

CAPÍTULO 5

PROPOSTA DE UM NOVO MÉTODO DE ENSAIO DE SENSIBILIDADE À ÁGUA USANDO ULTRA-SONS

5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se um novo método de análise do comportamento de misturas betuminosas à água com base em emissões de ultra-sons.

O objectivo é tentar, a partir do uso de ultra-sons reduzir o tempo dos banhos de água, nos ensaios de imersão-compressão, gelo-degelo e sensibilidade à água.

Para tal ensaiaram-se vários grupos de provetes e carotes com diferentes condições de temperatura e de tempo de ultra-som.

5.2. PROCEDIMENTO

O equipamento de ultra-som utilizado para a realização destes ensaios apresenta-se na Figura 5.1. Trata-se de um equipamento universal do Centro de Óptica da UBI, utilizado para a limpeza de sujidade em corpos de prova.

Para este estudo encheu-se o equipamento de ultra-som com água corrente e colocaram-se os provetes a ensaiar no seu interior. De seguida escolheu-se o tempo e a temperatura de ultra-som pretendidos.

Findo o tempo imposto, retiraram-se os provetes do interior do ultra-som e alguns provetes ensaiaram-se de imediato, outros foram colocados num banho de água de 25° C e só depois é que se submeteram ao ensaio de resistência.

Os provetes com compactação Marshall e os carotes ensaiaram-se à tracção indirecta, e os provetes com compactação estática, para o ensaio de imersão-compressão, ensaiaram-se à compressão simples.

Para a realização dos ensaios foi necessário conhecer melhor o efeito de ultra-sons nos corpos de prova betuminosos, por isso, inicialmente, aplicaram-se vários tempos de ultra-som com esse intuito.



Figura 5. 1: Aparelho de ultra-sons.

5.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS E SUA ANÁLISE

- **Provetes com compactação Marshall, com 75 pancadas em cada face**

No Quadro 5.1 apresentam-se os valores de carga máxima obtidos por um grupo de três provetes ensaiados com tempos diferentes, mas nas mesmas condições de temperatura. Constata-se que para os tempos praticados não há grandes variações de carga máxima.

Quadro 5. 1: Carga máxima de um grupo de provetes com diferentes tempos de ultra-som e igual temperatura.

Provetes	Densidade relativa (g/cm ³)	Tempo de ultra-som (min)	Temperatura de ultra-som (°C)	Temperatura do ensaio (°C)	Carga máxima (kN)	Resistência à tracção indirecta (kPa)
3	2,277	3	60°	25°	10,40	1034,4
1	2,263	5	60°	25°	7,86	781,3
2	2,298	10	60°	25°	7,19	715,0

O Quadro 5.2 apresenta os valores de carga máxima obtidos para três grupos de provetes, tendo como referência o provete 10, o qual não foi submetido a qualquer tipo de condicionamento. As condições de temperatura são as mesmas para os três grupos, variando apenas o tempo de ultra-som.

Os valores de carga máxima atingidos, para tempos dos 3 aos 30 minutos, não apresentam grande variação, contudo quando comparados com a carga máxima do provete de referência, denota-se a perda de carga após o tempo de ultra-som.

Quadro 5. 2: Carga máxima de três grupos de provetes com diferentes tempos de ultra-som e igual temperatura.

Provetes	Densidade relativa (g/cm ³)	Tempo de ultra-som (min)	Temperatura de ultra-som (°C)	Temperatura do ensaio (°C)	Carga máxima (kN)	Resistência à tracção indirecta (kPa)
10	2,348				17,19	1709,2
1	2,355	3	60°	25°	9,05	899,
7	2,355	4	60°	25°	12,24	1217,1
5	2,359	4	60°	25°	10,76	1070,5
9	2,316	6	60°	25°	12,12	1205,1
6	2,339	6	60°	25°	10,84	1078,5
14	2,317	4	60°	25°	10,22	1016,3
13	2,373	6	60°	25°	12,76	1269,4
12	2,372	8	60°	25°	11,37	1130,8
11	2,350	10	60°	25°	12,68	1261,3
15	2,354	20	60°	25°	9,79	974,1
2	2,359	10	60°	25°	12,06	1199,1
3	2,360	20	60°	25°	11,87	1181,0
4	2,361	30	60°	25°	7,67	763,2

Após se constatar que não há uma variação significativa entre os 3 e os 30 minutos para as mesmas condições de temperatura, decidiu-se aumentar o tempo de ultra-som e a temperatura do ultra-som. Os valores obtidos apresentam-se no Quadro 5.3 e têm como referência o provete 2, o qual foi submetido a uma banho de 60° C durante 24 horas.

O primeiro grupo de provetes para um tempo de 3 a 6 minutos e temperatura de ultra-som de 60° C, não apresentou variação significativa na carga máxima. No grupo dois aumentou-se o intervalo de tempo para 10 a 60 minutos, com as mesmas condições de temperatura do grupo anterior. Analisando os valores de carga máxima, dos 10 para os 30 minutos não há grande variação de carga, mas dos 10 para os 60 e dos 30 para os 60 contacta-se que há uma perda bastante acentuada de resistência máxima. Relativamente ao provete 1 e 9, estes foram submetidos a um tempo de ultra-som de 60 minutos, contudo a uma temperatura mais baixa que a dos grupos anteriores, apenas de 25° C. Devido ao aquecimento da água causado pela vibração, os provetes foram ensaiados à temperatura de 30° C. Verificou-se também uma perda bastante grande de resistência.

Quadro 5. 3 Carga máxima de três grupos de provetes com diferentes tempos e temperaturas de ultra-som.

Provetes	Densidade relativa (g/cm ³)	Tempo de ultra-som (min)	Temperatura de ultra-som (°C)	Temperatura do ensaio (°C)	Carga máxima (kN)	Resistência à tracção indirecta (kPa)
2	2,179	Banho de 24h a 60°C		25°	14,14	1405,9
3	2,273	3	60°	25°	9,11	905,8
7	2,257	4	60°	25°	9,41	935,9
4	2,265	6	60°	25°	9,61	956,0
5	2,281	10	60°	25°	9,27	921,9
6	2,253	30	60°	25°	8,60	855,6
8	2,216	60	60°	25°	2,22	220,4
1	2,244	60	25°	30°	2,24	1223,2
9	2,193	60	25°	30°	2,19	1218,1

▪ **Provetes com compactação estática de 8 MPa.**

No Quadro 5.4 apresentam-se os valores dos provetes para o ensaio de imersão-compressão, submetidos ao ultra-som, tendo com referência o provete 1 com uma carga máxima de 38,5 kN.

O primeiro grupo de provetes foi submetido a tempos de ultra-som de 10, 30 e 60 minutos a uma temperatura de 60° C e foram ensaiados à compressão simples logo após finalizado o tempo de ultra-som. Conclui-se que com 10 e 30 minutos de ultra-som, o provete não atinge a temperatura pretendida (60° C). Apenas com 60 minutos de ultra-som é que o provete atinge os 60° C. Relativamente aos valores de carga máxima, denota-se uma perda significativa de resistência com o aumento do tempo.

Quanto ao provete 5, este foi ensaiado a uma temperatura de ultra-som de 25° C durante 60 minutos. Constatou-se que é difícil manter essa temperatura devido ao aquecimento da água provocado pela vibração do ultra-som e a sua carga máxima é mais alta que a do grupo anterior, mas há uma perda de resistência quando comparado com o provete de referência.

As conclusões obtidas anteriormente estão presentes no Gráfico 5.1, donde se conclui que o grupo submetido à temperatura de 60° C é o que apresenta valores de carga máxima mais baixos, diminuindo com o tempo.

Quadro 5. 4: Carga máxima de dois grupos de provetes com diferentes tempos e temperatura de ultra-som.

Provetes	Densidade relativa (g/cm ³)	Tempo de ultra-som (min)	Temperatura de ultra-som (°C)	Temperatura do ensaio (°C)	Carga máxima (kN)	Resistência à compressão simples (kPa)
1	2,316			25	38,53	2438,6
2	2,344	10	60°	48°	10,06	636,5
3	2,343	30	60°	54°	7,13	451,2
4	2,338	60	60°	60°	5,88	371,9
5	2,340	60	25°	30°	21,22	1342,2

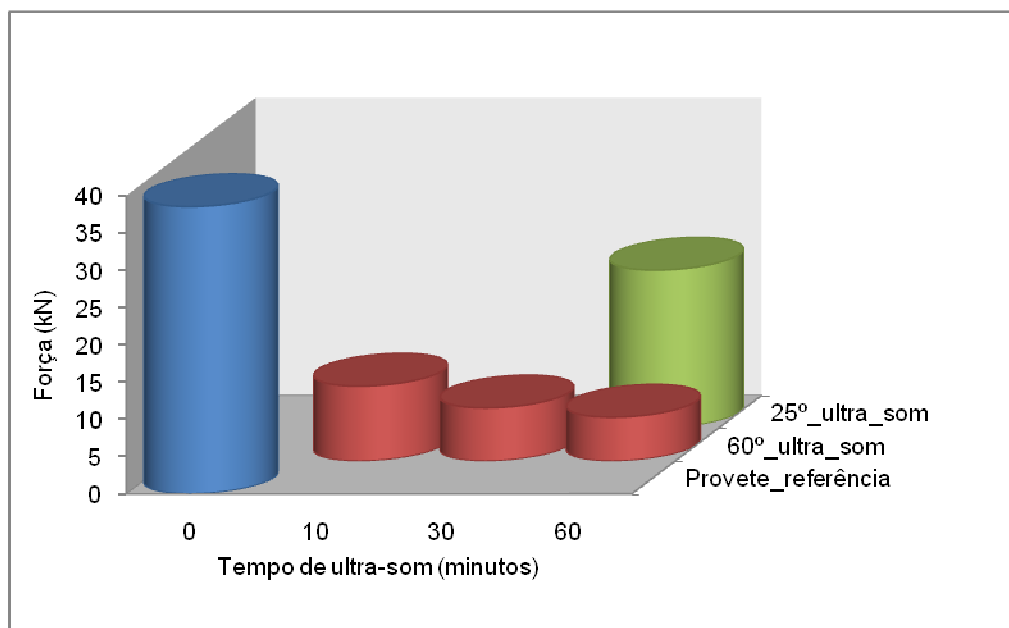


Gráfico 5. 1: Força Vs. Tempo de ultra-som dos provetes para o ensaio de imersão-compressão.

A perda de resistência dos provetes depois do ultra-som é bastante notória quando comparada com o ensaio de imersão-compressão, tal como se pode verificar no Quadro 5.5.

Quadro 5. 5: Perda de resistência dos provetes após o ensaio de imersão-compressão e após submetidos ao ultra-som.

Ultra-som	Tempo (minutos)	10	30	60	60
	Tempertura (° C)	60°	60°	60°	25°
	Perda de resistência (%)	74	81	85	45
Imersão-compressão	Tempo (horas)	24			
	Tempertura (° C)	60°			
	Perda de resistência (%)	12			

▪ Carotes de obra

Submeteram-se, também, carotes ao ultra-som. Os valores obtidos apresentam-se no Quadro 5.6, tendo como referência o carote 5, com uma carga máxima de 15,27 kN.

Os carotes 2, 3 e 8 foram submetidos a 10, 30 e 60 minutos de ultra-som, respectivamente, a uma temperatura de 60° C. Relativamente à temperatura de ensaio, apenas com 60 minutos é que os carotes atingem a temperatura pretendida (60° C).

Quanto à carga máxima denota-se uma perda de resistência bastante acentuada dos carotes, quando comparados com o carote de referência.

O carote 9 teve um tempo de ultra-som de 60 minutos, a uma temperatura de 25° C e a sua carga máxima é inferior à do carote de referência, mas superior à dos carotes submetidos à temperatura de 60° C.

No Gráfico 5.2 apresentam-se os valores Força Vs. Tempo de ultra-som, de onde se pode concluir que a temperatura do ultra-som é um factor muito importante na deterioração do carote.

Quadro 5. 6: Carga máxima de dois grupos de carotes com diferentes tempos e temperatura de ultra-som.

Provetes	Densidade relativa (g/cm ³)	Tempo de ultra-som (min)	Temperatura de ultra-som (°C)	Temperatura do ensaio (°C)	Carga máxima (kN)	Resistência à tracção indirecta (kPa)
5	2,340			25°	15,27	
2	2,298	10	60°	49°	1,33	132,6
3	2,264	30	60°	58°	0,89	88,4
8	2,284	60	60°	60°	0,40	40,2
9	2,303	60	25°	30°	12,74	1267,3

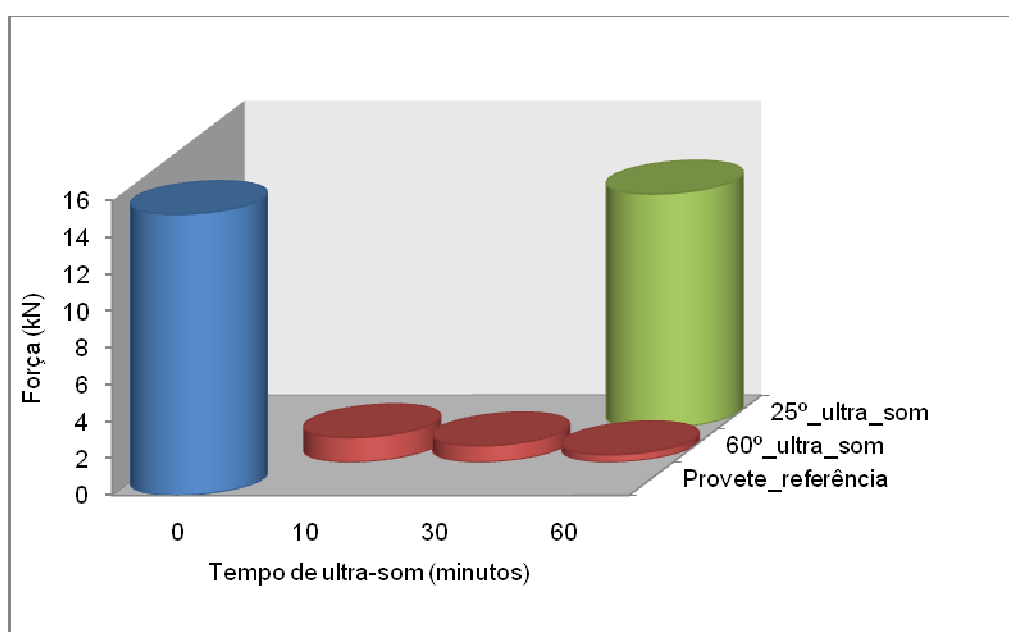


Gráfico 5. 2: Força Vs. Tempo de ultra-som dos carotes.

5.4. SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O Quadro 5.7 apresenta uma síntese dos resultados obtidos após a aplicação dos ultra-sons.

Quadro 5. 7: Quadro síntese dos resultados com ultra-sons.

	Resistência à tracção indirecta (kN)		Resistência à compressã simples (kN)
	Marshal (média)	Carotes	Imersão-compressão
10 minutos a 60° C	1024,325	132,6	636,5
30 minutos a 60° C	809,4	88,4	451,2
60 minutos a 60° C	220,4	40,2	371,9
60 minutos a 25° C	1220,65	1267,3	1342,2

Pode concluir-se deste quadro que, à temperatura de 60° C, os carotes apresentam uma resistência à tracção indirecta muito baixa. Analisando os valores dos 10 minutos para os 60 minutos a 60° C, verifica-se que há uma grande perda de resistência.

Conclui-se, também, que a resistência a 25° C durante 60 minutos é superior à resistência durante 10 minutos a 60° C, logo, constata-se que a temperatura também tem influência aquando da aplicação do ultra-som.