

INFLUÊNCIA DO GRAU DE EMPACOTAMENTO NAS PROPRIEDADES DE MASSAS ASFÁLTICAS

A. D. Junqueira (UNIFAL-MG)

A. S. Ferreira (UNIFAL-MG)

B.F. Vry (UNIFAL-MG)

E. R. Pinto (UNIFAL-MG)

F. O. Gonçalves (UNIFAL-MG)

J. R. Costa (UNIFAL-MG)

M.T. Dias (UNIFAL-MG)

N.A. Mariano (UNIFAL-MG)

P. L. L. de Amorim (UNIFAL-MG)

S.C. Maestrelli (UNIFAL-MG)

endereço: email: sylma.maestrelli@unifal-mg.edu.br

RESUMO

A mistura asfáltica é constituída de agregados minerais e ligante (CAP – cimento asfáltico de petróleo). Os agregados são responsáveis por suportar o peso do tráfego e garantir a estabilidade, já o CAP é responsável pela impermeabilização e adesão entre as partículas constituintes. É necessário selecionar corretamente as matérias primas, aperfeiçoar a formulação da massa asfáltica através do estudo de empacotamento e compreender a interação entre CAP, agregados e filler, visando minimizar o desperdício e os custos. Para tanto, baseou-se nos modelos de empacotamento de Andreasen, Alfred e Alfred Inverso. Foram feitas composições para cada formulação, variando somente as proporções de agregados e filler. Comparou-se os resultados obtidos com uma formulação base, e com os padrões estabelecidos pelo DNIT. Os resultados mostraram-se promissores, já que os valores obtidos para Andreasen e Alfred inverso estão dentro das normas do DNIT.

Palavras- chave: empacotamento, massas asfálticas, CAP.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a principal via de transporte é a malha rodoviária, que utiliza a massa asfáltica como camada de rolamento. A manutenção preventiva/corretiva dos pavimentos asfálticos implica diretamente na redução do tempo de transporte, menor desgaste dos veículos e diminuição de acidentes.

A deterioração do asfalto ocorre de forma não linear, em função da qualidade dos materiais empregados, da solicitação de tráfego e defeitos decorrentes, além do intemperismo (1).

A mistura asfáltica é constituída de agregados minerais (brita, pedrisco, pó de pedra e filler, compreendendo 95% em peso) e asfalto. Os agregados são responsáveis pelo suporte ao peso do tráfego e estabilidade; o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) é responsável pela impermeabilização e adesão entre as partículas constituintes (2,3).

Além do projeto e colocação do asfalto, outros fatores influenciam suas características e propriedades: a distribuição granulométrica dos constituintes, ligantes e forma dos agregados, entre outros (4-6). Selecionar corretamente as matérias primas, otimizar a formulação das massas asfálticas através do estudo de empacotamento, bem como compreender a interação entre CAP, agregados e *filler* são cruciais para minimizar o desperdício e os custos.

O CAP é um material termoplástico ideal para a pavimentação. São aplicados em misturas a quente tais como: pré-misturados, areia-asfalto e concreto asfáltico (7). Para que sua utilização seja adequada, recomenda-se o conhecimento prévio da curva de viscosidade/temperatura. A norma técnica IBP/ABNT – EB - 78 fixa as características exigíveis ao CAP para fins de produção e utilização. No Brasil, são produzidos e comercializados de acordo com a classificação por penetração e viscosidade (8).

O asfalto consumido no país é majoritariamente fabricado pela Petrobrás. As principais propriedades do asfalto podem ser definidas, segunda a literatura (1) em: Estabilidade, que é a capacidade de resistir aos esforços que provocam deformações permanentes; Flexibilidade referente á propriedade de resistir a fadiga; Durabilidade, entendida como a capacidade de resistir à ação conjunta de intempérie e da abrasão promovida pelo tráfego; Rugosidade que é determinada aderência dos pneus principalmente sobre precipitações pluviométricas sendo essa função da

granulometria e da quantidade de ligante e por fim a Impermeabilidade que tem por intuito preservar as camadas subjacentes (9,10).

O estudo do empacotamento de partículas pode ser definido como o problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado de materiais particulados de forma a se obter uma distribuição de tamanhos de partículas discretas (onde a faixa de distribuição de tamanhos apresenta “gaps”; isto é, ocorre ausência de determinados tamanhos de partículas). Assim, este trabalho teve como objetivo estudar a influência do grau de empacotamento das partículas nas propriedades de massas asfálticas, sendo estas formuladas com base nas equações de empacotamento de Alfred e Andreasen.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo de empacotamento da matriz/agregado nas massas asfálticas foi realizado a partir da delimitação das frações das matérias primas utilizadas. Através do peneiramento, o seguinte conjunto de faixas foi adotado (Tabela 1).

Tabela 1: Intervalo das faixas das matérias primas utilizadas na formulação das massas asfálticas.

	Intervalo de malhas	Intervalo em mm
Brita	#3/4 - #3/8	19,1 – 9,52
Pedrisco	#3/8 - #4	9,52 – 4,76
Pó de Pedra	#4 - #200	4,76 – 0,074
Filler	Passante na #200	Passante em 0,074

Baseando-se em equações teóricas de empacotamento de partículas de Andreasen e Alfred e nas normas técnicas (DNER-ME 043/95), foram conformados corpos de prova, determinado o percentual de cada fração constituinte para cada um dos modelos, como indicado na Tabela 2. Estabeleceu-se também de acordo com as normas técnicas uma porcentagem fixa para a quantidade de CAP adicionada à mistura asfáltica, em 5% da massa total.

Tabela 2: Quantidade de matéria-prima adicionada para cada formulação (porcentagem em peso).

Composição	Brita (%)	Pedrisco (%)	Pó de Pedra (%)	Filler (%)
Andreasen	11,4	39,8	44,7	4,1
Alfred	32,3	30,4	34,3	3,1
Alfred Inverso	25,3	37,5	34,1	3,1

A partir das diferentes formulações estudadas, baseadas nas equações de empacotamento citadas anteriormente, foram pesados todos os constituintes da massa asfáltica (brita, pedrisco, pó de pedra e *filler*) em balança semi-analítica $\pm 2g$, totalizando uma massa média de 1200g para cada corpo de prova, não inclusa a massa do cimento asfáltico de petróleo (CAP).

Os constituintes sólidos da massa asfáltica foram aquecidos em chama até que se alcançasse a temperatura de $150^{\circ}C$, temperatura essa mensurada através de termômetro infravermelho com erro de medida é $\pm 2^{\circ}C$. Os agregados foram então retirados da fonte de calor e o CAP, após aquecido a uma temperatura compreendida entre $150^{\circ}C$ e $160^{\circ}C$ foi adicionado à massa asfáltica, de modo a se obter uma mistura onde o CAP envolvesse todas as frações mássicas com temperatura da mistura correspondente a $150^{\circ}C$.

Posterior à homogeneização, a mistura foi transferida para um molde cilíndrico padronizado (ensaio Marshall). A seguir, a mistura no molde foi golpeada com um soquete de 4,5Kg sendo este solto de uma altura de 75 cm, como ilustrado na Figura 1 e de acordo com a norma DNER-ME 043/95. Foram aplicados 75 golpes em cada lado para cada corpo de prova conformado.

O corpo de prova foi então retirado do molde com o auxílio de um desenformador, ficando em repouso por no mínimo 24 horas para posterior caracterização da massa asfáltica, a saber: fluência, estabilidade e densidade.



Figura 1: Molde e soquete para compactação do corpo-de-prova

Para determinação da densidade aparente, pesou-se o corpo de prova (CP) em balança semianalítica. O CP foi então colocado dentro de um recipiente cheio de água que possui uma saída lateral para coleta do volume deslocado pela adição do corpo de prova em seu interior (sifão). A coleta foi feita com o auxílio de uma proveta graduada de 1000 ml \pm 5ml. Com isso, obteve-se medidas de massa e volume para o cálculo da densidade aparente do corpo expressa em g/ml. Após o ensaio, o corpo foi aquecido para eliminar a água e partiu-se para a caracterização via ensaio de resistência, o qual determinou a estabilidade da massa asfáltica.

Para o ensaio de resistência, o CP foi colocado no molde de compressão e o medidor de fluência ajustado no molde. Este foi posicionado na prensa Marshall e feita à leitura da fluência inicial do corpo. Durante 30 segundos operou-se a prensa ou então até verificar-se o rompimento do corpo de prova (cada 180° no mostrador equivalem a 100 unidades de compressão). Após o rompimento, anotou-se o valor da fluência final e a carga que o CP suportou até o rompimento. Foram feitas as respectivas conversões para se obter os parâmetros de fluência do corpo de prova e estabilidade corrigida, devido ao volume do corpo de prova (fluência medida em 1/100 polegadas ; estabilidade corrigida medida em kgf). Este procedimento está de acordo com a normatização do DNIT(15) . A partir dos ensaios realizados, foram calculados os valores dos parâmetros de qualidade com a finalidade de se avaliar as propriedades do corpo de prova.

Os parâmetros para análise do corpo de prova estão relacionados à resistência mecânica, quantidade de vazios e flexibilidade; para resistência mecânica avalia-se o parâmetro estabilidade corrigida, obtido no ensaio Marshall através da medida da carga na compressão diametral do corpo pela prensa; para a análise dos vazios no corpo de prova os cálculos são feitos baseados na densidade teórica (que considera apenas a porcentagem e densidade de cada agregado no corpo de prova) e na densidade real (obtida experimentalmente por pesagem e deslocamento de volume).

Os parâmetros obtidos nesse caso são:

1. Porcentagem de vazios: representa o quanto de vazios não-preenchidos pelo CAP o corpo possui;
2. Porcentagem de vazios cheios de betume (VCB): representa o quanto dos vazios o CAP conseguiu penetrar;
3. Porcentagem de vazios do agregado mineral (VAM): representa o total de vazios que o corpo teria, sendo dado pela somatória dos vazios preenchidos e não-

preenchidos pelo CAP;

4. Relação de betume por vazios (RBV): demonstra, em porcentagem, o quanto dentre todos os vazios o CAP conseguiu penetrar.

Por fim, para a análise da flexibilidade do corpo-de-prova, tem-se a fluência, que indica a deformação máxima que o corpo-de-prova pode sofrer por compressão diametral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a avaliação da eficiência dos modelos teóricos de empacotamento no setor asfáltico adotou-se como referência para os padrões citados na Tabela 3, baseada nas normas técnicas de controle:

Tabela 3: Valores limites dos parâmetros investigados, baseados nas normas técnicas (15).

Parâmetro	Valores Limites
Fluência (1/100 pol)	8 a 18
Estabilidade Corrigida (Kgf)	Maior que 500
Porcentagem de Vazios (%)	3 a 5
VAM (%)	Mínimo igual a 15
RBV (%)	75 a 82

O parâmetro VCB, apesar de ser calculado, não possui faixa limite de controle, pois sua análise é feita conjuntamente ao RBV. Ainda, para efeito de comparação, realizaram-se os ensaios de qualidade para a composição utilizada pela empresa parceira ao projeto, já que suas propriedades se adequam aos padrões estabelecidos ao DNIT.

Os resultados de estabilidade corrigida são mostrados a seguir (Figura 2) para a composição utilizada atualmente como referência (denominada nos gráficos como original) e para as composições cujas formulações foram baseadas nas equações de Alfred e Andreasen.

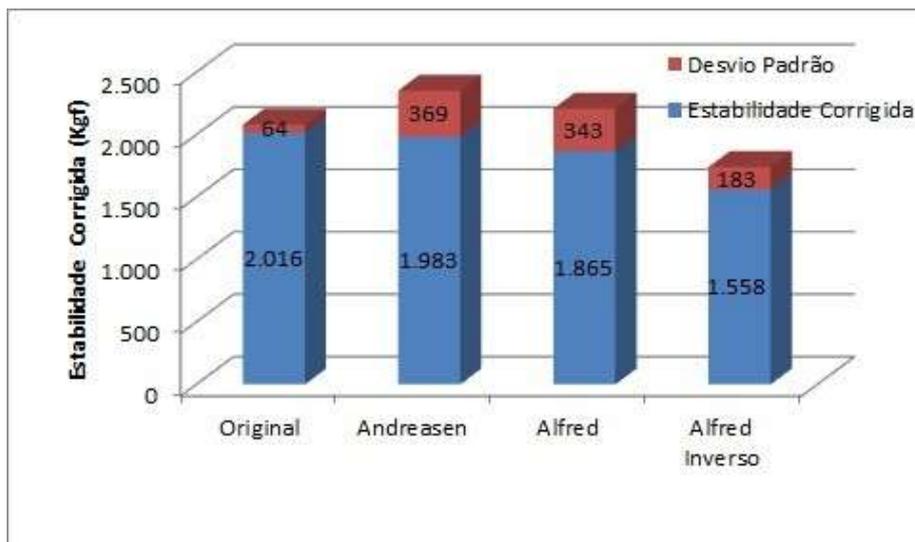


Figura 2: Resultados obtidos de estabilidade corrigida.

Os resultados anteriores indicam que todas as composições apresentaram valores dentro daqueles especificados pela norma (Tabela 3). Para a análise da fluência, foram obtidos os seguintes resultados (Figura 3):

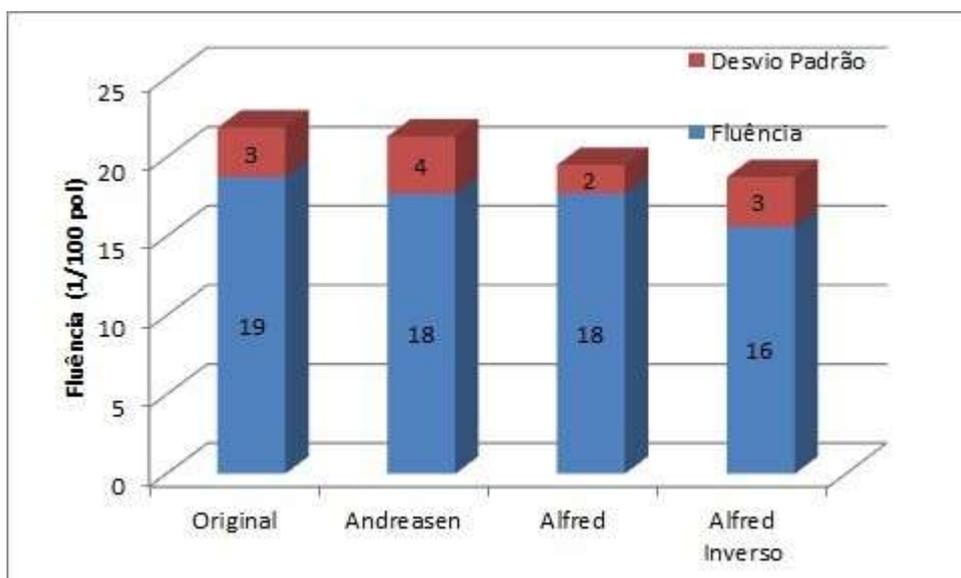


Figura 3: Valores de fluência obtidos para as composições investigadas.

Os resultados de fluência também mostraram-se promissores, já que todas as composições investigadas e formuladas apresentaram valores de fluência dentro das normas.

Para análise da quantidade de vazios no corpo-de-prova, partiu-se dos valores de densidade teórica e real de cada composição (Tabela 4):

Tabela 4: Densidade real e teórica (em g/ml) de cada composição.

Composição	Densidade real (d)	Densidade teórica (D)
Original	2,48 ± 0,10	2,59
Andreasen	2,55 ± 0,05	2,59
Alfred	2,53 ± 0,01	2,52
Alfred Inverso	2,47 ± 0,02	2,57

Os valores obtidos na Tabela 5 indicam uma semelhança muito grande entre as formulações em termos de resultados de VCB. Através dos parâmetros Porcentagem de Vazios e Porcentagem de Vazios Cheios de Betume foi possível determinar o VAM (Figura 4). Os resultados indicaram que todas as composições, exceto aquela baseada na equação de empacotamento de Alfred, apresentaram-se dentro das normas técnicas, indicando boa aplicabilidade das formulações no cotidiano. Raciocínio análogo pode ser feito para os resultados obtidos de RBV (Figura 5).

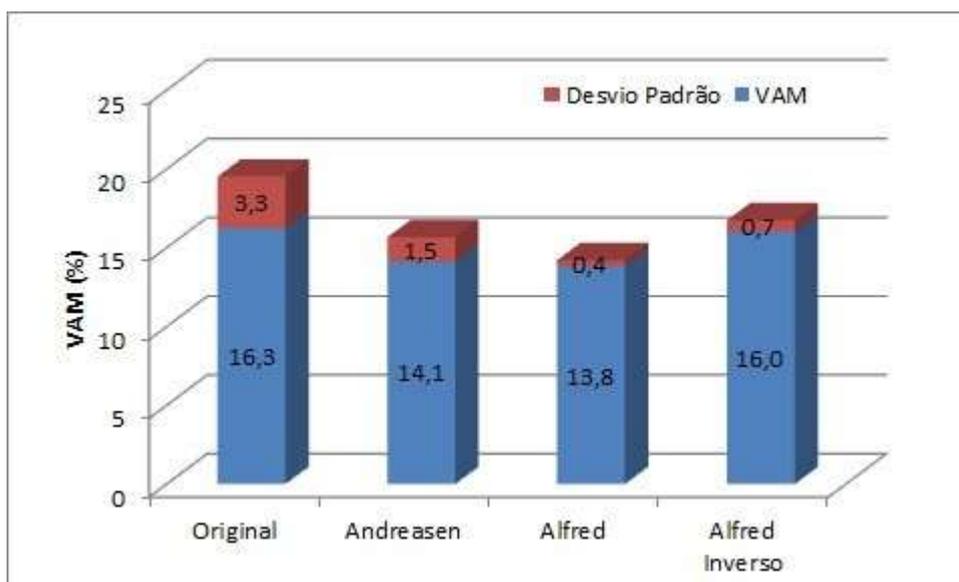


Figura 4: Gráfico da porcentagem de Vazios do Agregado Mineral para as composições investigadas.



Figura 5: Gráfico da porcentagem da Relação de Betume por Vazios (RBV) para as composições investigadas.

CONCLUSÃO

Com a metodologia adotada foi possível comprovar que equações de empacotamento utilizadas tradicionalmente na formulação de concretos refratários podem ser aplicadas na formulação de massas asfálticas. Para a composição “Original” utilizada pela empresa, referência no trabalho, os valores de resistência, fluência e da flexibilidade adequaram-se aos padrões esperados para formulações. Na análise de vazios, apesar dos valores médios dos parâmetros estarem dentro dos limites, os desvios padrões estiveram muito altos, representando baixa confiança estatística nesses resultados. Esse desvio pode ter ocorrido devido à falta de prática e familiaridade com os procedimentos de confecção e ensaio dos corpos-de-prova na época de execução, visto que foram os primeiros modelos feitos.

Das formulações estudadas, aquela nominada “Alfred Inverso” foi a que mais se adequou aos valores dos parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas. A composição apresenta variação na quantidade de cada agregado se comparada com a utilizada pela empresa parceira, sendo, portanto viável sua utilização em casos dependentes da disponibilidade de cada fração do material.

As composições nominadas “Andreasen” e “Alfred” apresentaram maior grau de compactação, gerando menor número de vazios, como pode ser comprovado

pelos baixos valores de porcentagem de vazios e altos de RBV. Apesar deste ocorrido descaracterizar as composições em determinados parâmetros de qualidade (como por exemplo baixa quantidade de vazios), estas formulações geraram corpos com elevada resistência mecânica, superior a utilizada pela empresa parceira.

As equações trabalhadas forneceram variações com relação às porcentagens de cada faixa de agregados, demonstrando que a perda na quantidade de uma fração pode ser compensada pela adição de outras em maior quantidade. Essas variações afetaram os corpos de prova gerando em alguns casos maior número de vazios e menor empacotamento. Entretanto, o melhor empacotamento por si só também não caracteriza a qualidade da massa asfáltica, uma vez que um corpo muito compacto/denso suporta menor deformação por perder a flexibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) REIS, M. Um estudo da influência da granulometria dos agregados no desempenho do microrrevestimento asfáltico a frio quanto ao deslocamento lateral e vertical. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 2005.
- (2) CURTIS, C. W. Investigation of Asphalt-Aggregate Interactions in Asphalt Pavements, Chemical Eng Dept, Auburn University, 1999.
- (3) TONSO, S. As Pedreiras no espaço urbano: perspectivas construtivas. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 1994, p. 131.
- (4) LEITE, L. F. M. Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímero, Tese de Doutorado, Instituto de Macromoléculas – IMA, UFRJ, p.9, 1999.
- (5) ONGEL, A., Lu, Q., HARVEY, J. Frictional properties of asphalt concrete mixes. California: ICE Institution of Civil Engineers, 2009.
- (6) NICHOLLS, J.C. et alli Compositional classification of types of asphalt. Proc. Instn Civ.Engrs Transp., 135, 1999.
- (7) KANITPONG, K., CHO, D.W., BAHIA, H. Effect of additives on performance of asphalt mixtures. Construction Materials 159, p.103–110, 2006.
- (8) HUANG, B.. Mechanical properties of concrete containing recycled asphalt paviments. Magazine of Concrete Research, 2005 .
- (9) <http://www.etg.ufmg.br/ensino/transportes/disciplinas/etg033/turmaa/tb15.pdf>. Acesso em 10/04/2010.
- (10) file:///tmp/aula_02_-_introducao_ao_asfalto-1.pdf (em arquivo pdf). Acesso em

09/04/2010.

(11) IBP: Comportamento Reológico do Ligante Asfáltico Modificado por SBS e Diluente Aromático Como Compatibilizante. Relatório Técnico. Raquel M. Bringel¹, Ana E. V. de Alencar, Maria C. C. Lucena, Jorge B. Soares, Sandra de A. Soares - 23 a 25/05/2006.

(12) MOIZINHO, J.C. Influência da energia térmica em propriedades mecânicas e físicas de agregados lateríticos utilizados em concreto betuminoso. Campina Grande. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 1994

(13) ROBERTS, F.L.; KANDHAL, P.S.; BROWN, E.R.; LEE, D-Y; KENNEDY, T.W. Hot mix asphalt materials, mixture, design, and construction. 2. ed. Lanham, Maryland: Napa Education Foundation, 1996.

(14) AMARAL, S.C. Estudo de misturas laterita-asfalto da região metropolitana de Bélem-PA para revestimentos de pavimento. Tese de doutorado Universidade de São Paulo, Politécnic, 2004.

(15) DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Pavimentação. 3.ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

INFLUENCE OF THE DEGREE OF PACKAGING IN ASPHALTIC MASS PROPERTIES

ABSTRACT

The asphalt mixture consists of mineral aggregates and binder (CAP – petroleum asphalt cement). The aggregates are responsible for supporting the weight of traffic and to ensure stability, since the CAP is responsible for sealing and adhesion between the constituent particles. It is necessary to correctly select the raw materials, improving the formulation of asphalt through the study of packaging and understand the interaction between CAP, aggregates and filler, in order to minimize waste and costs. To do so, was based on models of packaging Andreasen, Alfred and Alfred Inverso. Compositions were made for each formulation, varying only the ratio of aggregate and filler. The results obtained were compared with a formulation base and with the standards set by DNIT. The results were promising, since the values obtained for Alfred Inverso and Andreasen are within the rules of DNIT.

Key-words: packaging, asphalt masses, CAP