

República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) (21) **PI 0602472-6 A**



(22) Data de Depósito: 19/06/2006  
(43) Data de Publicação: **06/02/2008**  
**(RPI 1935)**

**(51) Int. Cl.:**  
**C08L 95/00 (2008.01)**

**(54) Título: UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA**

**(71) Depositante(s):** Centro de Tecnologia Mineral (BR/RJ)

**(72) Inventor(es):** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Julio César Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl, Lívia Pinheiro de Araújo, Francisco Wilson Holanda Vidal

**(74) Procurador:** Informark-Infok Serviços Empresariais Ltda

**(57) Resumo:** UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA É objeto do presente pedido de privilégio de invenção, um processo para comprovar a possibilidade de utilização de calcário da região do Cariri, em pavimentação asfáltica. Este processo utiliza ensaios granulométricos, abrasão Los Angeles, densidade, índice de forma, angularidade, dureza, compressão uniaxial e flexão, que são ensaios preconizados pelo DNIT e pela ABNT para agregados minerais. Além de ensaios de adsorção, adesividade e medidas de resistência mecânica na mistura asfáltica. Com isso, pôde-se verificar a potencialidade de utilização deste calcário, uma vez que os resultados mecânicos para rochas se mostraram adequados às normas estabelecidas para agregados e os ensaios de adesividade e resistência mecânica da mistura asfáltica mostraram susceptível a utilização do calcário, desde que se utilize 0,75%, em peso, de um melhorador de adesividade.

Relatório descritivo da patente de Privilégio de Invenção para “UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA”.

A presente patente de privilégio de invenção se refere à utilização do calcário cristalino da região de Farias Brito - CE na composição da mistura asfáltica, em substituição aos agregados comumente utilizados. Neste processo avalia-se as características físicas da rocha, segundo as especificações requeridas para agregados minerais estabelecido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT), além de ensaios de interação físico-química com o asfalto e avaliações da resistência mecânica da mistura asfáltica gerada.

A mistura asfáltica é constituída de dois componentes principais: o asfalto, que corresponde a 5%, em peso, da mistura e é um subproduto da destilação do petróleo e por um conjunto de agregados minerais. O agregado mineral corresponde a maior parcela da mistura asfáltica e é responsável em manter a estabilidade do pavimento.

Como se trata da maior parcela da mistura, é o responsável pelos maiores custos operacionais e econômicos. A substituição deste agregado mineral por calcário proporcionará a redução de custos na confecção do pavimento, uma vez que a extração de agregados será menor.

O calcário cristalino da região de Farias Brito - CE é amplamente utilizado nas indústrias de cal, sem que haja uma utilização mais adequada para o referido calcário com características específicas.

O calcário foi avaliado por meio de ensaios granulométricos, abrasão Los Angeles, densidade, índice de forma, angularidade, dureza, compressão uniaxial e flexão, que são ensaios preconizados pelo DNIT e pela ABNT para agregados minerais. Quanto à mistura asfáltica, realizou-se ensaios de adsorção e adesividade do asfalto à superfície da rocha, sendo este último ensaio preconizado pelo DNIT. Por fim, foram confeccionadas peças asfálticas que foram submetidas a ensaios de resistência mecânica.

De modo a facilitar a compreensão e visualização do presente privilégio, o mesmo será descrito por diversos ensaios, testes químico-físicos, tabelas e gráficos conforme vê-se à seguir:

A classificação granulométrica foi realizada a seco, por meio da  
5 separação das frações numa série de dez peneiras, marca Granutest, variando de  $\frac{1}{2}$ " a 200 malhas série Tyler ( $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", 4 #, 8 #, 16#, 30 #, 50 #, 80 #, 100 #, 200 #). A torre de peneiras foi agitada mecanicamente por 10 minutos. Após esse tempo, o material retido em cada peneira foi pesado para que se pudesse calcular a distribuição granulométrica.

10 O ensaio de abrasão utilizando o método Los Angeles foi realizado em um moinho de bolas, marca Electra Motors Dresser, modelo 8E-64300 OJ. Primeiramente verificou-se a distribuição granulométrica do calcário e analisou-se em quais peneiras havia maior retenção de material.

De posse dessa informação peneirou-se novamente o material até que  
15 2.600 g estivessem retidos nessas peneiras. O material então foi lavado e seco em estufa a  $115^{\circ}\text{C}$  por 1 hora. Após esse tempo 2.500g de material livre de poeira foi adicionado no aparelho. Este ficou em operação a 500 r.p.m., durante 40 minutos. Após esse período todo material foi peneirado (# 4 ou  $< 2$  mm), sendo o retido na peneira lavado, seco e pesado. Segundo o DNIT, valores  
20 inferiores a 50% classificam o agregado como apto, segundo a resistência à abrasão.

Para determinação das densidades real e aparente utilizou-se a norma ME 081/94 preconizada pelo DNIT. De acordo com o ensaio, 1.000 g de material foi lavado, até que toda poeira fosse retirada. O material foi retirado da água e  
25 seco em pano úmido para obtenção do Peso Úmido ( $P_u$ ). A seguir o material foi colocado em uma cesta acoplada à balança, que é imersa em água para obtenção do Peso Imerso ( $P_i$ ). Retirado da cesta, o agregado foi seco em estufa e pesado novamente para obtenção do Peso Seco ( $P_s$ ).

Por meio das equações:  $D_A = P_s / P_u - P_i$  e  $D_R = P_s / P_s - P_i$ , pôde-se  
30 obter os valores de densidade aparente e real para o material.

Para determinação da forma do agregado utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791, utilizada pelo DNIT. De acordo com a norma, a amostra é primeiramente peneirada de acordo com a especificação da análise granulométrica (DNER ME 083/98). Utiliza-se o material retido na peneira de 5 4,75mm (nº 4), como exigido pela especificação a ser usada, reduzir cada fração presente a uma quantidade de 10% ou mais da amostra original até aproximadamente 100 partículas serem obtidas para cada fração. Para determinação da angularidade o método C, que usa a fração do agregado fino menor que 4,75 mm (peneira nº 4), foi o utilizado.

10 Um cilindro calibrado com 100 ml foi preenchido com calcário fino de graduação pré-definida por meio de fluxo através de um funil colocado a uma altura fixada. O material foi solto e sua massa determinada por pesagem e o teor de vazios foi calculado como a diferença entre o volume do cilindro e o volume absoluto do material coletado no cilindro. Duas medições foram feitas 15 para cada amostra e a média foi utilizada.

Amostras testadas pelo método C podem ser úteis na seleção de proporções de componentes usados em uma variedade de misturas. Em geral, teores de vazios altos sugerem que o material possa ser melhorado por acréscimos adicionais de finos.

Nos agregados miúdos a angularidade é definida como a porcentagem de 20 vazios na mistura de agregados pouco compactados menores que 2,36 mm. Um alto teor de vazios significa muitas faces fraturadas.

O ensaio indicado para medir a angularidade em agregado miúdo é o ASTM C1252 denominado: "Método padrão para determinação do teor de vazios de agregado fino não compactado". Este parâmetro é influenciado pela 25 forma da partícula, textura superficial e graduação. Os critérios são apresentados como porcentagens de vazios em agregados miúdos pouco compactados.

A tabela 01 apresenta os valores limites para este parâmetro como função do tráfego e da posição dentro do pavimento (abaixo da superfície).

30

...

...

Tabela 01: Requisitos Superpave de Angularidade de Agregados Miúdos.

Angularidade de Agregados Miúdos		
Tráfego ESALs	Espessura a partir da superfície	
	< 100 mm	≥ 100 mm
< 5x10 <sup>5</sup>	-	-
< 1x10 <sup>6</sup>	40	-
< 3x10 <sup>6</sup>	40	40
< 1x10 <sup>7</sup>	45	40
< 3x10 <sup>7</sup>	45	40
< 1x10 <sup>8</sup>	45	45
≥ 1x10 <sup>8</sup>	45	45

Em relação ao calcário, obteve-se um valor de 40 para angularidade, enquadrando-o às especificações requeridas.

Para o ensaio de dureza, uma placa de rocha polida com 7x7 cm foi submetida a 40 impressões com ponta de diamante, sob carga de 200g, utilizando-se um microdurômetro e realizando-se impressões perpendiculares à estruturação da rocha.

Para o ensaio de compressão uniaxial seguiu a norma NBR 12767 preconizada pela ABNT, sendo realizado em uma prensa com oito corpos de prova de formato cúbico, no estado seco.

O ensaio de flexão foi realizado segundo a norma NBR 12763/92, também preconizado pela ABNT, em corpos de prova retangulares e secos.

Para determinação da adsorção do asfalto ao calcário utilizou-se 0,5 g do mesmo, que foram britados e peneirados (100 mesh), respeitando as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 043/95), que foram colocados em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas: 0,0005; 0,001; 0,0015; 0,0025; 0,005; 0,0075; 0,01; 0,0125; 0,015 e 0,02 mg/L.

A seguir, os tubos foram agitados em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labotechnik, modelo HS501 digital, durante quatro horas e 200 r.p.m.. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m, em centrífuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi

analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94, utilizando-se um asfalto e o calcário. Este ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura asfalto-agregado é imersa em água destilada a 40°C durante 72 horas. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película.

Para o ensaio de resistência mecânica da mistura asfáltica, foram moldados três corpos de prova utilizando-se o calcário e um asfalto. Posteriormente, cada um foi submetido a um ensaio de resistência mecânica.

O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência à tração por compressão diametral sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo nos corpos de prova, como descrito a seguir: submeteu-se os corpos de prova imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio por um período de cinco a dez minutos, para aumento do grau de saturação. O corpo de prova saturado foi revestido com filme plástico e colocado em sacos plásticos contendo aproximadamente 10 mL de água.

As amostras foram resfriadas à temperatura de  $-18 \pm 3^\circ\text{C}$  por 16 horas. Em seguida as amostras foram retiradas da refrigeração, sendo uma analisada imediatamente quanto à resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de simular a influência dos dias extremamente frios e verificar sua influência na resistência à tração das misturas asfálticas.

A outra amostra, após o período de congelamento, foi imersa em banho à temperatura de  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  por 24 horas. A amostra foi removida para outro banho com temperatura de  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  por um período de  $2 \pm 1$  hora e então posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de se observar a variação de resistência à tração, após variações bruscas de temperatura.

O resultado do ensaio foi obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e, a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como apresentado na equação:

$$RR = (RC/RSC) \cdot 100\%.$$

Resultados indicaram que o calcário apresentou um comportamento similar à de um agregado utilizado em pavimentação, estando enquadrado às normas estabelecidas.

Por meio da tabela 01 pode-se verificar a distribuição granulométrica do calcário e a sua adequação à faixa C de distribuição granulométrica, preconizada pela norma DNER - ME 083/98 para agregados minerais do DNIT.

Tabela 01: Distribuição granulométrica do calcário

Malhas	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
+1/2	77,9	--	--
-1/2" + 3/8"	21,6	91,4	--
-3/8 + 4"	--	3,2	--
-4# + 8#	--	1,8	--
-8# + 16#	--	0,2	23,4
-16# + 30#	--	0,1	29,5
-30# + 50#	--	0,1	3,6
-50# + 80#	--	0,2	1,8
-80# + 100#	--	0,1	2,5
-100# + 200#	--	1,7	2,4
-200 #	0,4	1,1	36,8
Total	100%	100%	100%

Verificou-se um valor de abrasão Los Angeles em torno de 36%. Este valor é considerado aceitável segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (valores inferiores a 50 ou até 40%). Comumente, rochas calcárias apresentam valores de abrasão em torno de 60%, porém, a formação geológica dessa rocha, possivelmente lhe confere uma alta resistência abrasiva, enquadrando-a como matéria-prima para utilização em misturas asfálticas.

Verificou-se um valor de densidade em torno de  $2,72 \text{ kg/m}^3$ , valor este dentro dos valores comumente encontrados na literatura, uma vez que a densidade da calcita é da ordem de  $2,5 \text{ kg/m}^3$  e da dolomita, de  $1,9 \text{ kg/m}^3$  e como a rocha se trata de um calcário calcítico, estima-se que a densidade obtida esteja relacionada a tal mineral.

Em relação a forma do calcário para o uso em misturas asfálticas, as partículas de agregados devem ser mais cúbicas que planas (chatas), finas ou alongadas. Em misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior intertravamento e atrito interno, resultando, conseqüentemente, uma maior estabilidade mecânica que as partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contém partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, têm uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se obter a densidade requerida.

Esta facilidade de compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de compactar durante a construção podem continuar a apresentar problemas sob ação do tráfego, levando à deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico.

Partículas chatas e alongadas impedem a compactação e podem impedir o desenvolvimento de resistência satisfatória na mistura asfáltica. A AASHTO M 283 requer que a porção de agregado retida na peneira de  $3/8''$  (9,5mm) não deva conter mais de 15% em peso de partículas que tenham uma razão do comprimento pela largura ou espessura que exceda 5:1.

Por meio da tabela 02 pode-se verificar o enquadramento deste agregado às normas estabelecidas pelo DNIT, classificando como apto o uso deste material como agregado para pavimentação.

Tabela 02: Índice de Forma (%) dos Agregados Graúdos.

Forma	Calcário
Alongadas	26
Achatadas	13
Nenhuma das duas	61
Total (%)	100

5

Em relação ao resultado de dureza observou-se um valor em torno de 6,5 MPa, valor este considerado alto para este tipo de rocha. Valores em torno de 13 MPa são observados para rochas extremamente duras como o basalto. Tal resultado corrobora os resultados obtidos no ensaio de abrasão Los Angeles, que classificou tal agregado como adequado para pavimentação.

10

Verificou-se uma resistência à compressão em torno de 62 MPa, valor este aceitável para este tipo de rocha segundo as especificações da ASTM.

Os valores considerados aceitáveis para calcários de alta densidade ( $> 2,56 \text{ kg/m}^3$ ) são aqueles superiores a 55MPa. Dessa forma, verifica-se que o calcário enquadra-se em tal categoria, além de corroborar os ensaios de alta dureza e resistência à abrasão.

15

Obteve-se um valor de flexão em torno de 10 MPa para o calcário. Os valores médios para calcários são da ordem de 5 MPa. Tal resultado pode estar relacionado com a estrutura da rede cristalina e o plano de clivagem da rocha.

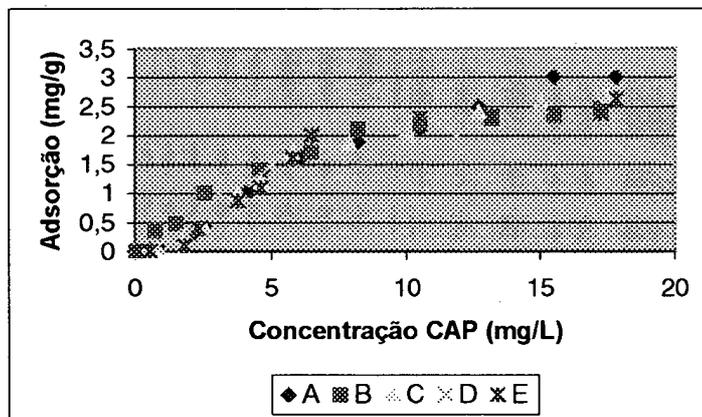
20

Em relação ao processo de adsorção dos asfaltos à superfície do calcário, verifica-se na figura 01 um comportamento similar para cinco diferentes asfaltos, observando-se uma baixa adsorção de todos à superfície do calcário, chegando-se a valores máximos em torno de 3 mg/L.

25

Se comparado a agregados comumente utilizados em pavimentação, como o basalto ou gnaisse, comprova-se a baixa adsorção, uma vez que tais agregados apresentam valores máximos de adsorção em torno de 6 – 7 mg/g.

Tal fato indica que a rocha calcária em estudo não apresenta boa interação com os asfaltos e, possivelmente haverá um desprendimento do pavimento.



5 Figura 01: Adsorção versus concentração de asfaltos na superfície do calcário.

Em relação aos resultados de adesividade, verificou-se que a película de todos os asfaltos colocada em contato com a rocha sofreram desprendimento total após 72 h em presença de água a 40°C. Dessa forma, confirma-se a má adsorção observada anteriormente.

A fim de se adequar a utilização de tal calcário, com ótimas características físicas, utilizou-se um melhorador de adesividade nas proporções 0,5 e 0,75% da mistura asfáltica. Pôde-se verificar que na proporção de 0,5%, houve deslocamento parcial de película e que com 0,75% não houve deslocamento. Dessa forma, verifica-se que a utilização de tal calcário em

Em relação a resistência mecânica da mistura asfáltica, o valor limite das especificações SUPERPAVE é de 80% mínimo, sendo que alguns autores consideram 70% como um valor admissível. Dessa forma, verifica-se que as misturas asfálticas produzidas com o calcário só atenderam os valores requeridos após a adição de 0,75 %, em peso, de um melhorador de adesividade à mistura asfáltica.

**REIVINDICAÇÕES:**

1) "UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA", caracterizado por um processo para avaliar a utilização de calcário cristalino da pedra cariri na  
5 composição da mistura asfáltica

2) "UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA", processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que uma amostra de calcário é  
10 condicionada a ensaios granulométricos, abrasão Los Angeles, densidade, índice de forma, angularidade, dureza, compressão uniaxial e flexão, preconizados pelo DNIT e pela ABNT para rochas utilizadas em pavimentação asfáltica.

3) "UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA", processo de acordo com as reivindicações 1 e/ou 2 para utilização de calcário na composição da mistura  
15 asfáltica, deve ser avaliado a adesão de asfalto e a resistência mecânica da mistura asfáltica.

4) "UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA", processo de acordo com as reivindicações 1 a 3, em que o calcário pode ser utilizado como agregado  
20 mineral em pavimentação asfáltica desde que se adicione 0,75%, em peso, de um melhorador de adesividade, possivelmente PETRODOPE, na mistura asfáltica.

## RESUMO

Patente de Privilégio de Invenção para "UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO CRISTALINO DA PEDRA CARIRI NA COMPOSIÇÃO DA MISTURA ASFÁLTICA".

É objeto do presente pedido de privilégio de invenção, um processo para  
5 comprovar a possibilidade de utilização de calcário da região do Cariri, em  
pavimentação asfáltica. Este processo utiliza ensaios granulométricos, abrasão  
Los Angeles, densidade, índice de forma, angularidade, dureza, compressão  
uniaxial e flexão, que são ensaios preconizados pelo DNIT e pela ABNT para  
agregados minerais. Além de ensaios de adsorção, adesividade e medidas de  
10 resistência mecânica na mistura asfáltica. Com isso, pôde-se verificar a  
potencialidade de utilização deste calcário, uma vez que os resultados  
mecânicos para rochas se mostraram adequados às normas estabelecidas para  
agregados e os ensaios de adesividade e resistência mecânica da mistura  
asfáltica mostraram susceptível a utilização do calcário, desde que se utilize  
15 0,75%, em peso, de um melhorador de adesividade.