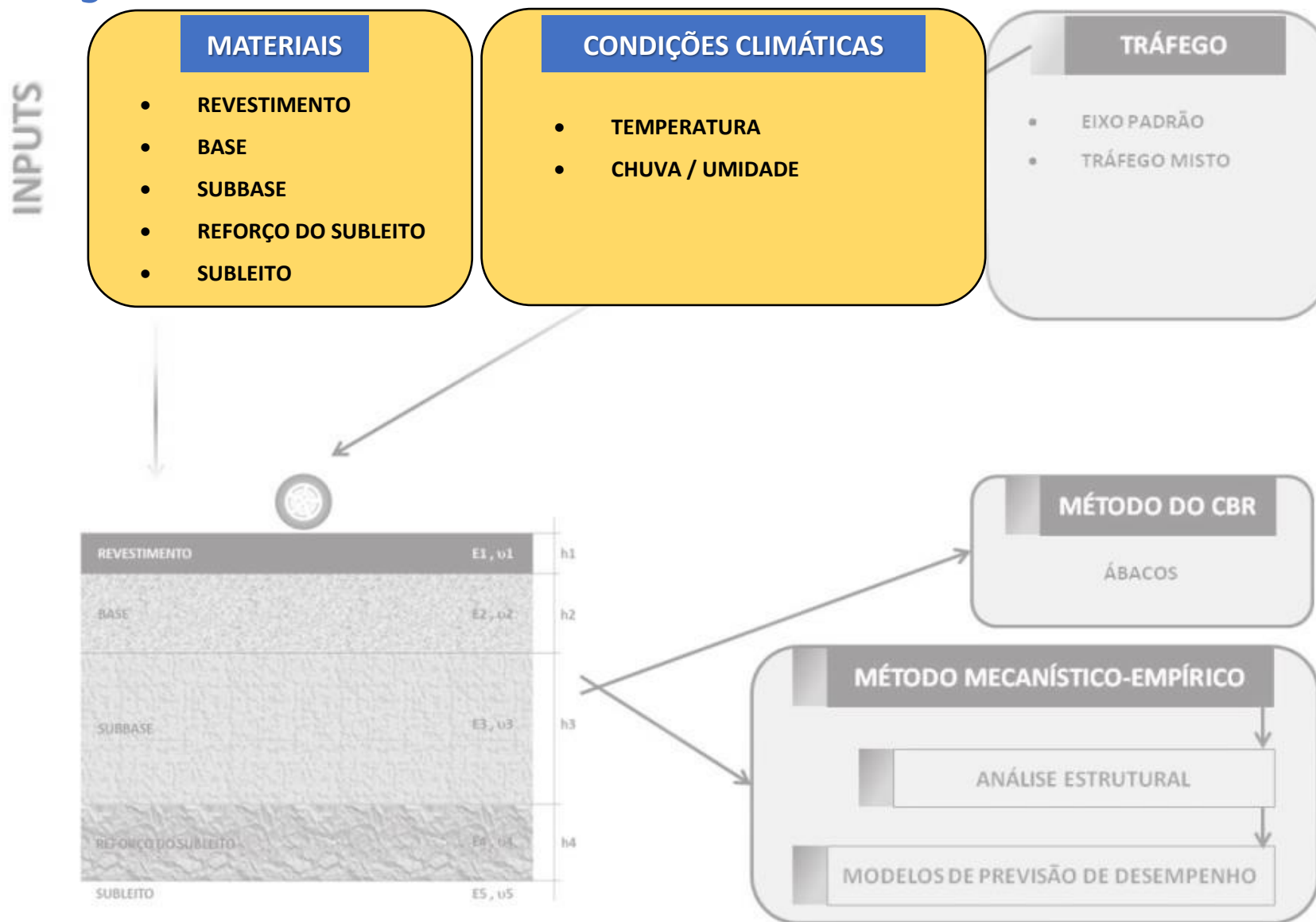
Introdução

Pavimento asfáltico





Introdução





Ligantes Asfálticos



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES



Introdução

Brasil: cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico

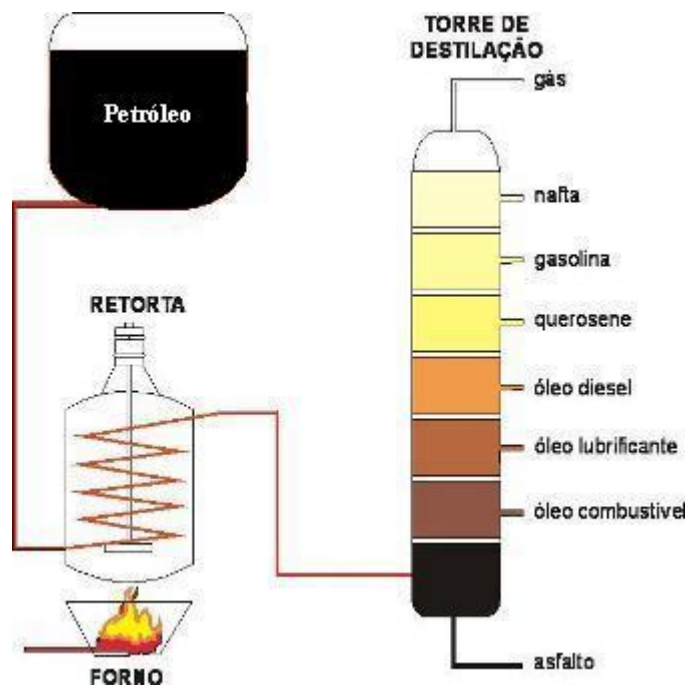
CAP: Cimento asfáltico de petróleo

Asfaltos **naturais** x provenientes de **destilação**





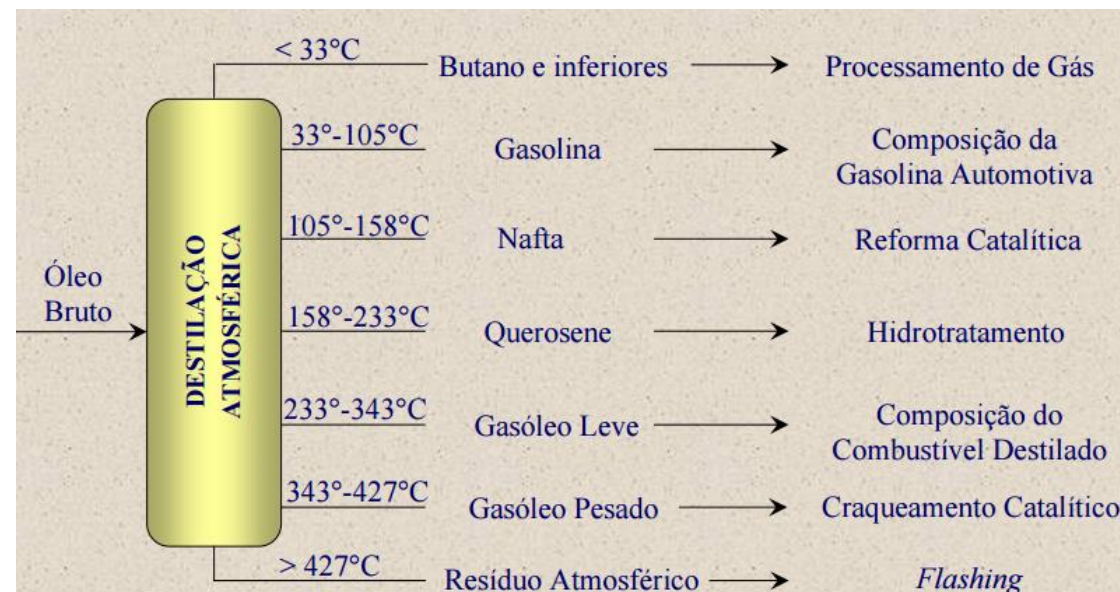
Introdução



IME

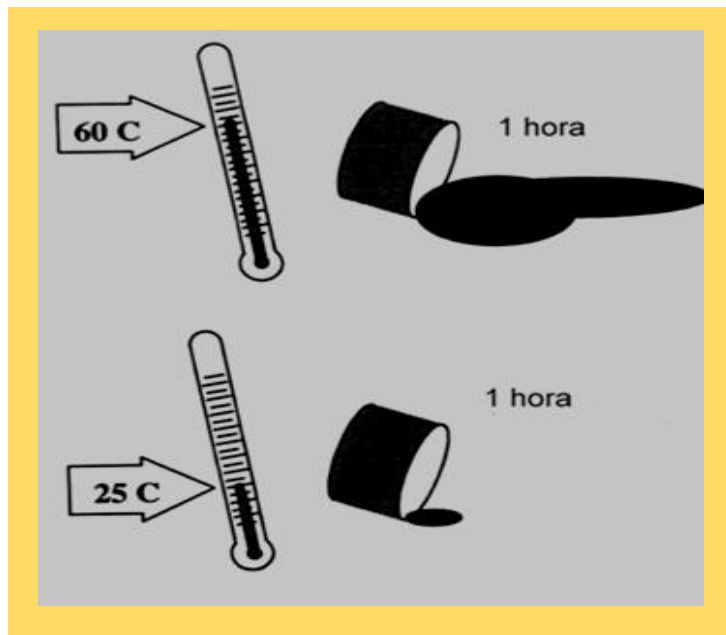
Derivado	Uso Principal
Combustível	
Gasolina	Combustível Automotivo
Óleo Diesel	Combustível Automotivo
Óleo Combustível	Industrial, Naval, Geração de eletricidade
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Cocção
Querosene de Aviação	Combustível Aeronáutico
Querosene Iluminante	Iluminação
Insumo Petroquímico	
Parafina	Velas, Indústria Alimentícia
Nafta	Matéria-prima Petroquímica
Propeno	Matéria-prima para plásticos e tintas
Outros	
Óleos Lubrificantes	Lubrificação de Óleos e Motores
Asfalto	Pavimentação

UFRN

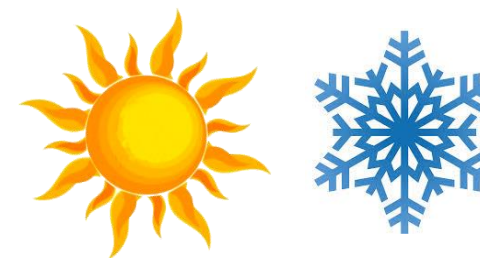




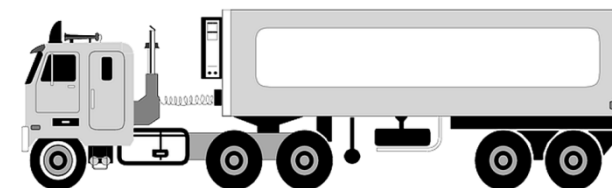
Introdução



EFEITO DA TEMPERATURA



EFEITO DO TEMPO/FREQUÊNCIA



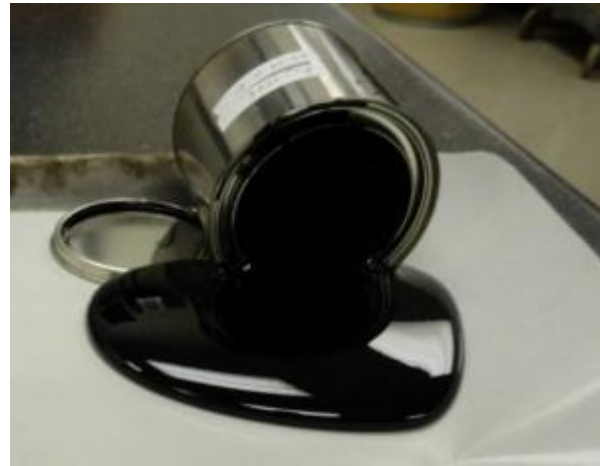


Introdução

EFEITO DO TEMPO E DA TEMPERATURA



MATERIAL VISCOELÁSTICO





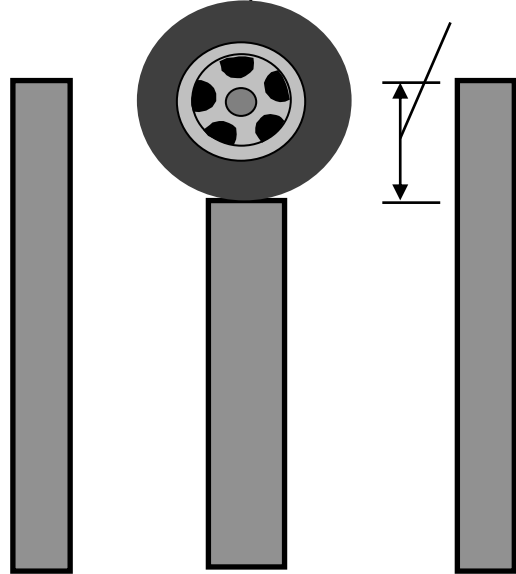
Introdução

Material viscoelástico

ELÁSTICO



Carga Pneu
↓
Deformação Recuperável



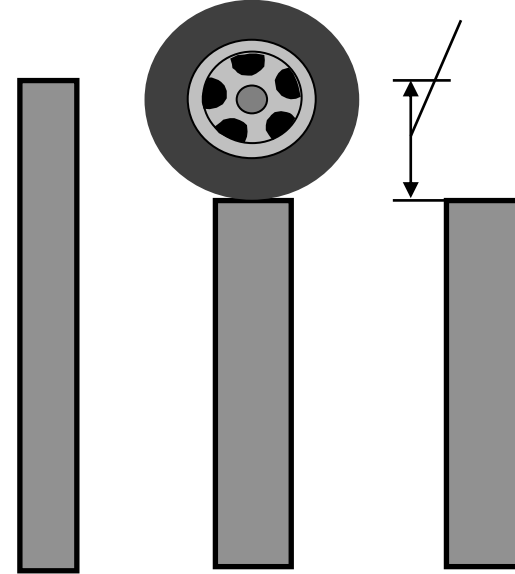
Antes Durante Depois

+

VISCOSO



Carga Pneu
↓
Deformação Não-Recuperável



Antes Durante Depois



Tipos de ligantes asfálticos

Ligante Asfáltico

- Asfalto
- Asfalto modificado por polímero
- Asfalto-borracha
- Emulsão asfáltica
- Asfalto diluído
- Asfalto-espuma
- Agentes rejuvenescedores

Checar no livro **Pavimentação Asfáltica** as principais características de cada tipo de ligante asfáltico



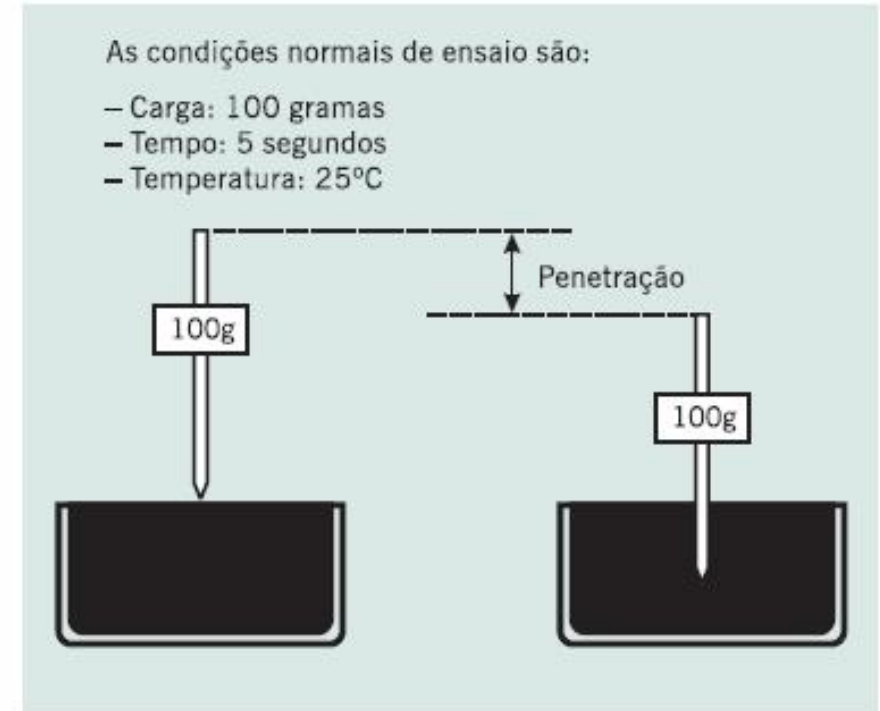
Especificação brasileira

Ensaio de penetração

Exemplo de equipamento manual de medida de penetração e esquema de ensaio



(a) Equipamento manual



(b) Esquema básico do ensaio



Especificação brasileira

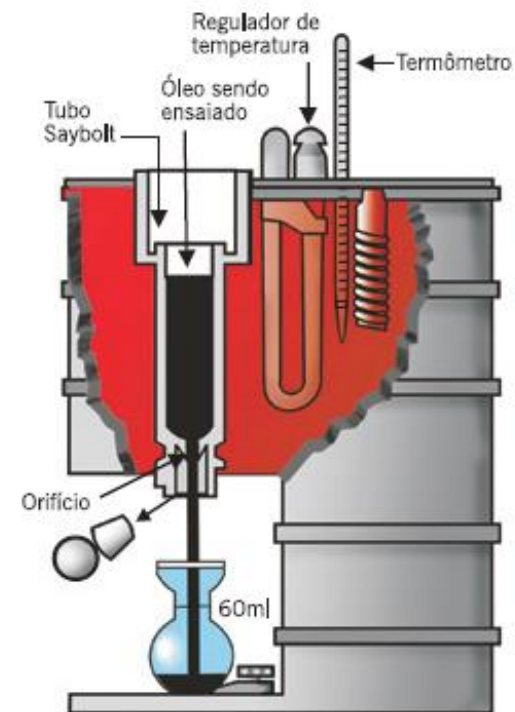
Ensaio de viscosidade

Viscosidade Saybolt-Furol

- Muito utilizado no Brasil
- Medida empírica
- Sem especificação fora do país
- 135°C
- Segundo Saybolt Furol (SSF)



(a) Equipamento completo



(b) Interior do equipamento

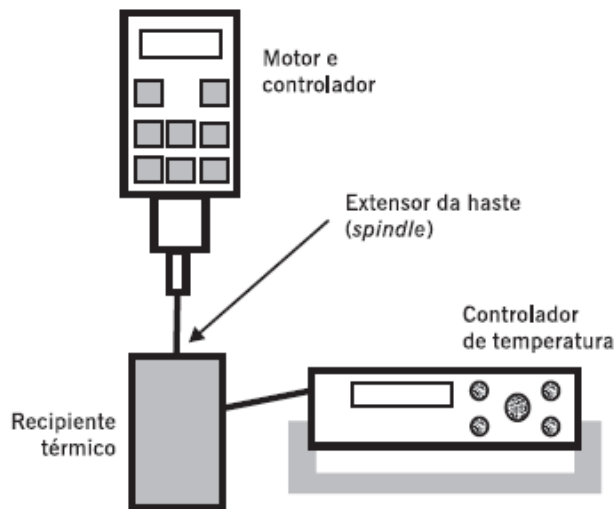
Equipamento Saybolt-Furol de ensaio de viscosidade e esquema do seu interior



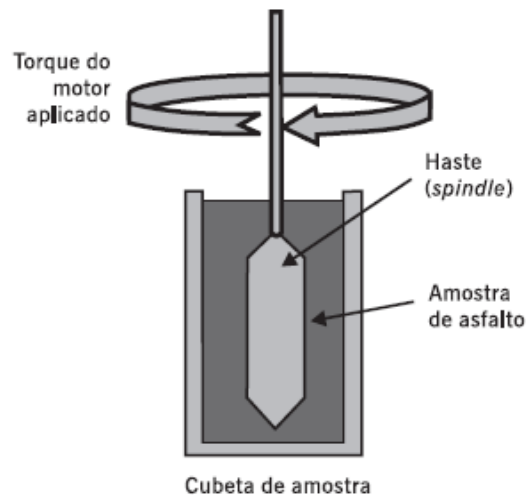
Especificação brasileira

Ensaio de viscosidade

Viscosímetro Brookfield



(a) Esquema do equipamento



(b) Esquema do *spindle* na amostra de asfalto



(c) Exemplo de equipamento

Equipamento Brookfield para medida de viscosidade de ligantes asfálticos



Especificação brasileira

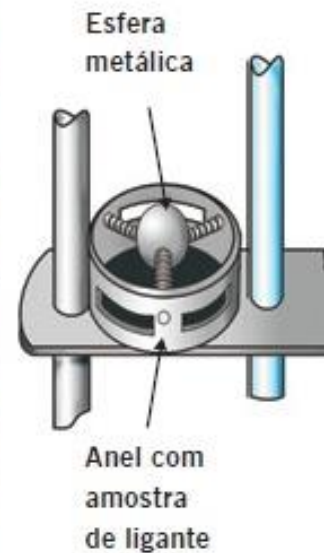
Ensaio de ponto de amolecimento

Estimativa de suscetibilidade térmica

Equipamento automático e manual para medida do ponto de amolecimento do ligante asfáltico



(a) Equipamento automático



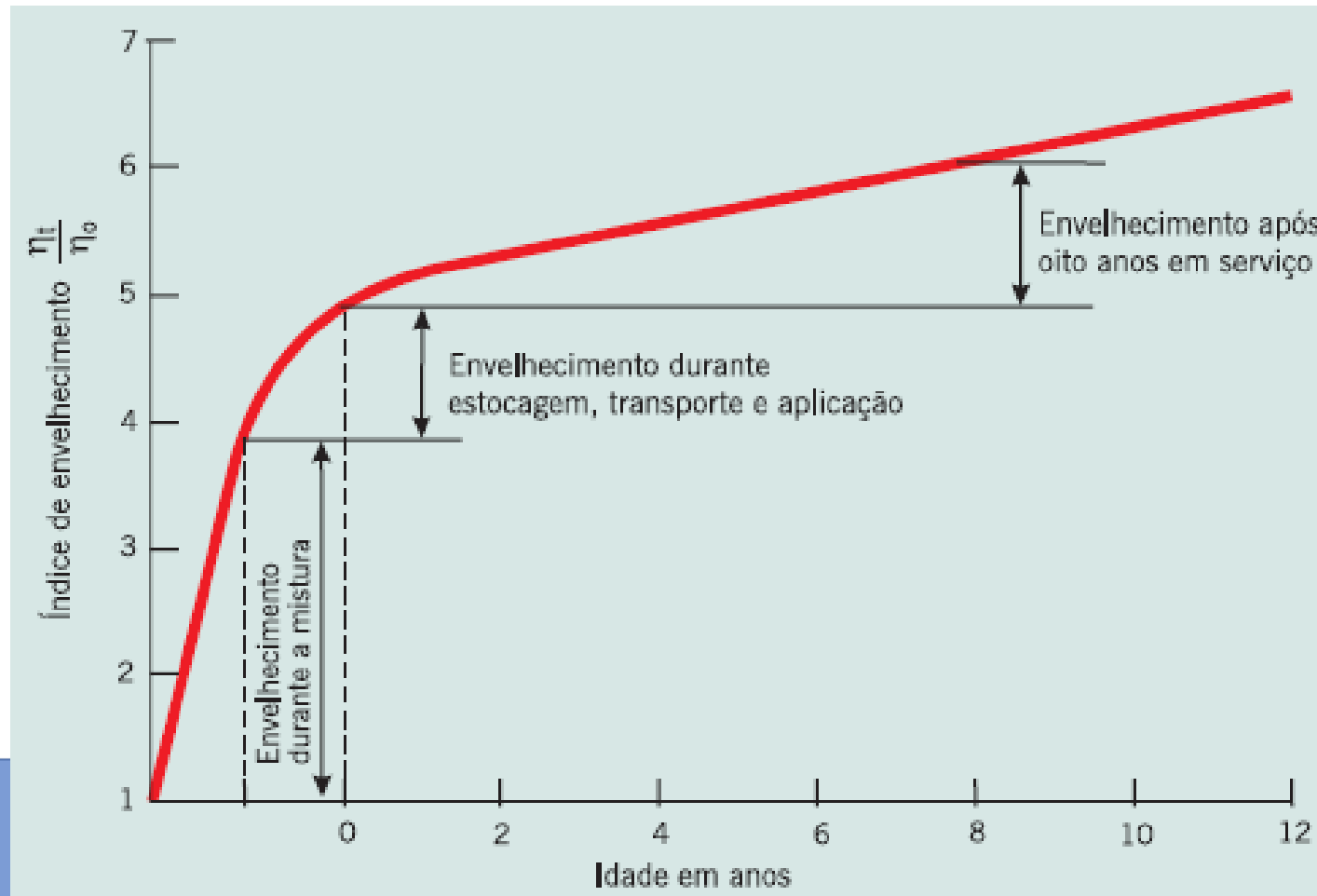
(b) Detalhe esquemático do anel e bola e equipamento manual





Especificação brasileira

Ensaio de durabilidade



Envelhecimento do ligante durante a mistura com o agregado em usina, estocagem, transporte, aplicação em campo e durante vida de serviço (Whiteoak, 1980 apud Shell, 2003)



Especificação brasileira

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	ssf					NBR 14950	E 102
a 135°C		192	141	110	80		
a 150°C		90	50	43	36		
a 177°C		40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60		
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402
a 135°C, SP 21, 20rpm mín		374	274	214	155		
a 150°C, SP 21, mín		203	112	97	81		
a 177°C, SP 21 mín		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 mín.	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042
Ductilidade a 25 °C, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113



Ligante asfáltico modificado

Razões para o uso do asfalto modificado

- Rodovias com **alto volume de tráfego** (ex.: corredores de ônibus)
- Melhoria da resistência à formação de **trilhas de roda** e ao **trincamento por fadiga**
- Aumento da coesividade e adesividade
- Criação de membranas de proteção das camadas superficiais de **reflexão de trincas**
- Revestimento de pontes para diminuir suscetibilidade térmica e aumenta **resistência à flexão**



Especificação brasileira – Asfalto modificado

Tipo					
Grau (Ponto de amolecimento mín./ Recuperação elástica a 25°C mín.) (°C/%)	Método ABNT	50/65	55/75	60/85	65/90
Ensaio na amostra virgem					
Penetração 25°C, 5s, 100g, 0,1mm	NBR 6576	45-70	45-70	40-70	40-70
Ponto de amolecimento, mín., °C	NBR 6560	50	55	60	65
Viscosidade Brookfield a 135°C, <i>spindle</i> 21, 20 RPM, máx., cP	NBR 15184	1.500	3.000	3.000	3.000
Viscosidade Brookfield a 150°C, <i>spindle</i> 21, 50 RPM, máx., cP	NBR 15184	1.000	2.000	2.000	2.000
Viscosidade Brookfield a 177°C, <i>spindle</i> 21, 100 RPM, máx., cP	NBR 15184	500	1.000	1.000	1.000
Ponto de fulgor, mín., °C	NBR 11341	235	235	235	235
Ensaio de separação de fase, máx., °C	NBR 15166	5	5	5	5
Recuperação elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR 15086	65	75	85	90
Recuperação elástica a 4°C, 10cm, %	NBR 15086	anotar	anotar	anotar	anotar
Ensaio no resíduo após RTFOT					
Varição de massa, máx., %	NBR 15235	1	1	1	1
Aumento do ponto de amolecimento, °C, máx.	NBR 6560	6	7	7	7
Redução do ponto de amolecimento, °C, máx.	NBR 6560	3	5	5	5
Porcentagem de penetração original, mín.	NBR 6576	60	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mín.	NBR 15086	80	80	80	80



Especificação brasileira

Recuperação elástica ou retorno elástico

ASTM D 6084
ABNT NBR 14756/2004



(a) Equipamento com ensaio em andamento e detalhe do molde



(b) Progressão do ensaio com alongamento do ligante asfáltico



(c) Ruptura do ligante asfáltico

4°C ou 25°C

5 cm/min

200 mm de estiramento e secciona-se o fio de ligante

Retorno após 60 min



Agregados

Qualidade

- maciço
- equipamentos
- estocagem





Agregados - Fracionamento





Agregados - Estocagem





Agregados - Estocagem





Agregados - Estocagem

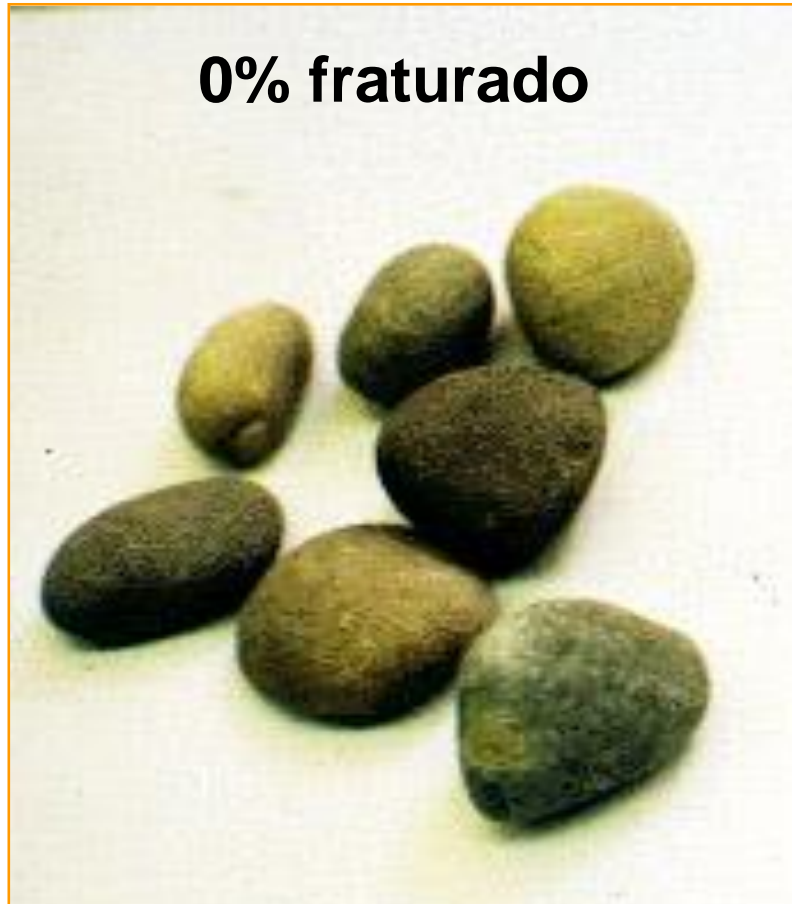




Agregados – Porcentagem de faces fraturadas



0% fraturado

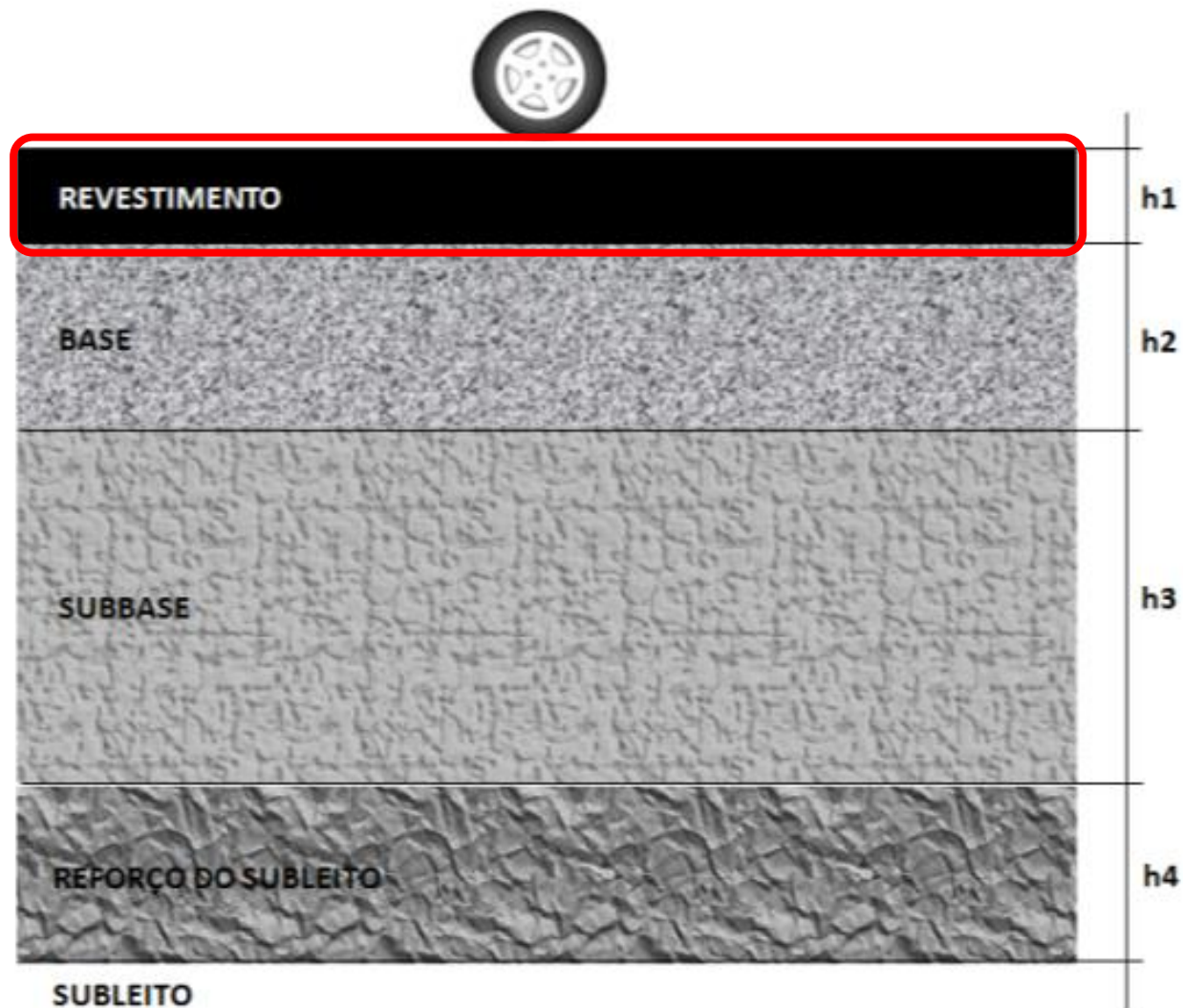


100% com 2 ou mais faces fraturadas





Misturas asfálticas



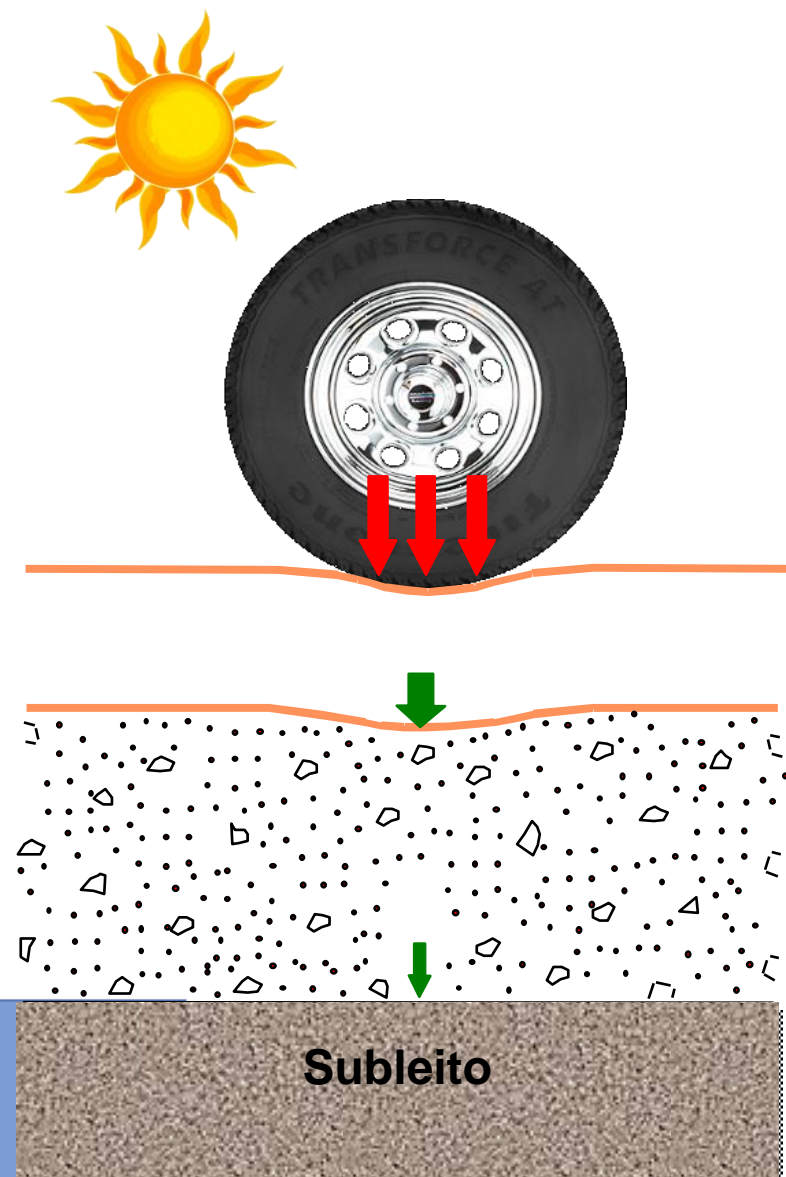


Misturas asfálticas



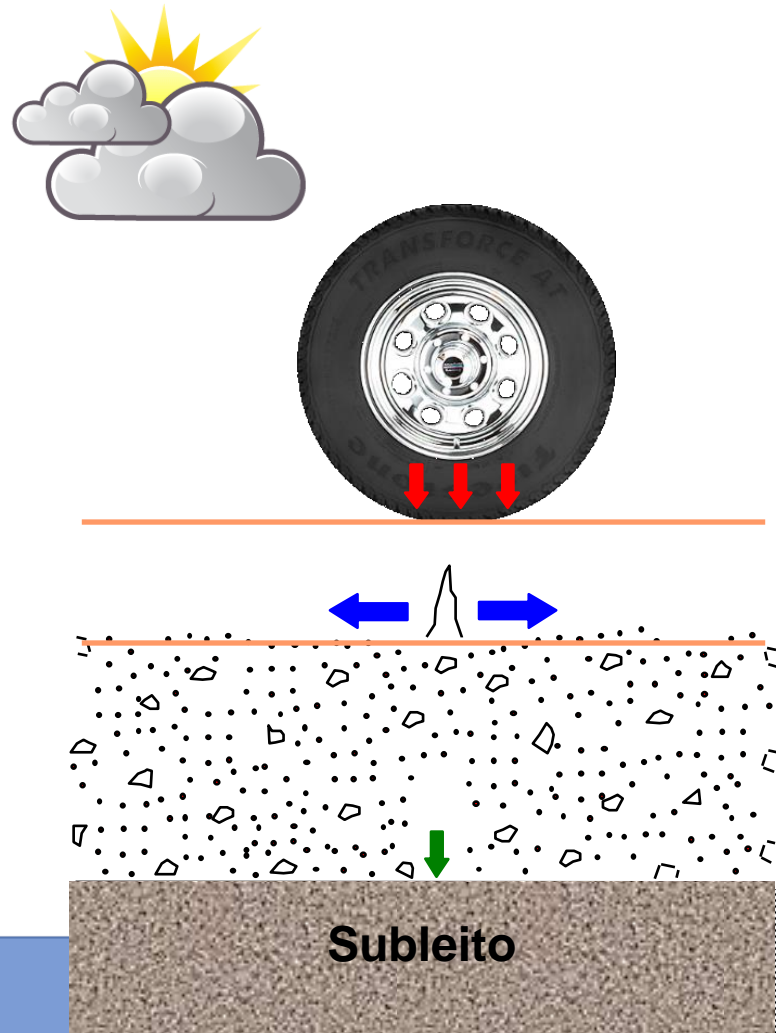


Misturas asfálticas



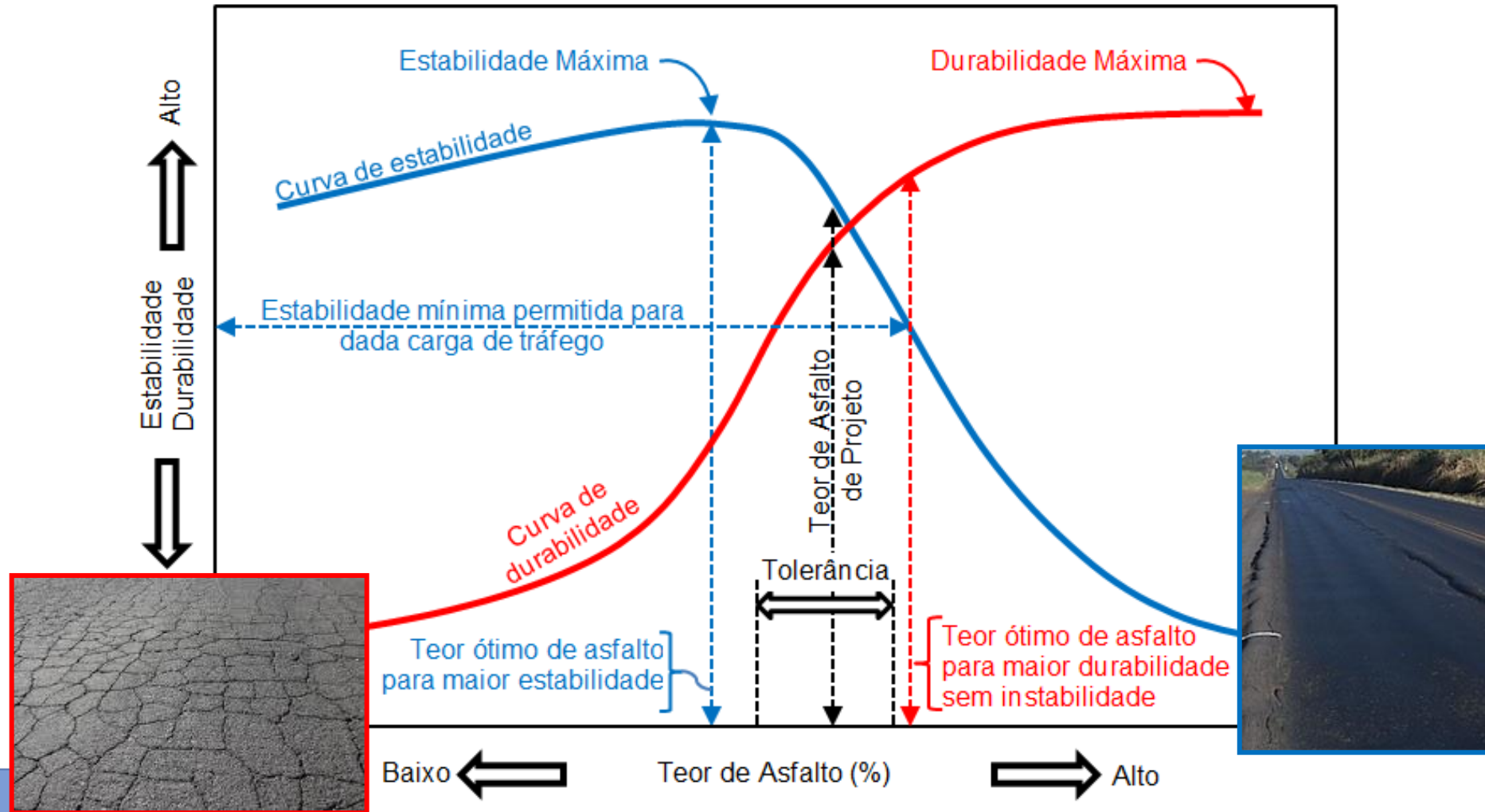


Misturas asfálticas





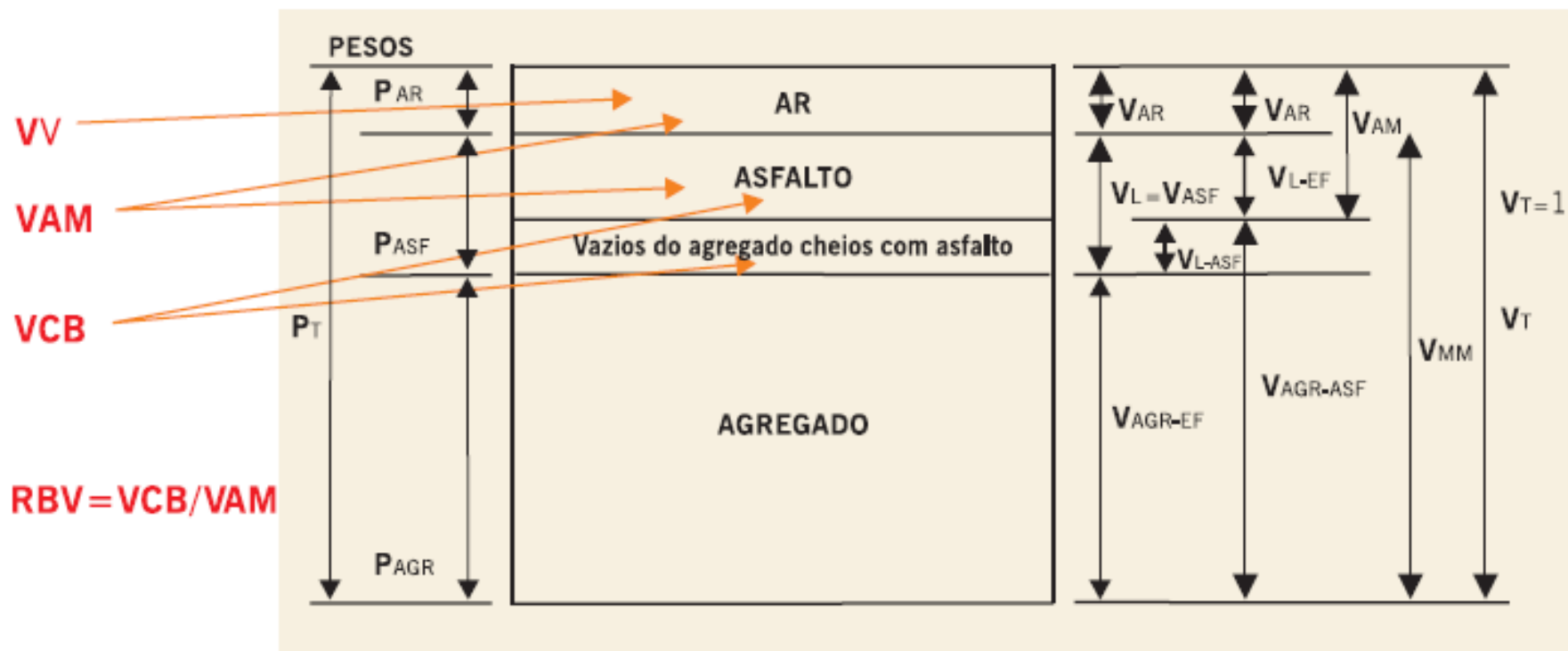
Misturas asfálticas - Dosagem





Misturas asfálticas - Dosagem

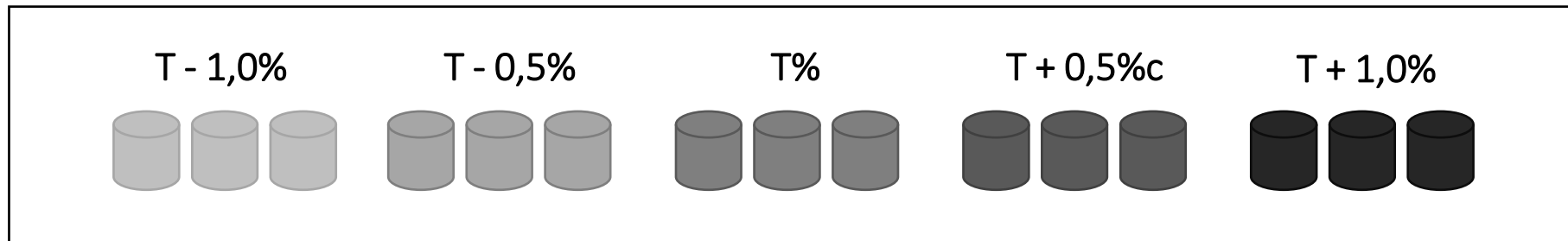
É necessário entender a volumetria para definir o “teor ótimo” de asfalto – **ver no livro!**





Misturas asfálticas - Dosagem

Procedimento Marshall

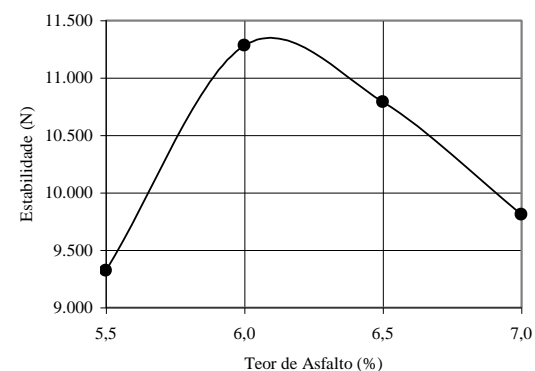
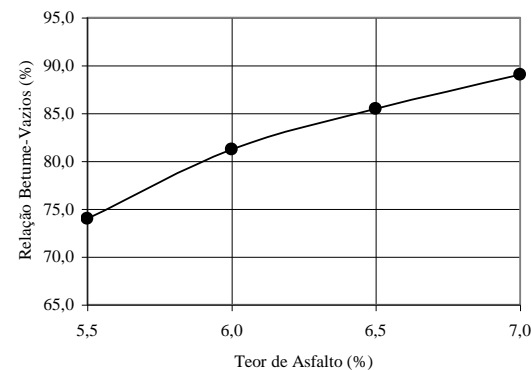
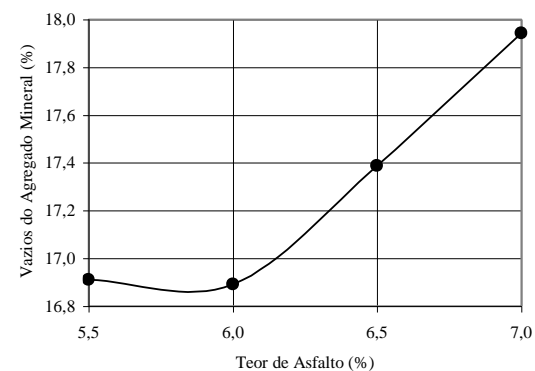
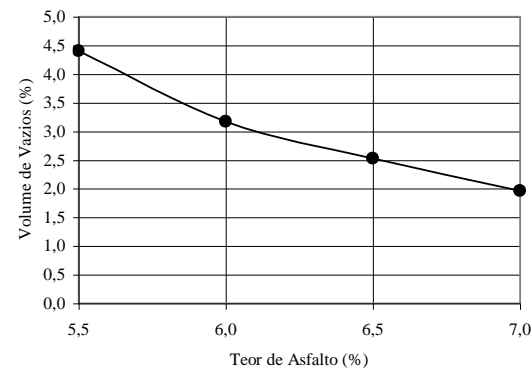
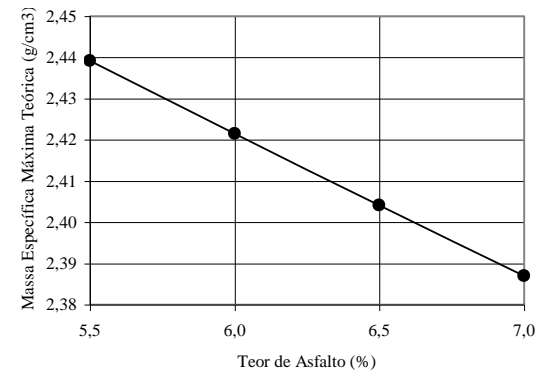
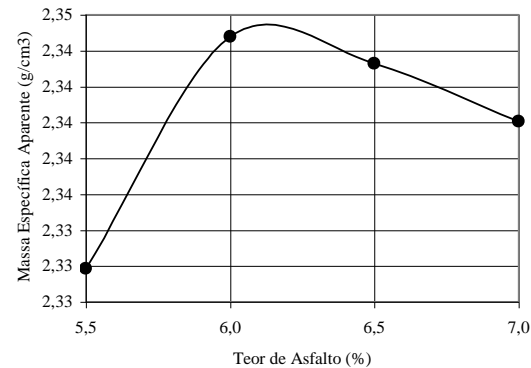




Misturas asfálticas - Dosagem

Procedimento Marshall

Com todos os valores dos **parâmetros volumétricos** e **mecânicos** determinados, são plotadas **6 curvas** em função do teor de asfalto, que podem ser usadas na definição do teor de projeto





Obrigada

PTR 3322 - Pavimentação Rodoviária

Profa. Kamilla Vasconcelos

Profa. Dra. Liedi Bernucci



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
TRANSPORTES