

Desempenho Mecânico e Recomendações de Utilização de Misturas Betuminosas com Alta Taxa de Reciclagem Rejuvenescidas com Óleo Alimentar Usado ou Bio-heating Oil

Silvino Capitão, Prof. Coordenador com Agregação IP Coimbra & CERIS, IST, U.Lisboa

Luís Picado-Santos, Prof. Catedrático, CERIS, IST, U.Lisboa

Arminda Almeida, Prof^a Auxiliar, FCT U.Coimbra & CITTA



11 crp

sustentabilidade e
resiliência

ÍNDICE

- Introdução
- Materiais
- Métodos
- Resultados
- Conclusões

O(s) autor(es) agradece(m) o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, através do projeto UIDB/04625/2025 da unidade de investigação CERIS

fct Fundação para a Ciência e a Tecnologia

 REPÚBLICA PORTUGUESA

COOLASPHALT



Lisbe@2020

COMPETE 2020

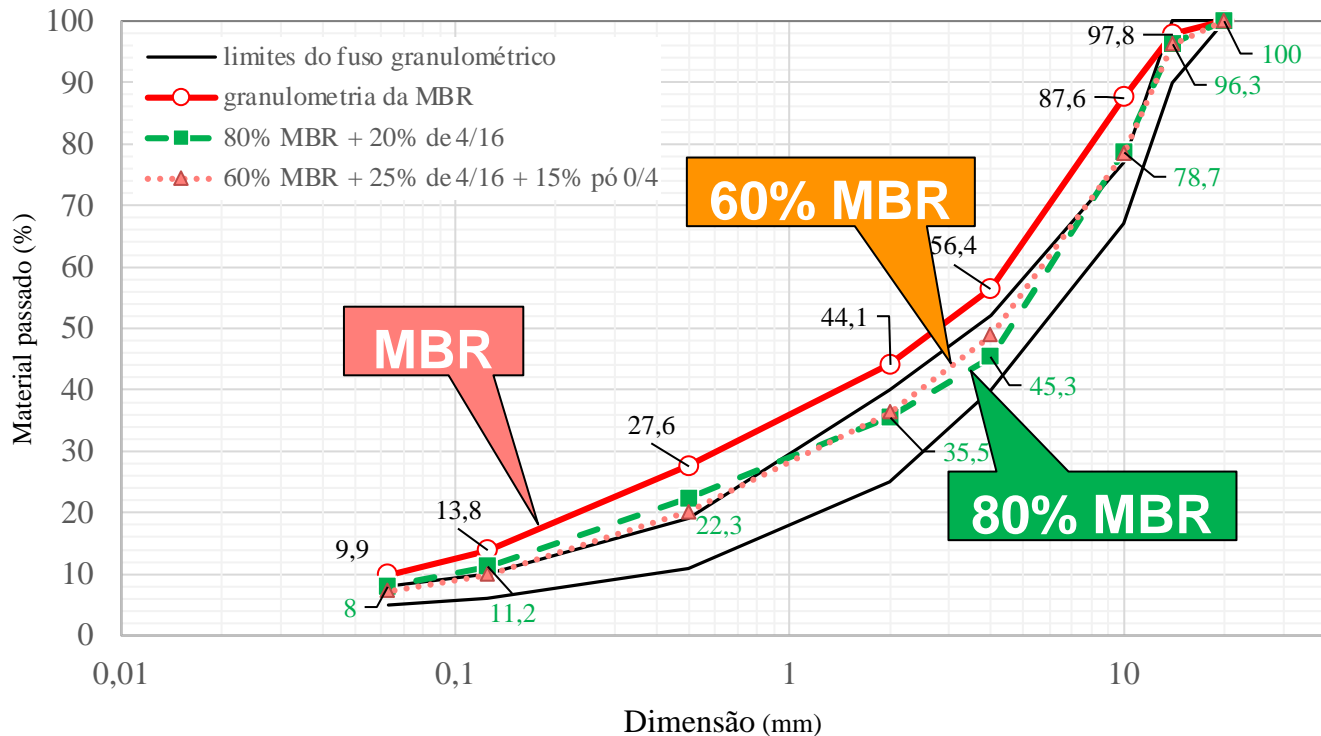
PORTUGAL 2020



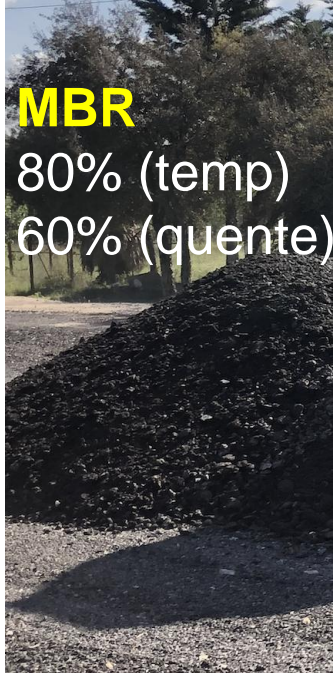
Introdução

- É essencial explorar **alternativas de valorização de materiais** para pavimentos rodoviários, para **múltiplos ciclos de vida**, minimizando o seu impacto ambiental
- A utilização de **altas taxas de reciclagem é ainda limitada**, pelo que é preciso aumentar a percentagem de incorporação de MBR em misturas betuminosas para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável
- Maiores taxas de MBR exigem a **recuperação das propriedades do ligante envelhecido**
- Resíduos, como o **óleo alimentar usado (OAU)** e o **BHO (bio-heating oil)** podem ser valorizados para **rejuvenescer o betume envelhecido**, levando a benefícios ambientais e económicos
- Esta apresentação **sintetiza os resultados de desempenho** mecânico de MB com **60% e 80%** de MBR, utilizando OAU ou BHO como rejuvenescedores, e apresenta recomendações para aplicação

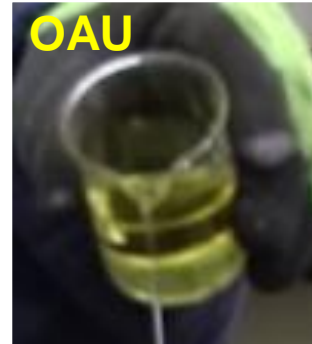
MATERIAIS



MATERIAIS



10% em massa
Acidez < 4 mg
KOH/g

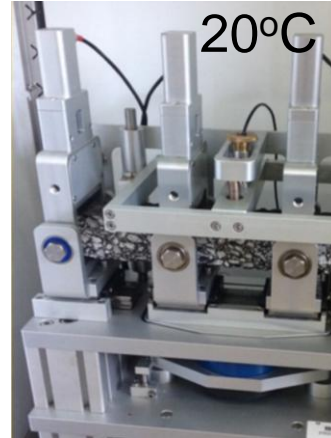
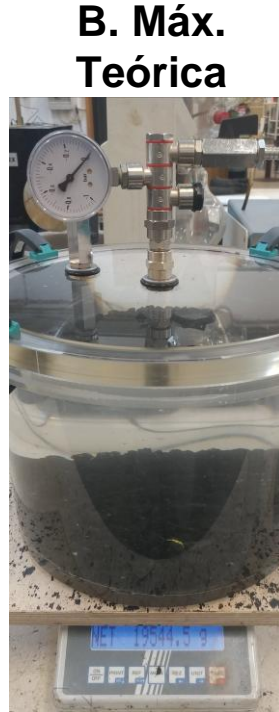


(para reduzir a temperatura
de fabrico da mistura
temperada)

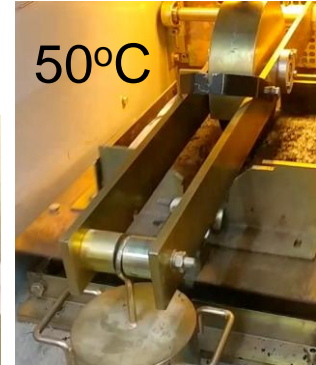
MÉTODOS



Ensaio de Marshall



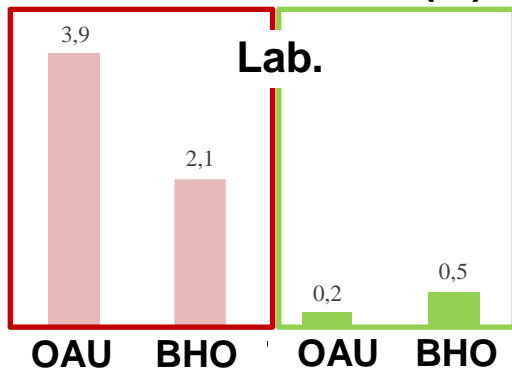
Flexão 4 pontos



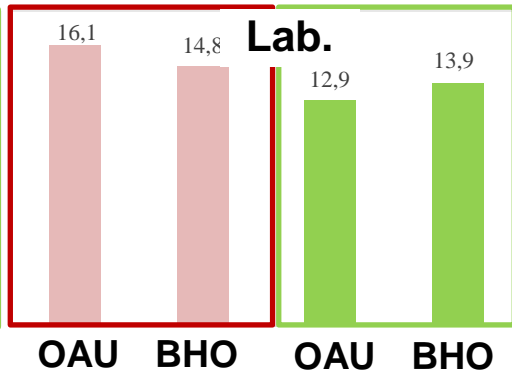
Pista de laboratório

RESULTADOS

POROSIDADE (%)



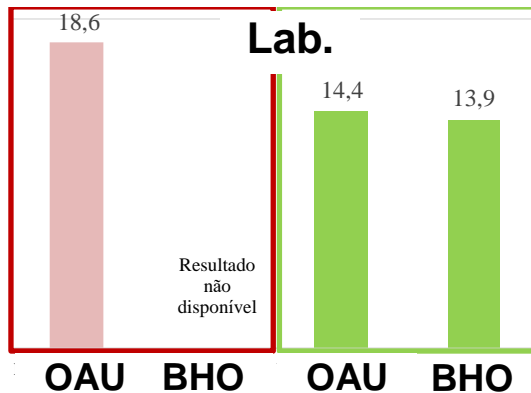
VMA (%)



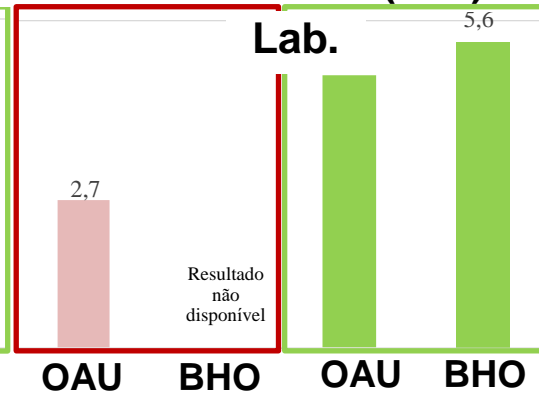
60°C
A quente

80°C
Temperadas

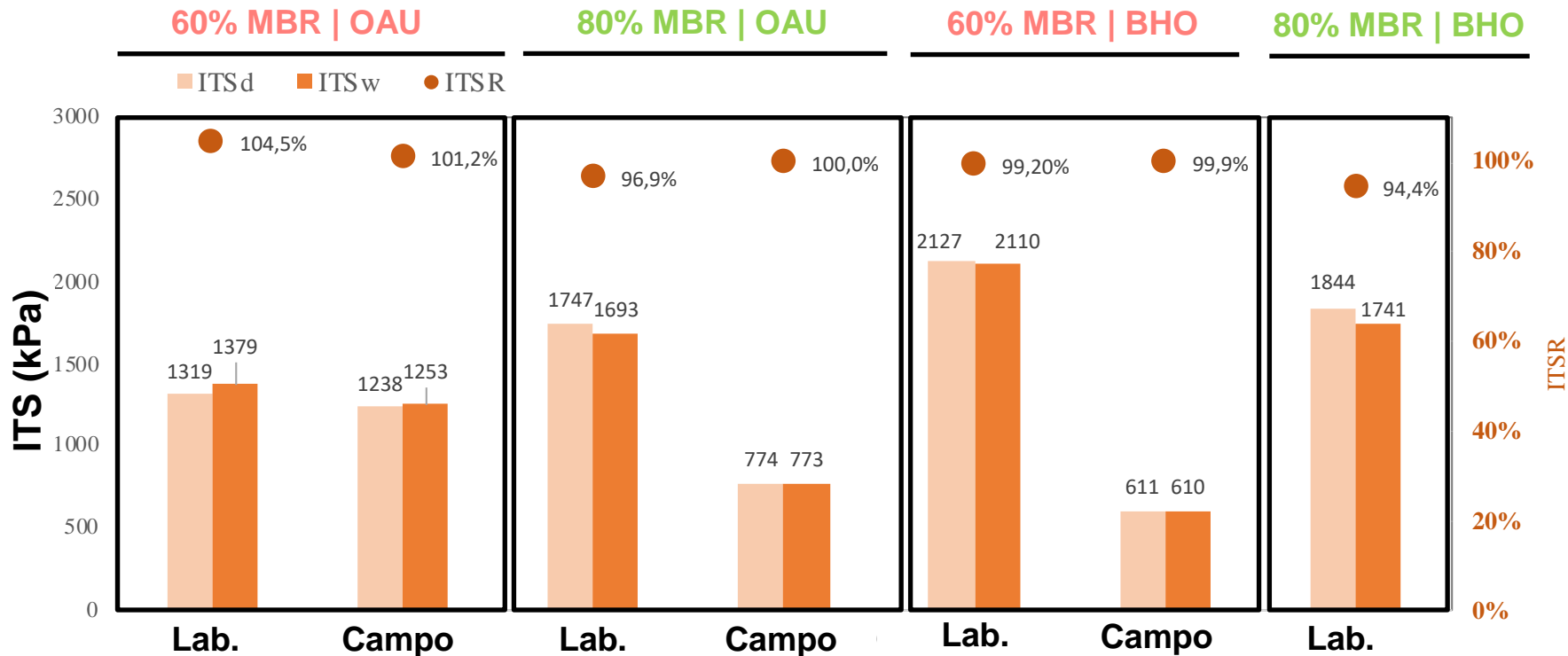
Estabilidade Marshall (kN)



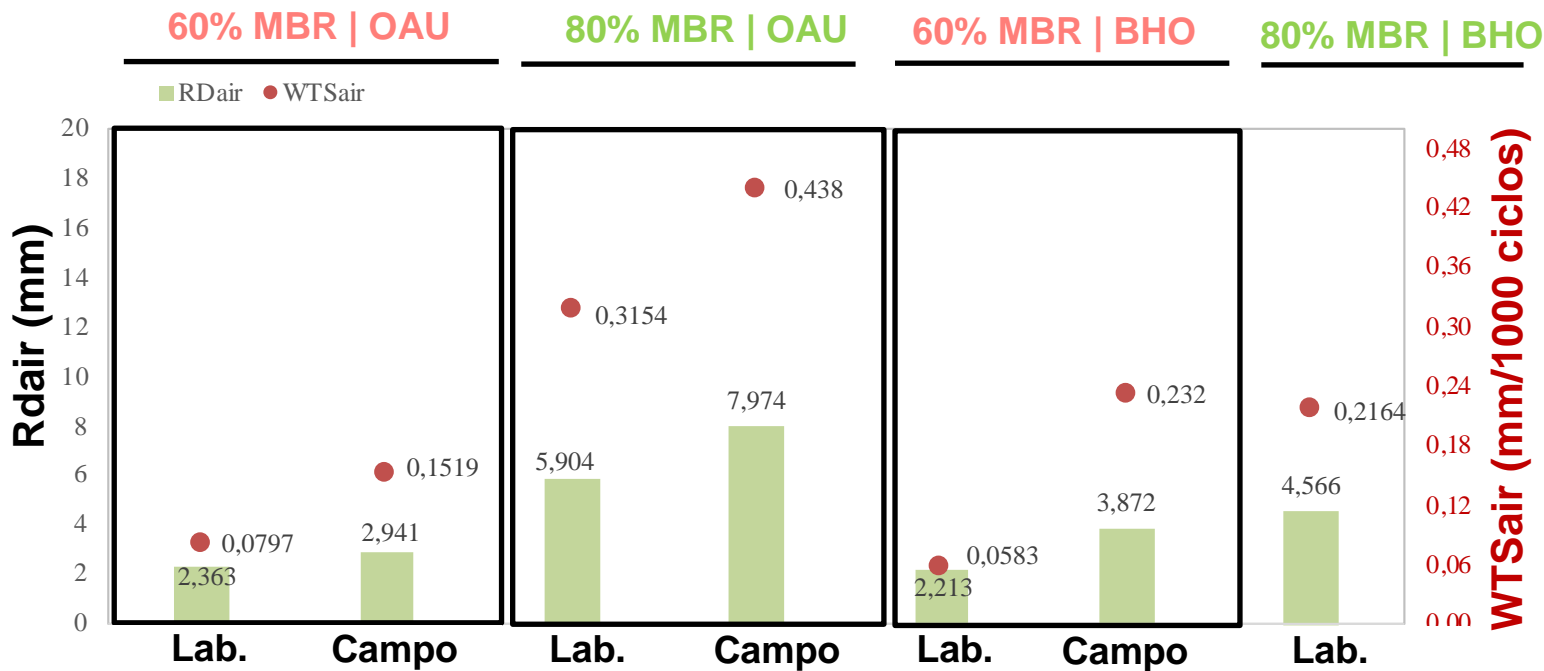
Def. Marshall (mm)



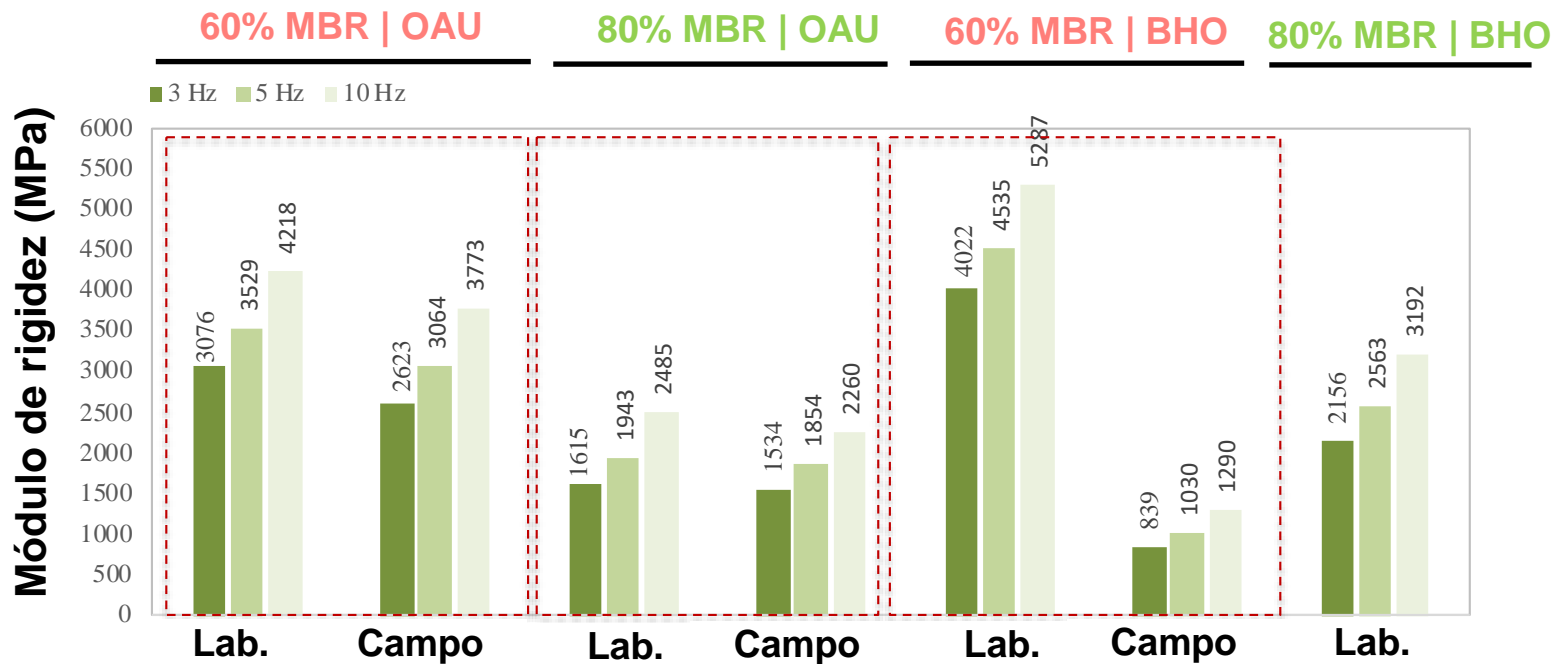
SENSIBILIDADE À ÁGUA



RESISTÊNCIA À DEFORMAÇÃO PERMANENTE

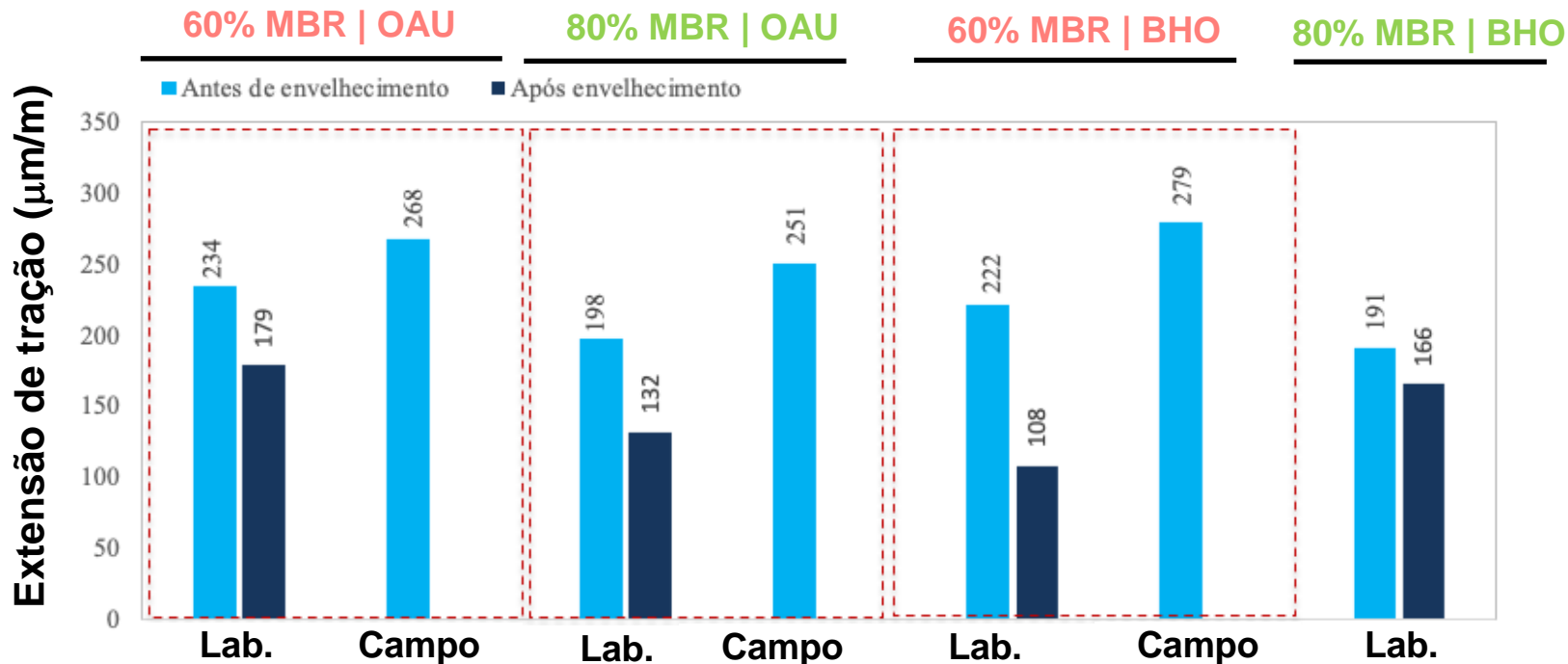


MÓDULO DE RIGIDEZ

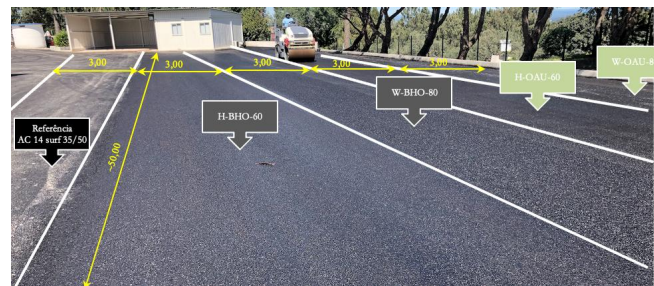


RESULTADOS

RESISTÊNCIA À FADIGA



RECOMENDAÇÕES DE PRODUÇÃO



- **Proteger as MBR** armazenadas da **exposição direta da radiação solar e da precipitação**, para evitar a oxidação excessiva e manter o teor em água tão baixo quanto possível
- **Descarregar os camiões sobre a MBR já em pilha** para facilitar a mistura entre as frações finas e grossas
- **Analisar a MBR a cada 5.000 toneladas utilizadas**, reduzindo a possibilidade de variações significativas nas propriedades da mistura betuminosa final
- Ao transferir o material, a **pá carregadora deve retirar o material desde a base**, evitando a perda de partículas finas
- Controlar **regularmente as composições e dosagens dos constituintes e a temperatura do material** ao longo de todo o processo de fabrico e aplicação

ANÁLISE DE CUSTOS DIRETOS

Custos unitários e recursos considerados	Preços unitários médios	Mistura a quente ^[1]				Mistura temperada ^[1]			
		AC 14 surf 35/50	Agregados naturais + 60% MBR	Agregados naturais + 80% MBR	100% MBR	AC 14 surf 35/50	Agregados naturais + 80% MBR		
		€	€	€	€	€	€		
Custos diretos	Materiais	Betume 35/50	565 €/t	28,25	15,82	10,74	5,65	27,78	10,57
		Agregados naturais	11 €/t	10,19	4,06	2,03	-	10,19	2,03
		MBR	5 €/t	-	3,12	4,16	5,20	-	4,16
		Cera orgânica	3 000 €/t	-	-	-	-	2,48	2,48
	Óleo alimentar usado	1 000 €/t	-	5,50	5,50	5,50	-	5,50	
	Equipamento ^[2]	Central de fabrico	300 €/h	1,88	2,33	2,51	3,00	1,65	1,88
		Combustível da central	753 €/t	3,77	4,52	5,27	5,27	3,01	3,77
		Pá carregadora	60 €/h	0,38	0,47	0,50	0,60	0,33	0,38
		Camiões	50 €/h	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
		Pavimentadora	80 €/h	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Cilindros compactadores		40 €/h	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
Mão de obra	Trab. qualificados	17 €/h	0,32	0,40	0,43	0,32	0,28	0,39	
	Trab. indiferenciados	10 €/h	0,50	0,62	0,67	0,50	0,44	0,62	
	Outros gastos & contingências (10%)		5,19	4,34	3,84	3,26	5,28	3,84	
	Gastos gerais (10%)		5,71	4,78	4,22	3,59	5,80	4,22	
	Lucro (10%)		6,28	5,25	4,65	3,95	6,38	4,64	
	TOTAIS (€ por ton de mistura)		69,0	57,8	51,1	43,4	70,2	51,1	
	TOTAIS (% do AC 14 surf 35/50)		100%	84%	74%	63%	102%	74%	

^[1] Para camada de desgaste

^[2] Inclui combustível, manobreadores e manutenção

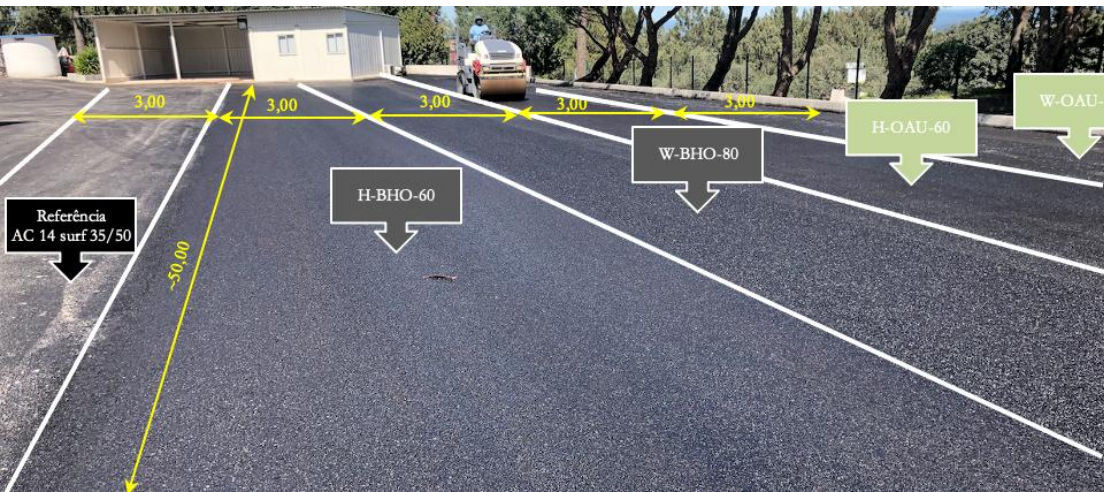
CONCLUSÕES

- Excelente resistência à ação da água, apesar das misturas no campo terem conduzido a menores valores de ITS
- Misturas temperadas com 80% de MBR resistiram menos à deformação permanente que as misturas a quente com 60% de MBR (o BHO levou a uma ligeira melhoria da resistência)
- Seguindo as recomendações de produção, é possível obter misturas com propriedades adequadas para estradas de tráfego intermédio/baixo
- Adequada resistência à fadiga, mesmo após ensaios de envelhecimento acelerado para simular as condições de longo prazo em serviço
- A utilização de altas taxas de MBR e OAU (ou BHO) permite uma considerável redução de custos em comparação com misturas convencionais

OBRIGADO!

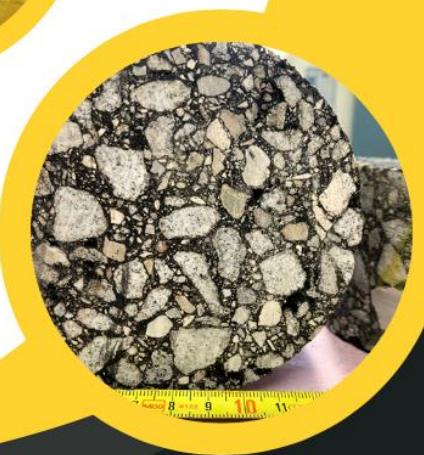
CONTACTOS

capitao@isec.pt



COOLASPHALT

GUIA DE BOAS
PRÁTICAS



RECICLAGEM TOTAL DE
MISTURAS BETUMINOSAS
COM ÓLEO ALIMENTAR
USADO COMO
REJUVENESCEDOR