

3. O USO DE AREIA-ASFALTO, EMULSÃO E POLÍMERO EM PAVIMENTAÇÃO

Neste capítulo procurou-se tratar de três características que distinguem a mistura asfáltica estudada nesta pesquisa: misturas sem agregado graúdo, feitas a frio, e com a utilização de polímero. Como os ensaios realizados nesta pesquisa pretendem avaliar a resistência das misturas de areia-asfalto a frio ao desgaste e à deformação permanente, também encontra-se neste capítulo uma descrição destes defeitos.

3.1 AREIA-ASFALTO

A areia-asfalto é uma mistura betuminosa, usada para construção de bases ou revestimentos, produzida com uso de agregado miúdo, com ou sem filler, e asfalto. Como outros revestimentos asfálticos, podem ser produzidas a quente, utilizando cimento asfáltico, ou a frio, com a utilização de emulsões asfálticas ou asfaltos diluídos. A principal diferença entre a areia-asfalto e o concreto asfáltico é similar à diferença entre a argamassa e o concreto de cimento Portland, ou seja, apenas a falta de agregados graúdos. E como no caso do concreto, também existem diferenças de custo, resistência e de durabilidade.

3.1.1 HISTÓRICO

O uso de revestimentos betuminosos na pavimentação de estradas teve início na metade do século 19. No ano de 1876, na cidade de Washington,

Estados Unidos, a mistura de agregados com asfalto foi utilizada pela primeira vez (AGG, 1929), mas já em 1858, em Paris, França, utilizando rocha asfáltica, foi construído o primeiro pavimento asfáltico (HERBERT¹ apud AGG, 1929).

O revestimento denominado "sheet-asphalt" ou lençol asfáltico, em português, é, depois dos revestimentos europeus com rocha asfáltica, o tipo mais antigo de revestimento betuminoso (SMITH, 1923). Sua composição granulométrica, apresentada na tabela 2.1, não difere muito da utilizada em revestimentos de areia-asfalto atualmente. As principais características deste tipo de revestimento eram: impermeabilidade, baixa sonoridade, superfície lisa, economia, facilidade de construção e durabilidade (SAINZ, 1923). Como defeitos, apresentava superfície muito lisa, por isso não devia ser utilizado em rampas maiores que 5%, além de ficar com a superfície muito plástica em clima quente (AGG, 1929).

Peneira	Abertura (mm)	Limite (% passando)
10	2	100
20	1,20	87 - 97
30	0,60	75 - 91
40	0,42	64 - 80
50	0,30	53 - 67
80	0,177	35 - 46
100	0,15	24 - 31
200	0,074	13 - 16

Tabela 3.1: Distribuição granulométrica do "sheet asphalt" (SMITH, 1923)

A composição granulométrica da areia-asfalto varia bastante entre as especificações que tratam do assunto. De forma geral, são considerados

¹ Hebert, A., "Asphalts and Allied Substances", 2nd Ed., 1920, pp. 16,17,116, D.Van Nostrand Co.

como revestimentos de areia-asfalto, as misturas de areia (partículas com diâmetro menor que 4,76 mm), ligante betuminoso e filler.

A distinção entre areia-asfalto e “sheet-asphalt” é bem tênue, mas alguns autores procuraram diferenciá-los.

MELLO (S.D.), diferencia o “sheet-asphalt” da areia-asfalto nos seguintes pontos:

- Ser fabricado apenas em centrais e a quente;
- Ser utilizado apenas em camadas de revestimento;
- Ser uma mistura densa;
- Adotar regras granulométricas mais precisas;
- Exigir o mesmo rigor de controle que concretos asfálticos;
- Exigir resistências mecânicas mais elevadas.

No HIGHWAY engineering handbook (1960) o revestimento “sheet-asphalt” é descrito como mistura de agregados finos bem graduados, filler mineral e asfalto. Cita-se também que quase sempre é necessária uma camada de binder de igual espessura, e que a espessura total fica em torno de 7,6 cm. Comentando sobre as vantagens e desvantagens deste revestimento são citadas as mesmas características descritas por SAINZ (1923) e AGG (1929), apresentadas anteriormente.

SOUZA (1961) cita as definições de areia-asfalto e de “sheet asphalt” encontradas no “*Asphalt Handbook*” do The Asphalt Institute e no “*Manual of Highway Construction Practices and Methods*” da AASHO e conclui que a distinção entre um e outro tipo de revestimento está no rigor do controle e na curva granulométrica:

Asphalt Handbook - The Asphalt Institute

SHEET ASPHALT - "É um pré-misturado utilizando areia graduada, filler e cimento asfáltico"

AREIA-ASFALTO - "É definida como um pré-misturado a quente com areia local e cimento asfáltico, sem muitas exigências no que se refere à graduação do agregado ou, então, uma mistura a frio de areia local com ou sem filler e asfalto líquido."

Manual Of Highway Construction Practices And Methods - AASHO

SHEET ASPHALT - "É um revestimento muito denso, de alto tipo, composto de areia, filler e cimento asfáltico."

AREIA-ASFALTO - "É uma mistura de areia e asfalto, como diz o nome. A areia usada é a que é, naturalmente, encontrada na estrada ou nas vizinhanças."

BAPTISTA (1976) distingue a areia betume (sand asphalt) da areia asfalto a quente (sheet-asphalt), sendo que a diferença entre as duas está na faixa granulométrica e maior controle de execução no "sheet-asphalt".

FRAENKEL (1980) descreve os revestimentos de areia-asfalto como macios, fáceis de exsudar e pouco resistentes ao atrito do tráfego, mas no entanto são uma solução quando não se encontram agregados graúdos disponíveis. Já o sheet-asphalt é descrito por este autor como uma camada densa, de alta qualidade, produzida a quente, que forma um revestimento que produz pouco ruído com a passagem do tráfego, liso, durável, impermeável, e de baixo atrito. O autor cita ainda que este revestimento tem alto custo e durabilidade de aproximadamente 40 anos (sic). Apesar das diferenças de desempenhos de sheet-asphalt e areia-asfalto citadas, as faixas granulométricas dos revestimentos apresentadas pelo autor não diferem muito. A maior diferença está na maior quantidade de filler que a mistura de sheet-asphalt possui.

O ASPHALT INSTITUTE (1995), afirma que misturas de areia-asfalto e sheet-asphalt normalmente não tem alta estabilidade e não são

recomendadas para locais de tráfego pesado. Como vantagem destas misturas está o fato de que podem ser usadas em espessuras muito pequenas o que pode ser usado para nivelamento do pavimento. A diferença entre areia-asfalto e sheet-asphalt, cujas faixas granulométricas estão apresentadas a seguir na figura 3.1, está na maior quantidade de filler e granulometria mais grossa que o sheet-asphalt possui.

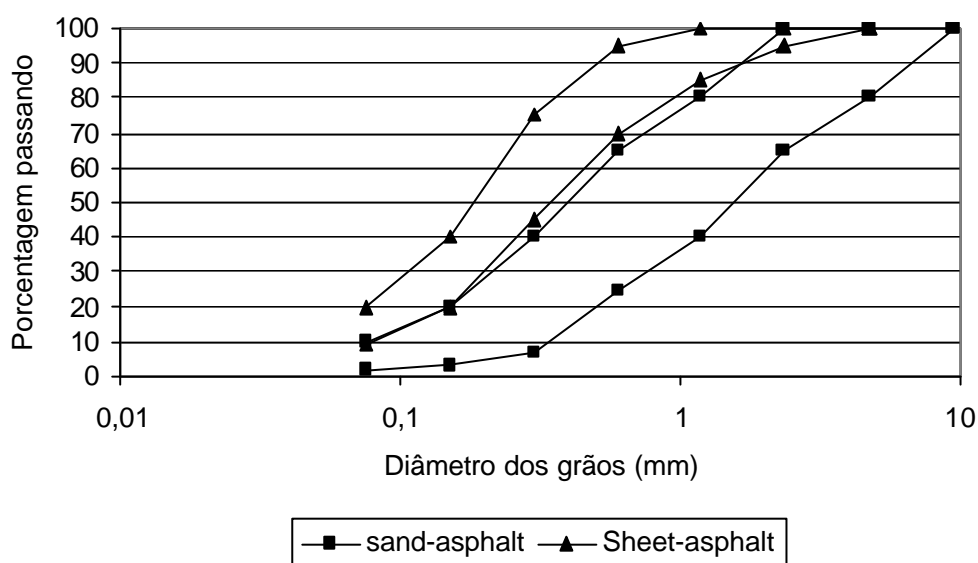


Figura 3.1: Limites para "sheet-asphalt" e areia-asfalto (ASTMD3515 apud ASPHALT INSTITUTE)

Das definições anteriormente citadas pode-se perceber que o revestimento denominado de "sheet-asphalt" é um revestimento de areia-asfalto a quente com maior teor de filler e produzido com mais rigor, no entanto poucos autores especificam limites mais concretos para distinguir quando se pode caracterizar uma mistura como areia-asfalto ou como sheet-asphalt.

Os revestimentos de areia-asfalto são usados geralmente quando não se tem agregados de boa qualidade disponíveis para a construção de bases ou revestimentos. São comumente descritos como misturas menos duráveis porque a falta de agregados graúdos e alto volume de vazios torna este tipo de revestimento menos resistente às exigências do tráfego e clima.

Apesar de não ser considerada uma mistura resistente, o revestimento de areia-asfalto pode ser uma solução adequada em certas regiões. BOTTIN FILHO (1997), estudou misturas de areia-asfalto a quente utilizando areias de origem eólica da planície costeira do Rio Grande do Sul, uma região rica em areias finas e pobre em rochas duras. Foram realizados ensaios de módulo de resiliência, deformação permanente e desgaste, chegando-se a conclusão de que o uso de areia-asfalto a quente em pavimentos com baixo volume de tráfego nesta região é viável.

Mas nem sempre o uso de areia-asfalto consegue ser vantajoso. POTTS et al (1980) afirmam com base na experiência de uso de areias da Florida, Estados Unidos, que misturas de areia-asfalto a quente não obtêm estabilidade suficiente e são difíceis de compactar, o que faz com que as bases de areia-asfalto a quente sejam geralmente consideradas inferiores às bases de materiais mais comuns.

AL-ABDULWAHHAB et al (1987) não encontraram bons resultados de resistência com areia de duna e emulsão asfáltica na Arábia Saudita. Este tipo de mistura teve comportamento instável, não demonstrando resistência à deformação permanente especialmente em clima quente. No entanto através da adição de finos britados e cimento Portland as propriedades da mistura melhoraram significativamente.

O desgaste parece ter sido a principal desvantagem da areia-asfalto, principalmente a frio, quando este revestimento começou a ser utilizado no Brasil e também em outros países. REVERDY² apud MELLO (S.D.), relata a experiência com areia-asfalto a frio que começou a ser utilizada na França em 1952 com asfaltos diluídos de cura rápida (RC):

“Um trecho feito com cut-back RC3 mostrou que este produto facilitava o envolvimento dos grãos e o espalhamento (...). Após um ou dois anos de

² Reverdy, G. “Les enrobés au cut-back” in Revue Generale des Routes et Aeròdromes- Junho 1956

uso, os revestimentos deste tipo colocados em Estradas Nacionais, apresentaram um desgaste mais ou menos acentuado com formação sobre as bordas de cordões de areia jogada pelo tráfego.”

No estado do Ceará, o início da pavimentação com areia-asfalto a frio se deu por volta de 1960, com o uso de areia e asfalto diluído, a “Areia-RC2”. Esta mistura asfáltica tornou-se o revestimento mais utilizado, tanto no Ceará quanto no Nordeste, naquela época. O asfalto diluído de cura rápida RC2 corresponde nas especificações atuais ao CR-250. Não existia nenhuma especificação brasileira para este tipo de revestimento e os trechos foram executados basicamente na improvisação (SANTANA, 1965).

Em estudo feito para analisar o comportamento de rodovias com revestimento de areia-asfalto, SANTANA (1965) analisou vários trechos construídos no Ceará, tomando medidas da espessura da capa, descrevendo o estado do revestimento, extraindo amostras para análise granulométrica, teor de ligante e densidade. Como resultado, constatou que os trechos apresentavam variação muito grande da granulometria e teor de asfalto utilizado.

Como já foi citado, o problema mais acentuado na época foi o desgaste, que parecia ter como principal fator de influência a porcentagem de ligante, além das influências das características e distribuição granulométrica da areia e ocorrência de chuvas na fase inicial da vida do pavimento (SANTANA, 1965). Apesar deste defeito, quando bem executado, o revestimento de areia-asfalto a frio apresentava resultados satisfatórios e correspondia a mais de 70% da pavimentação asfáltica do Ceará no começo da década de 60 (SANTANA, 1960).

Atualmente os revestimentos de Areia-asfalto a frio ainda são utilizados no Ceará, tanto para a construção quanto para a restauração de pavimentos. O Eng. Franklin Chaves, do DERT, cedeu fotografias de trechos de areia-

asfalto a frio e relatou o processo de utilização dos revestimentos de areia-asfalto a frio pelo DERT. Não segue-se nenhuma norma específica, até porque não existe nenhuma faixa granulométrica definida para areia-asfalto a frio nas normas do DNER nem do DERT. Geralmente é utilizada areia de rio que é peneirada apenas para retirar o material orgânico. Também não há controle da umidade. A areia é misturada com a emulsão em usinas a frio, como a da figura 3.2, geralmente com emulsão de ruptura média (RM -1C), mas dependendo da granulometria pode ser utilizada emulsão de ruptura lenta (RL – 1C). O mistura betuminosa fica estocada por vários dias curando até que seja levada a campo para o espalhamento e compactação. A figura 3.3 mostra o espalhamento de areia-asfalto a frio na restauração de um trecho. O material normalmente é espalhado com patrol, ou as vezes, com uma acabadora e compactada com rolo de pneus. O espaço de tempo que se leva até a liberação ao tráfego é de aproximadamente 8 horas, que podem variar com as condições climáticas ou com as condições geométricas do local (curvas ou tangentes).



Figura 3.2: Usina de Areia-asfalto a frio utilizada pelo DERT



Figura 3.3: Espalhamento de AAUF para restauração de um trecho

Estes revestimentos, como já foi visto no capítulo 2, apresentam desempenho inferior aos outros utilizados pelo DERT. Nas figuras 3.4 a 3.6 encontram-se fotos de trechos no município de Fortim, Ceará, ambos com aproximadamente 4 km de extensão, um com bom desempenho e outro que falhou com pouco tempo de construído.



Figura 3.4: Revestimento de areia-asfalto em bom estado



Figura 3.5: Recapeamento de AAUF defeituoso



Figura 3.6: Detalhe do afundamento no recapeamento defeituoso

Outros autores apontam casos onde a areia-asfalto foi utilizada:

Segundo VIEIRA (1960), durante a II guerra mundial muitos aeroportos foram construídos com areia asfalto pelo processo molhado, conhecida como “Wet Sand”, por ser este um revestimento de execução rápida e econômica e capaz de resistir ao tráfego.

De acordo com MELLO (S.D.), na cidade de Manaus, por falta de agregados pétreos, a areia asfalto a quente era praticamente o único revestimento utilizado por volta da década de 60. MELLO (1961) também comenta que na construção de um trecho em Pernambuco, em 1957, a areia-asfalto foi escolhida como revestimento devido a falta de agregados e da existência de jazidas de areia, no entanto já se temia o desgaste acentuado.

FULTS (1998)³ relata que no Estado do Texas, Estados Unidos, a areia-asfalto a quente foi utilizada como revestimento até o meio dos anos 80, quando perdeu competitividade de custo com relação ao concreto betuminoso usinado a quente.

3.2 POLÍMERO

Os polímeros são materiais de engenharia, de grande aplicação atualmente. Entre os polímeros se incluem vários produtos de uso rotineiro, como os plásticos, borrachas, fibras e adesivos (MANO, 1991). O termo “polímero” vem do grego (“muitas partes”) e refere-se a moléculas grandes formadas por reação química de muitas moléculas pequenas em cadeia. As moléculas que reagem para formar polímeros são denominadas de monômeros.

³ Fults, K., (1998), “Request for Information - Reply”, KFULTS@mailgw.dot.state.tx.us , email pessoal (8 jan.)

As propriedades dos polímeros são determinadas pela estrutura química dos monômeros que os constituem, do processo de preparação e da técnica desta preparação (MANO, 1985).

Os polímeros geralmente usados para modificar asfaltos são classificados em duas categorias:

- a) Elastômeros: Podem ser esticados e recuperam sua forma. Produzem pavimentos mais elásticos.
- b) Plastômeros: Dão alta resistência inicial mas são quebradiços. Garantem alta estabilidade e rigidez.

Quando misturados, asfalto e polímero combinam suas propriedades modificando as características da mistura asfáltica:

- Eleva o ponto de amolecimento
- Aumenta a viscosidade, permitindo aumento da espessura de película sobre o agregado e portanto aumento de durabilidade.
- Diminui a susceptibilidade térmica
- Aumenta a elasticidade
- Aumenta coesão

A capacidade de se atingir estas características depende da compatibilidade asfalto/polímero e quantidade e tipo de polímero adicionado, mas de maneira geral as misturas asfálticas produzidas com adição de polímeros apresentam desempenho melhor do que as convencionais. A maior diferença está no comportamento reológico, principalmente com relação à temperatura.

3.2.1 HISTÓRICO

A utilização de polímeros em revestimentos asfálticos começou aproximadamente 40 anos depois do início da pavimentação asfáltica. Uma das primeiras vezes que se utilizou um composto de asfalto/borracha foi em 1902, em Cannes, França (FARAH, 1987).

No Brasil a primeira experiência com polímeros aconteceu em 1968 na Bahia com a adição de látex de SBR (*styrene butadiene rubber*) aniônico em misturas de concreto asfáltico. Em 1976 a Petrobrás começou pesquisas sobre composição asfalto/látex em conjunto com a empresa Petroflex e o Departamento de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro (DER-RJ), utilizando látex aniônico. Os estudos com látex catiônico começaram em 1979 visando sua utilização em misturas asfálticas a frio (FARAH, 1987)

A literatura é farta em pesquisas sobre misturas asfálticas modificadas com polímeros onde foram encontradas melhoras nas características das misturas com relação à deformação permanente, vida de fadiga e susceptibilidade térmica

PINTO et al. (1983) utilizaram ensaios de compressão diametral para analisar as características elásticas de amostras de concreto asfáltico alterados com adição de látex. Para os concretos asfálticos que utilizavam CAP 85-100 os ensaios mostraram que o látex contribuiu para aumentar a vida de fadiga.

ZHOU et al. (1994), executaram ensaios em misturas moldadas em laboratório e construíram seções de teste para avaliar o desempenho de 3 concretos asfálticos modificados com polímeros. Os resultados encontrados apontam que os asfaltos modificados com polímero apresentam menor susceptibilidade térmica que os convencionais. Também verificou-se que os trechos construídos com asfalto convencional tinham maior perda de agregado que os com asfalto modificado.

QI et al. (1995), caracterizaram o comportamento das deformações permanentes de misturas com e sem polímero a temperaturas de 40°C e 60°C, onde o pavimento flexível é mais susceptível a formação de trilhas de rodas. Eles chegaram à conclusão de que a utilização de polietileno modificou as características viscoelásticas do concreto asfáltico a altas temperaturas, resultando em misturas com módulos de elasticidade maiores do que os das misturas convencionais. Isto reflete-se na resistência da mistura à deformação permanente.

CERATTI et al. (1996) apresentaram um estudo comparativo do comportamento mecânico de misturas asfálticas convencionais e com ligante modificado com polímero SBS. Para análise foram realizados ensaios de módulo de resiliência por compressão diametral, resistência à tração por compressão diametral estática e “creep” dinâmico. O resultado desta pesquisa indica que as misturas com SBS apresentam superioridade com relação à resistência à tração, com picos de resistência em teores abaixo do ótimo. Os resultados dos ensaios de Creep dinâmico também apontaram para uma superioridade das misturas com polímero, mostrando grande potencial para reduzir deformações permanentes.

Na literatura também existem pesquisas onde não foram encontradas melhoras de desempenho com o uso de asfalto modificado com polímero. OLIVEIRA & MOTTA (1996) desenvolveram estudo comparando concretos asfálticos fabricados com um cimento asfáltico convencional e com o mesmo cimento asfáltico modificado com 3 percentuais de polímero. Com base nos resultados de ensaios de creep, deformação elástica, tração estática e resistência à fadiga não evidenciou-se melhor desempenho com o acréscimo de polímero à mistura.

3.3 EMULSÃO ASFÁLTICA

A emulsão asfáltica é obtida pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa. Para isso, é preciso utilizar um moinho coloidal para triturar o cimento asfáltico de petróleo (CAP) em partículas muito pequenas (1 a 10 μ). O esquema simplificado de produção da emulsão asfáltica encontra-se na figura 3.7.

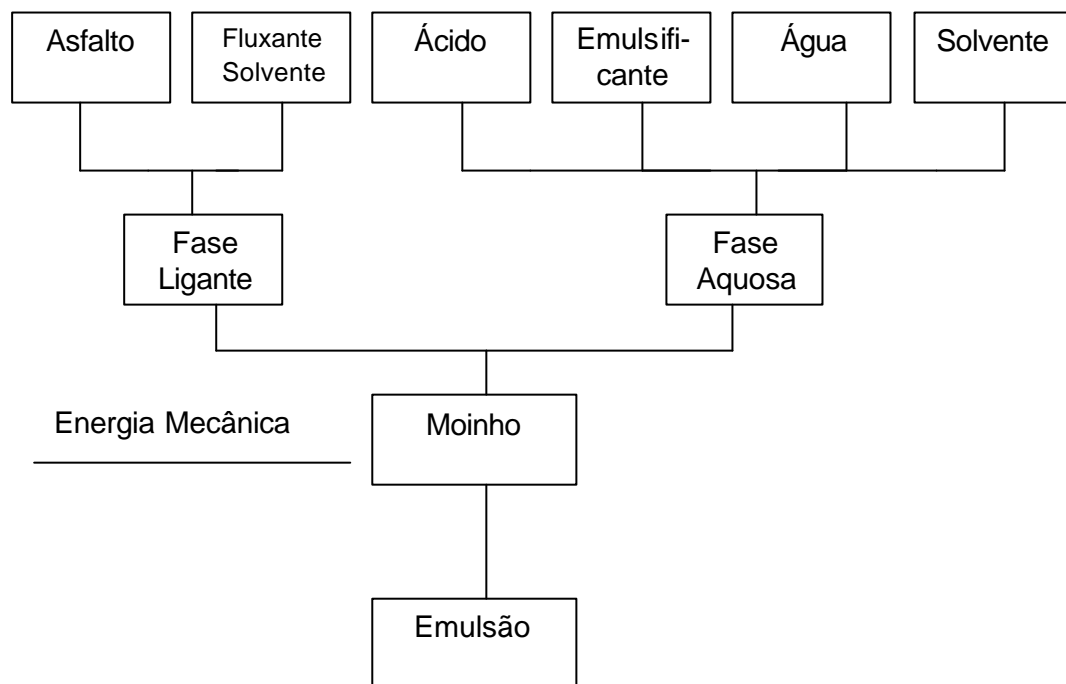


Figura 3.7- Esquema de produção de emulsão (IBP, 1994)

Basicamente o que se utiliza na produção de uma emulsão asfáltica é CAP, água, agente emulsionante e energia para fazer a dispersão (IBP, 1994). O cimento asfáltico moído é envolvido pelo agente emulsionante, cujas moléculas possuem uma parte polar, que envolve os glóbulos de asfalto, diminuindo a tensão entre as fases aquosa e asfáltica, impedindo que as partículas, dispersas em água, se unam prematuramente (SANTANA, 1992).

Quando o CAP separa-se da água e adere ao agregado, caracteriza-se a ruptura da emulsão. De acordo com a velocidade desta ruptura a emulsão é

denominada de ruptura lenta, média ou rápida. A ruptura ocorre pela atração entre o agregado e a emulsão que devem ter cargas contrárias.

Com relação à carga de partícula, a emulsão pode ser classificada em catiônica, aniônica ou não-iônica. As emulsões catiônicas são indicadas para uso em agregados de carga negativa, e as emulsões aniônicas para agregados de carga positiva. Nas emulsões não-iônicas a emulsão adere ao agregado apenas pela evaporação da água (MOUTHROP et al., 1997).

3.3.1 HISTÓRICO

O início da pavimentação com emulsão asfáltica remonta aos anos 20 (MOUTHROP et al., 1997), mas só foram introduzidas no Brasil por volta de 1952 (VOGT, 1971). Em 1962 foram introduzidas as emulsões catiônicas. Nos primeiros 15 meses sua utilização foi muito restrita, mas após bons resultados na renovação da rodovia Presidente Dutra, seu prestígio se consolidou.

A emulsão asfáltica apresenta várias vantagens com relação às misturas convencionais a quente:

- Uso de equipamentos mais simples, sem necessidade de aquecer o agregado
- Eliminação dos riscos de incêndios e explosões
- Facilidade na distribuição do ligante
- Não emissão de hidrocarbonetos na atmosfera

MOUTHROP et al. (1997) citam dados do U.S. Department of Agriculture para comparar os custos de misturas a frio e a quente em 1976. O custo por tonelada das misturas fabricadas com emulsão são menores do que das misturas a quente, no entanto devido a equivalência de camadas utilizada na época ser de 1:1,4 o custo por quilômetro é maior. Hoje em dia a equivalência entre camadas a frio e a quente está se aproximando de 1:1, o que torna as misturas a frio mais baratas do que as a quente.

Em contraponto às vantagens citadas, MOUTHROP et al. (1997) enumeram as barreiras que impedem maior utilização de misturas a frio. Os procedimentos de dosagem não se baseiam no desempenho, e a taxa de cura ainda não está perfeitamente compreendida. Este aspecto é discutido mais adiante.

3.3.2 DISCUSSÃO SOBRE MÉTODOS DE DOSAGEM

A dosagem com emulsão asfáltica é mais complexa do que a dosagem de misturas a quente e não há unanimidade sobre que método utilizar. WALLER JR (1980) pesquisou 9 métodos de dosagem de emulsão asfáltica utilizados nos Estados Unidos e verificou que não há consenso com relação à quantidade de água a ser adicionada, teor ótimo de emulsão, grau e método de cura e critério de resistência. Entretanto ele pôde verificar que a maioria dos métodos utilizam modificações do método Marshall ou Hveem.

O tempo e modo de cura parecem ser os fatores mais importantes e devem estar o mais próximo possível do processo que acontece no campo. O tempo de cura tem grande influência nos resultados obtidos nos ensaios (WALLER JR., 1980), pois a resistência das misturas com emulsão asfáltica é governada pela perda de umidade (MAMLOUK et al. 1980). A máxima estabilidade só será alcançada quando praticamente toda água na mistura tiver evaporado, o que pode levar meses no campo. Por isso a evaporação rápida feita em estufa pode não ser realista (DARTER et al., 1980; WALLER JR., 1980).

Para verificar a influência do tempo de cura no módulo resiliente, DARTER et al. (1980) realizaram um experimento onde corpos de prova foram ensaiados desde logo após a moldagem até com 48 dias de cura à temperatura ambiente. Verificaram que ocorreu um aumento rápido da resistência, de aproximadamente 28 vezes, o que está relacionado com a perda de umidade. A figura 3.8 ilustra este experimento.

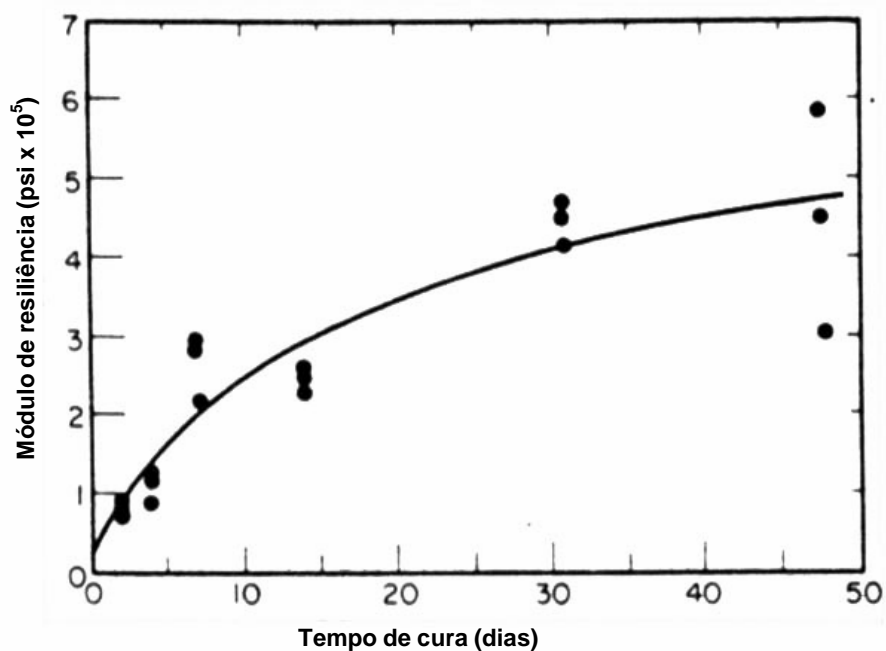


Figura.3.8: Efeito da cura ao ar no módulo de resiliência (adaptado de DARTER et al., 1980)

SANTANA (1992) levanta o questionamento de qual seria o tempo e temperatura de cura mais conveniente antes da compactação e após a compactação até o ensaio de estabilidade. Como não existe concordância internacional para estes valores, SANTANA (1992) sugere que os laboratórios brasileiros sigam a norma DNER-ME 107-80. Esta norma sugere que o tempo de cura antes da compactação para misturas produzidas com emulsão de ruptura rápida e média seja de 4 a 6 horas e de no máximo 60 minutos para emulsões de ruptura lenta, ambos a temperatura ambiente. Após a compactação a norma recomenda cura em estufa por 24 horas a 60°C. No entanto vale ressaltar que parece ser incoerente esta norma sugerir cura de 4 a 6 horas antes da compactação para emulsões de ruptura média enquanto para emulsões de ruptura lenta cura de apenas 60 minutos.

O modo de cura foi investigado por MAMLOUK et al. (1980). A cura antes da compactação promove um melhor recobrimento do agregado, por isso sugere-se que seja feita por 1 hora à 60°C. A figura 3.9 mostra a variação da

umidade em misturas ainda não compactadas pela cura a temperatura ambiente e em estufa a 60°C. A figura 3.10 mostra a mesma variação para misturas já compactadas deixadas curar dentro e fora do molde a temperatura ambiente e fora do molde a 49°C. Notadamente os corpos de prova curados fora do molde perdem umidade mais rápido, pois a área superficial por onde a água pode sair é maior. MAMLOUK et al. (1980) consideram que a cura fora do molde por 3 dias à 49°C representaria aproximadamente o processo de cura no campo.

A umidade tem grande influência na resistência da mistura. DARTER et al. (1980) consideram que entre os critérios importantes na seleção do teor ótimo de emulsão está a estabilidade na condição de saturação e a perda percentual de estabilidade entre as condições seca e saturada. Como modo e tempo de cura afetam o teor de umidade no corpo de prova, os resultados encontrados no método de dosagem estarão diretamente atrelados a forma como se faz a cura. Desta forma um método que utilize cura mais severa e demorada provavelmente vai obter valores de resistência de seus corpos de prova superiores aos de outro método com cura mais branda. Portanto um critério geral de resistência pode não ser adequado e é preferível que cada método tenha seu critério particular.

Com relação à porcentagem de água adicionada para umedecimento dos agregados, a maioria dos métodos só encontra esta relação por tentativa e erro. A água adicionada ajuda a reter as partículas finas e facilita um recobrimento mais uniforme da emulsão. MAMLOUK et al. (1980) concluíram que a interação da água adicionada com o teor de emulsão tem um efeito significativo na estabilidade Marshall.

Preferiu-se nesta pesquisa utilizar para a dosagem e moldagem dos corpos de prova o método DNER-ME 107-80. Esta decisão foi tomada por este ser um método brasileiro e por não haver consenso internacional por nenhum outro procedimento.

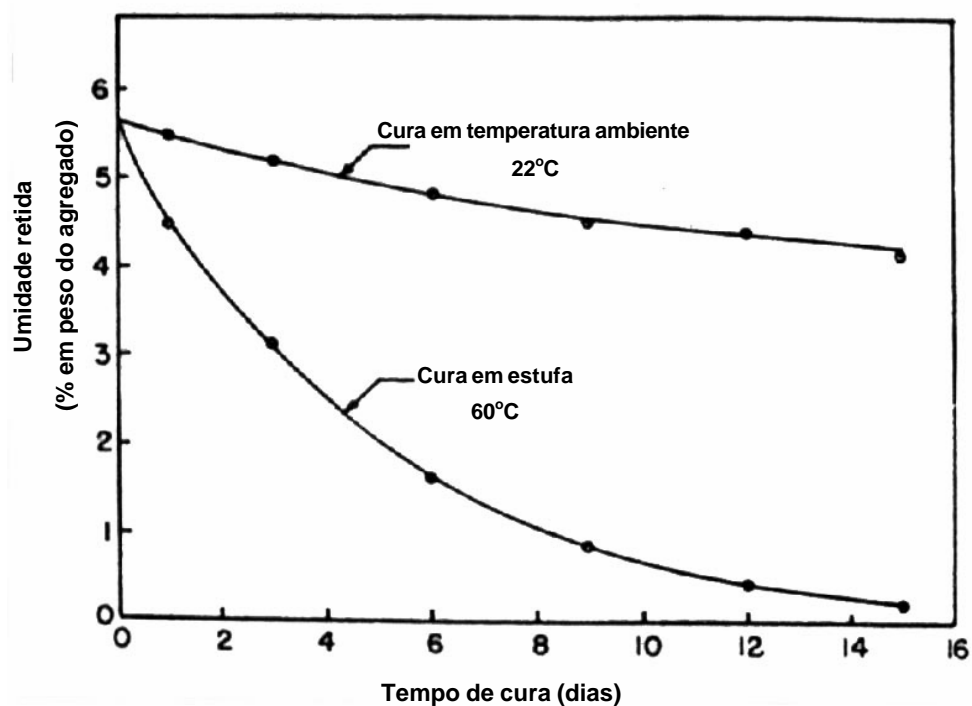


Figura.3.9: Comparação entre cura em estufa e cura à temperatura ambiente (adaptado de MAMLOUK et al., 1980)

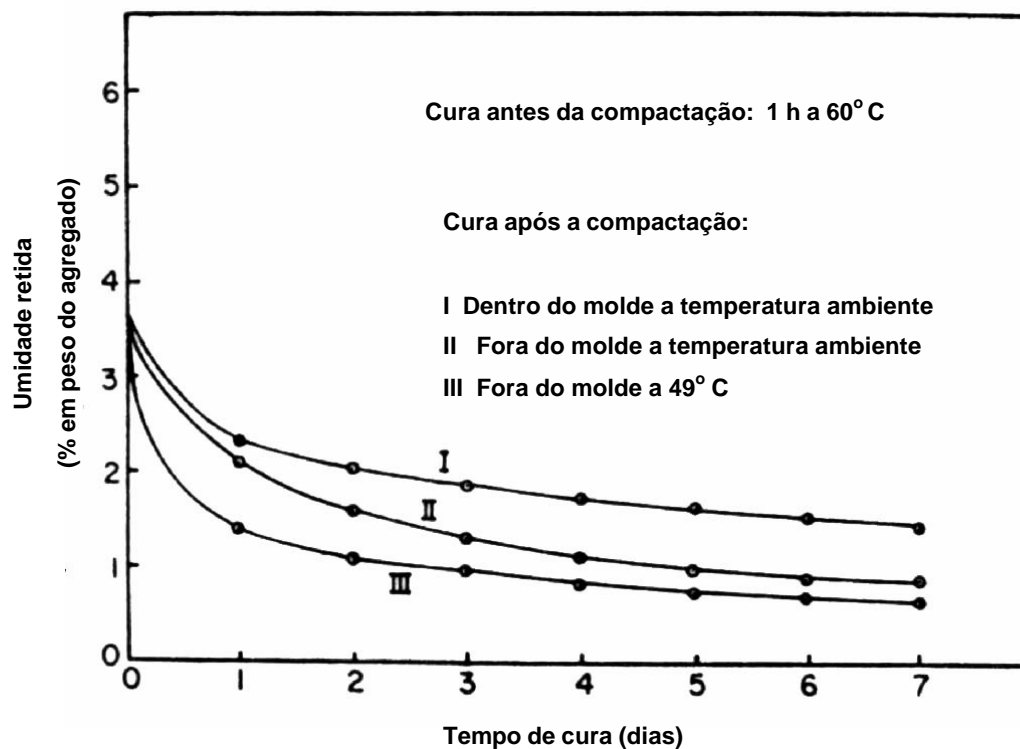


Figura 3.10: Influência do modo de cura na umidade retida (adaptado de MAMLOUK et al., 1980)

3.4 DEFORMAÇÃO PERMANENTE E DESGASTE EM AREIA-ASFALTO A FRIO

A areia-asfalto a frio está sujeita aos mesmos processos de deterioração que ocorrem em outros tipos de revestimento. Serão abordados aqui apenas dois tipos de defeito: a deformação permanente e o desgaste.

A deformação permanente será estudada porque a ausência de agregados graúdos e as altas temperaturas do nordeste brasileiro são fatores de influência na formação de trilhas de roda. O estudo do desgaste deve-se a este ser um problema bastante citado pela literatura em revestimentos de areia-asfalto, principalmente a frio.

3.4.1 DEFORMAÇÃO PERMANENTE

A formação de trilhas de rodas em pavimentos asfálticos é o resultado do acúmulo de deformações permanentes em uma ou mais camadas de um pavimento devido a passagem do tráfego. A deformação ocorre por dois mecanismos: aumento da densidade da mistura devido a pós-compactação do tráfego e a deformação plástica por cisalhamento.

A partir da observação e exame de seções de pavimento, PARKER & BROWN (1992) criaram um modelo, representado na figura 3.11, que descreve a formação de trilhas de roda como um processo de duas fases. Na primeira fase ocorre a densificação, resultado da pós-compactação que o tráfego impõe ao pavimento. Este tipo de deformação é mais pronunciada logo após a construção do pavimento, tende para um valor constante a medida que o volume de vazios diminui. Com o volume de vazios próximo de 4% a deformação deve estabilizar. Aproximadamente nesta porcentagem, afirmam os autores, a capacidade de uma mistura em resistir à deformação permanente é máxima.

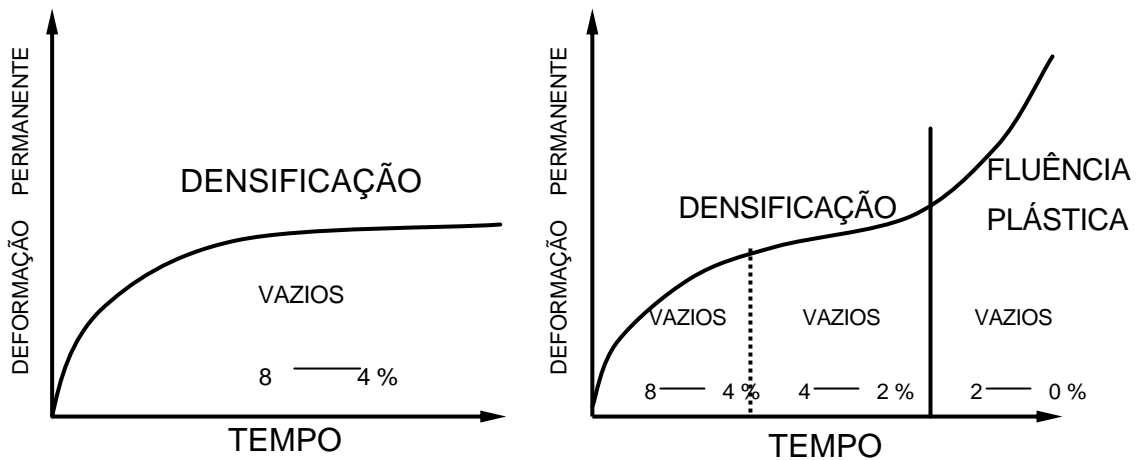


Figura 3.11: Modelos de desenvolvimento de trilha de roda (Parker & Brown, 1992)

Em pavimentos que apresentam deformação excessiva uma segunda fase também ocorre: A partir de 2% de vazios a mistura torna-se instável e desenvolve-se a fluência plástica. Neste caso não há aumento significativo de densidade, mas um deslocamento de massa que causa solevamento lateral.

A deformação permanente ocasiona aumento da irregularidade longitudinal e compromete a segurança da rodovia, mas dentro de certos limites é considerada normal. No Brasil, considera-se que flechas nas trilhas de rodas entre 15 e 20 mm sejam sinal de que a estrutura atingiu um estágio terminal (PINTO, 1996). O acúmulo de água nas trilhas de roda aumenta a possibilidade de hidroplanagem e formação de spray (PARKER & BROWN, 1992), reduzindo a segurança.

Diversos fatores determinam a tendência de uma mistura betuminosa em desenvolver deformações permanentes, sendo os mais importantes as relações com a temperatura de serviço, propriedades dos materiais e características do tráfego. Vamos abordar aqui apenas a influência dos

agregados e da temperatura, pois estes dois fatores são os mais críticos para revestimentos sem agregado graúdo utilizados em climas quentes.

a) INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO DOS AGREGADOS

Apesar do asfalto ser bastante sensível à temperatura, vários pesquisadores indicam que a influência do ligante asfáltico é secundária frente os efeitos da forma do agregado, tamanho máximo e granulometria (SANDERS & DUKATZ, 1992).

BROWN & BASSETT (1990) concluíram que o aumento do tamanho dos agregados aumenta a qualidade da mistura, com respeito ao teste “creep”, ao módulo resiliente e à tensão de tração direta. Desta conclusão infere-se que o pequeno diâmetro dos grãos é um fator potencializador na formação de deformações permanentes, e que uma mistura asfáltica apenas com areia, está em desvantagem em relação a outras misturas que possuam agregados maiores.

Para altas temperaturas a resistência à deformação do revestimento deve-se em grande parte ao agregado mineral (DAVIS, 1987). Este autor afirma que aumentando a concentração volumétrica de agregados e conseqüentemente, diminuindo o volume de vazios, maximiza a resistência à deformação da mistura. Em revestimentos de areia-asfalto, por apresentarem uma curva granulométrica com agregados com diâmetro uniforme, a concentração volumétrica não pode ser muito alta, o que o faz ser menos resistente do que revestimentos com esqueleto mineral mais completo. No entanto, COELHO (1996) em estudo sobre deformação permanente ensaiou misturas betuminosas de granulometrias variadas e verificou que misturas asfálticas finas parecem ter grande resistência a deformação permanente, apesar de que apresentaram grande variabilidade de resultados, decorrente da uma sensibilidade aos processos de mistura e compactação.

Além do tamanho máximo dos grãos, a sua forma tem grande influência na deformação permanente. Agregados angulares inter-travam melhor que os arredondados e suportam a maior parte da tensão quando o pavimento é submetido a um carregamento. Para altas temperaturas de serviço o asfalto torna-se menos viscoso e a carga compressiva aplicada é suportada principalmente pelo intertravamento dos agregados. Como agregados angulares e de textura superficial áspera oferecem melhor intertravamento, menores deformações permanentes são esperadas em pavimentos com estes agregados (KIM et al., 1992). No caso de revestimentos sem agregados graúdos, o esforço transmitido pelo tráfego é absorvido principalmente pela película de asfalto que envolve os grãos (MELLO, S.D.).

Um estudo realizado no Estado do Texas, Estados Unidos, concluiu que a textura lisa e a forma arredondada das partículas eram os fatores que mais contribuíam para deformação permanente em concreto asfáltico (PERDOMO et al., 1992).

Já DUKATZ⁴ apud KIM et al. (1992) concluiu que a deformação permanente em misturas asfálticas era principalmente afetada não só pela forma, mas também pela durabilidade e a dureza dos agregados, além da curva granulométrica.

É difícil de quantificar o quanto a curva granulométrica afeta a resistência à deformação permanente. Apesar de encontrarem coeficientes de correlação muito pequenos, PARKER & BROWN (1992), concluíram que o aumento da porcentagem de material passando nas peneiras Nº50 e Nº200 aumenta a profundidade de trilhas de rodas.

Com relação ao diâmetro do agregado, alguns estudos levaram a conclusão que a angularidade dos agregados miúdos é mais importante do que a dos

⁴ Dukatz, E.L. Jr., "Aggregate Properties Related to Pavement Performance", Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 58, 1989.

agregados graúdos. Quanto a resistência a deformação o efeito mais prejudicial é permitir um material com areia arredondada. (SANDERS & DUKATZ, 1992).

A quantidade e tipo do filler usado também estão entre os principais fatores que afetam a resistência do pavimento à deformação. O comportamento do filler difere dos agregados de diâmetros superiores. As partículas menores que a película de asfalto ficarão suspensas, reagindo com os componentes asfálticos e aumentando a viscosidade do ligante, e por conseqüência a rigidez, enquanto outra parte do filler estará em contato direto com as partículas maiores, preenchendo os vazios entre os agregados, e portanto aumentando densidade e resistência da mistura. (PUZINAUSKAS, 1983; AL-SUHAIBANI et al., 1992).

AL-SUHABANI et al. (1992) realizaram uma pesquisa variando a quantidade e tipo de filler utilizado em uma mistura asfáltica, usando como fillers a cal hidratada, o pó de calcário, e cimento portland. Foi verificado que a substituição de pó de calcáreo por cal hidratada ou cimento portland aumenta a tendência à deformação permanente.

b) INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA

Outros autores acreditam que a influência do clima é mais importante que a da granulometria na previsão de deformações permanentes (MATTHEWS & MONISMITH, 1992).

FAW & TAN (1992) executaram ensaios utilizando um simulador de tráfego em trilha de roda para estudar efeitos da temperatura e velocidade de carregamento no desenvolvimento de deformações permanentes nas misturas. Os corpos de prova foram testados sob duas velocidades de carregamento (20 e 60 carregamentos por minuto) e duas temperaturas (45 e 60°C). Analisando as deformações após 10.800 aplicações de carga, constataram que a temperaturas maiores os afundamentos são mais

profundos, “o que está dentro das expectativas porque o ligante asfáltico está menos viscoso à temperaturas mais altas, e portanto mais propenso à deformação permanente sob carregamento”. Também foi constatado que o efeito da temperatura se torna mais evidente quando a velocidade do teste é menor.

3.4.2 *DESGASTE*

O desgaste é definido como arrancamento progressivo do agregado do revestimento por efeitos tangenciais do tráfego (SANTANA, 1992). A gravidade deste defeito reside no fato de que a perda de agregado reduz a rugosidade do revestimento, o deixando mais escorregadio e portanto menos seguro. Na areia-asfalto esta é uma desvantagem preocupante, visto que a falta de agregados graúdos já é um fator que contribui negativamente para a aderência pneu-pavimento (MOMM & DOMINGUES, 1996).

O desgaste vem sendo relatado como um defeito que ocorre com frequência em revestimentos de areia-asfalto há bastante tempo. SANTANA (1965), após estudar revestimentos de areia-asfalto construídos no Ceará apontou os seguintes fatores como responsáveis pelo desgaste:

- Teor de asfalto;
- Natureza da Areia;
- Granulometria da Areia;
- Melhorador de adesividade;
- Ocorrência de chuvas na fase inicial da vida do revestimento.

O aumento do teor de asfalto é inversamente proporcional ao desgaste. Quanto maior for a quantidade de asfalto presente na mistura mais os grãos ficam recobertos e mais difícil é arrancá-los.

Já a influência da natureza da areia deve-se a adesividade entre ligante e agregado, algumas areias podem não ser adequadas ao uso em

pavimentação por apresentarem baixa adesividade em combinação com o tipo de emulsão utilizada. A adesividade é função da atividade química entre asfalto e o agregado, dependendo da natureza de ambos (SANTANA, 1992). Partículas com cargas iguais se repelem, e portanto asfalto e agregado com mesma carga elétrica não possuem boa adesividade

A granulometria também tem importância porque areias bem graduadas e com grãos angulosos e pouco esféricos formarão uma massa mais coesa. Com relação ao melhorador de adesividade, sua presença facilita a ligação entre ligante e agregado e reduz o desgaste. A chuva é prejudicial na fase inicial da vida do revestimento pois "lava" a emulsão do agregado e reduz seu recobrimento.

A ocorrência do desgaste também está ligada a perda de ligante por oxidação ou ação do tráfego (BALBO, 1997)

A oxidação é um processo natural dos revestimentos asfálticos, devida à ação do oxigênio junto ao asfalto. Este processo é acelerado na presença de calor e luz, por isso ocorre com mais intensidade nos revestimentos a quente, que sofrem uma oxidação acentuada durante o processo de usinagem.