

## **2. ENQUADRAMENTO TÉCNICO**

## 2.1 O APARECIMENTO DAS ESPUMAS DE BETUME

O potencial das espumas de betume para utilização como ligante de misturas betuminosas foi referenciado pela primeira vez pelo Dr. Ladis Csanyi há cerca de 50 anos no “Bituminous Research Laboratory of the Engineering Experiment Station, Iowa State University” (Csanyi, 1957 e 1959).

Nas centrais betuminosas da década de 50, o betume era aquecido através de um jacto de vapor de água. Segundo Csanyi, ocorria por vezes o contacto do vapor de água com o betume, originando a expansão do mesmo e o transbordo para fora do reservatório, com um comportamento fluido semelhante ao da água. Por vezes, o betume sob esta forma penetrava no solo e adería ao mesmo aglomerando-o. Para Csanyi tornaram-se então evidentes os benefícios que poderiam advir da reprodução deste tipo de fenómeno em condições controladas. Csanyi desenvolveu então um processo de produção de espuma de betume que consistia na injeção de vapor de água no betume quente através de um injector idealizado por si (Figura 2.1). Este processo implicava a existência de uma fonte de vapor nas centrais betuminosas, o que na altura era conseguido com recurso às caldeiras de vapor existentes nas centrais e que mantinham o betume quente de modo a garantir a sua manutenção num estado fluido.

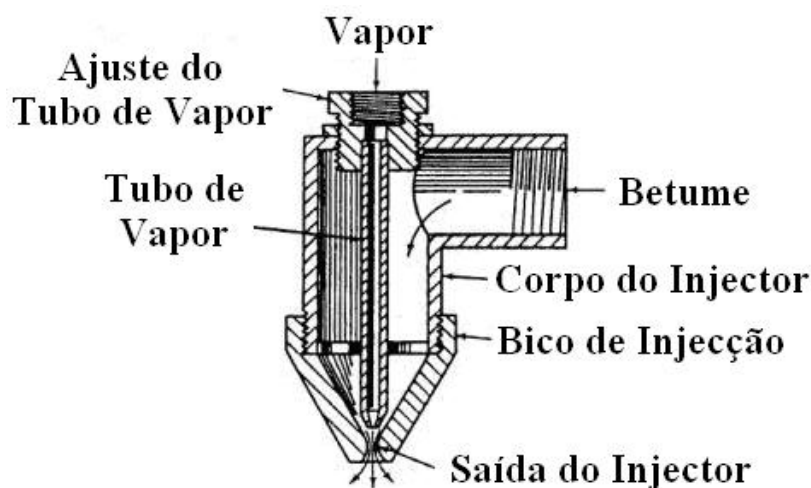


FIGURA 2.1 - Injetor idealizado por Csanyi

FONTE: Csanyi (1957)

Em 1968, a Mobil Australiana adquiriu a patente do processo criado por Csanyi e introduziu algumas alterações no mesmo. O vapor de água foi substituído por água que era injectada no betume quente sob forma de aspersão (ou água atomizada) numa câmara de expansão. A pressão gerada durante o processo de expansão provocava a descarga da espuma. Apesar da Mobil ter registado a patente deste injector em 1971, o processo da espuma de betume só adquiriu uma importância relevante em 1990, quando aquela expirou. Este facto permitiu o surgimento, no mercado, de novos processos e máquinas para utilização desta técnica e consequente desenvolvimento da mesma.

A disponibilidade de novas tecnologias permitiu a realização de experiências e de investigação sobre as potencialidades e conveniência da utilização desta tecnologia em alguns projectos.

Embora a técnica de aplicação tenha evoluído, o número reduzido de experiências efectuadas e a deficiente divulgação das mesmas contribuíram para que não exista um método padrão para o estudo das espumas e sua aplicação.

## 2.2 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS ESPUMAS DE BETUME

A espuma de betume pode ser obtida através da adição de pequenas porções de água, usualmente 2 a 3%, sob pressão e em forma de aspersão (atomizada) à temperatura ambiente ou próxima desta, a betume a altas temperaturas. Quando a água entra em contacto com o betume quente evapora de forma abrupta e assume a forma de vapor que fica retido no interior de milhares de pequenas bolhas de betume. Esta sequência de fenómenos causa uma reacção de espumamento (“*foaming*” na nomenclatura anglo-saxónica) espontânea e dá origem a uma dilatação do betume até cerca de 15 a 20 vezes o seu volume inicial.

Este processo de expansão origina uma redução da viscosidade do betume o que permite a sua mistura com o agregado a frio (temperatura ambiente) de uma forma mais eficaz.

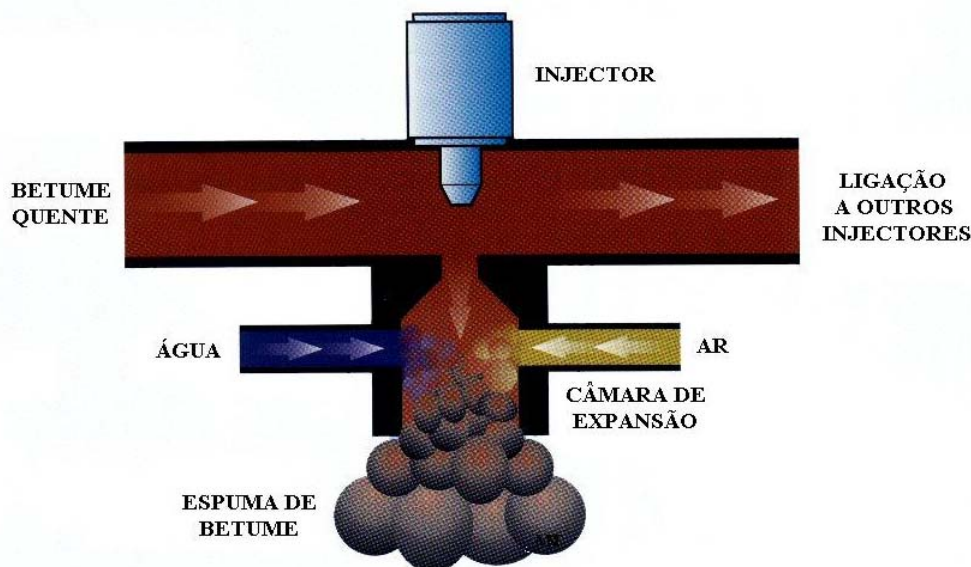


FIGURA 2.2 - Produção de Espuma de Betume numa Câmara de Expansão

(Adaptado de Wirtgen (2001b))

As propriedades das espumas de betume são influenciadas por múltiplos factores de uma forma complexa. Assim, é necessário controlar as propriedades da espuma produzida de modo a verificar a optimização das mesmas e a assegurar um melhor desempenho no processo de mistura com os agregados. Com este intuito são utilizadas duas propriedades importantes das espumas de betume: a “expansão”,  $ER$ , que é um indicador da viscosidade e a “semi-vida”,  $\tau_{1/2}$ , que é um indicador da estabilidade da espuma.

A expansão é medida como o número de vezes que aumentou o volume de betume em relação ao volume inicial e a semi-vida é o intervalo de tempo que decorre entre a espuma atingir o volume máximo na fase de expansão e metade desse mesmo volume. Ambas as propriedades serão alvo de uma análise mais exaustiva no capítulo 4.

## 2.3 UTILIZAÇÃO DAS ESPUMAS DE BETUME NOS PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

Os pavimentos rodoviários proporcionam uma base de circulação para veículos, permitindo a sua deslocação de forma rápida, segura, confortável e económica. A estrutura dos pavimentos rodoviários é composta por uma sobreposição de várias camadas de espessura finita sobre o solo de fundação, formando uma estrutura laminar estratificada em que a resistência das camadas inferiores é menor que a resistência das camadas superiores.

Os pavimentos rodoviários dividem-se em três grandes grupos, os **flexíveis**, os **rígidos** e os **semi-rígidos**.

Os pavimentos flexíveis são os mais comuns em Portugal e são constituídos por camadas granulares que podem ser estabilizadas com ligantes, dependendo das solicitações, da qualidade dos materiais granulares disponíveis para utilização e da capacidade de suporte do solo de fundação. Estas camadas podem ser ou não coladas entre si.

Os pavimentos rígidos são constituídos por uma sucessão longitudinal de lajes de ou uma única laje contínua de betão hidráulico que apoiam sobre uma base granular, ligada ou não. Neste tipo de pavimento a laje de betão que é também a camada de desgaste funciona como o elemento estrutural principal do pavimento, absorvendo a grande parte dos esforços verticais aplicados sobre o pavimento.

Estes dois tipos de pavimentos devem também ser distinguidos pela sua forma de comportamento mecânica distinta. No caso dos pavimentos flexíveis a distribuição das tensões verticais, fruto da dissipação das cargas ao longo das camadas, até se atingirem valores de tensão compatíveis com o solo de fundação, tem lugar numa área relativamente restrita e concêntrica com o ponto de aplicação da carga. No caso dos pavimentos rígidos a área de dissipação das tensões é bastante maior, fruto da elevada rigidez das lajes de betão à flexão, o que permite que a distribuição das cargas seja efectuada numa área mais ampla, ou seja a área de influência da laje. Considerando este facto é fácil entender que os valores das tensões transmitidas às

camadas inferiores no caso dos pavimentos rígidos é inferior quando comparado com os valores das tensões transmitidos por meio de pavimentos flexíveis.

No caso dos pavimentos semi-rígidos, as camadas superiores são idênticas às existentes nos pavimentos flexíveis e a camada de base é uma camada granular mas estabilizada com um ligante hidráulico, constituindo um betão “pobre”. Uma definição mais aprofundada destes conceitos e definições é apresentada em Pereira e Miranda, (1999), Pereira e Santos (2002), Jacinto (2003) e Pinto, (2003).

Os **pavimentos** construídos com **espumas de betume**, que serão alvo de estudo neste trabalho, **incluem-se no grupo dos pavimentos flexíveis**.

As propriedades, características e o comportamento dos pavimentos são influenciados pelo tipo e quantidade de ligante utilizado nas camadas que os constituem.

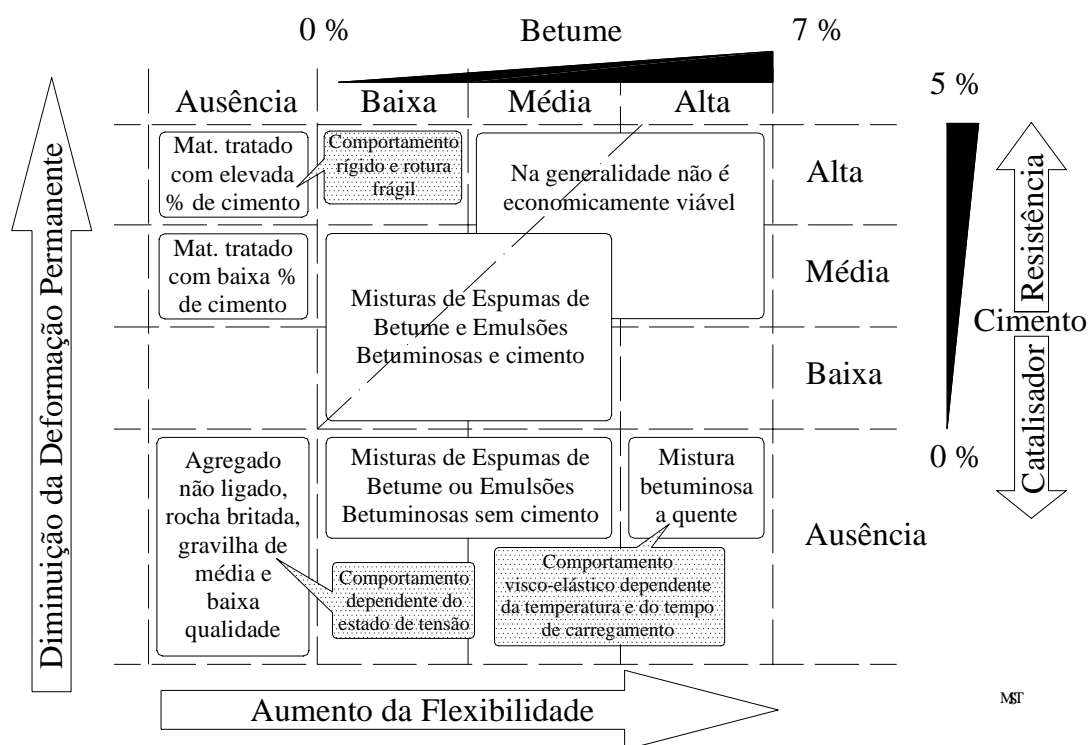


FIGURA 2.3 - Características Comportamentais dos Materiais

Utilizados em Pavimentos Flexíveis

(Adaptado de Asphalt Academy, 2002)

Na figura 2.3 é apresentado um diagrama que permite classificar os tipos mais comuns de pavimentos flexíveis em função do tipo de ligante presente na mistura betuminosa, que se passará a designar ao longo deste documento apenas por mistura, e respectiva percentagem. Este diagrama evidencia a influência do tipo de ligante nas propriedades da mistura que é produzida.

Os três tipos mais comuns de camadas utilizadas na construção de pavimentos flexíveis, estão representados nas extremidades à esquerda e na extremidade inferior direita do já referido diagrama.

Na extremidade inferior esquerda encontram-se os materiais granulares não ligados. Este tipo de material é caracterizado por apresentar um comportamento muito dependente do seu estado de tensão.

Na extremidade superior esquerda encontram-se os materiais tratados com cimento. Este tipo de materiais comporta-se como materiais rígidos, quebradiços e com rupturas frágeis e resultam do tratamento dos materiais granulares da extremidade esquerda inferior com quantidades crescentes de cimento com o intuito de aumentar a resistência à deformação permanente.

Na extremidade inferior direita localizam-se os betões betuminosos. Estes materiais apresentam um comportamento visco-elástico dependente quer da temperatura, quer da velocidade de aplicação das cargas e resultam do tratamento dos materiais granulares com materiais betuminosos.

As misturas de espuma de betume, que se passarão a designar por misturas de espuma, apresentam um comportamento complexo e dependente das proporções dos diferentes tipos de ligantes presentes na mistura.

Se a mistura for realizada com pequenas percentagens de betume e cimento, ou mesmo sem cimento, o seu comportamento aproxima-se do comportamento dos materiais granulares.

Ao aumentar a percentagem de cimento o comportamento da mistura torna-se mais rígido e resistente à deformação permanente, aproximando-se dos materiais tratados com cimento representados na extremidade superior esquerda.

Ao aumentar a quantidade de betume presente o comportamento da mistura torna-se mais flexível aproximando-se do comportamento dos betões betuminosos situados na extremidade inferior direita. Deste modo, podemos obter uma mistura que satisfaça as especificações requeridas em cada situação alterando apenas as proporções entre os materiais que a constituem.

As espumas de betume situam-se numa zona central do diagrama. Uma observação que permite consolidar este facto é a referência em alguns trabalhos de investigação recentes (Asphalt Academy, 2002) à importância da relação de igualdade entre a percentagem de betume e a percentagem de cimento presentes na mistura, representada no diagrama pela linha a traço-ponto. Segundo informações presentes nos trabalhos referidos, esta linha representa um importante limite para a determinação do comportamento das misturas com espumas de betume. Aparentemente, as misturas situadas acima desta linha no diagrama apresentam um comportamento semelhante ao dos materiais tratados com cimento enquanto que as misturas de espuma de betume que no diagrama se situem abaixo da linha referida apresentam um comportamento semelhante ao dos betões betuminosos (Asphalt Academy, 2002).