

ANÁLISE DE AGREGADOS POR MEIO DA DETERMINAÇÃO DO DANO POR UMIDADE INDUZIDA E ADESIVIDADE DO AGREGADO GRAÚDO AO LIGANTE BETUMINOSO

Leonardo Rovaris Biava (1), Luiz Renato Steiner (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)leo_biava@hotmail.com, (2)luizsteiner@yahoo.com.br

RESUMO

A adesividade do ligante betuminoso ao agregado pétreo é uma das mais importantes e ao mesmo tempo complexas propriedades para qualificação de um projeto de concreto asfáltico a ser desenvolvido, cabendo ao elaborador ter conhecimento das diversas propriedades envolvidas nesta especificação. Os estudos apresentados neste artigo comparam dois métodos para análise desta propriedade, uma pelo método qualitativo, adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso, DNER-ME 078/94 e outro pelo quantitativo, determinação do dano por umidade induzida, ABNT NBR 15617:2015.

Verificou-se após realização dos ensaios, a diferenciação de características imponentes dos agregados perante a adesão ao ligante betuminoso, que possam apresentar variações nos resultados para identificação de um produto de boa qualidade. Na sequência fundamentou-se a não equivalência da satisfação para os resultados do comparativo dos dois métodos de ensaios, sendo que utilizando somente o resultado satisfatório do método de adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso em um projeto, não garante que o concreto asfáltico terá uma qualidade estrutural e de desempenho durante sua vida útil, indicando-se para garantia do melhor resultado, a aprovação no método do ensaio de determinação do dano por umidade induzida.

Palavras-Chave: Adesividade. Agregado. Ligante betuminoso. Aditivo DOPE.

1. INTRODUÇÃO

BRANCO & PEREIRA & SANTOS (2011, p. 43) afirmam que “quanto melhor for a afinidade química do agregado para com o betume, mais difícil será separar este do agregado”.

BALBO (2007, p.111) salienta que “o cimento asfáltico de petróleo (CAP), como material ligante ou aglutinante, possui geralmente boa aderência aos agregados (exceção feita a minerais argilosos, moscovita e alguns quartzos)”.

CERATTI & REIS (2011, p. 40) entendem que:

Os ensaios para determinação das características de adesividade podem ser subdivididos em dois grupos: aqueles que analisam o comportamento de partículas de agregados recobertas por ligante asfáltico, considerando a adesão ativa agregado-ligante e aqueles que analisam o desempenho adesivo e coesivo de determinadas propriedades mecânicas de misturas sob a ação da água.

Segundo BERNUCCI et al (2007, p. 143):

O efeito da água em separar ou descolar a película de ligante asfáltico da superfície do agregado pode torná-lo inaceitável para o uso em misturas asfálticas. Esse agregado é determinado de hidrófilo. Agregados com alta adesividade em presença de água são denominados de hidrofóbicos e são aceitáveis para utilização em misturas asfálticas.

Para a adesividade, a principal relação entre os elementos, pode ser descrita pela interação das ligações eletroquímicas relacionadas entre os campos superficiais gerados pelo contato do agregado pétreo com o cimento asfáltico de petróleo. Sabe-se que a maioria dos compostos presentes no asfalto é de natureza apolar, enquanto a superfície dos agregados é polar, podendo possuir carga positiva ou negativa, dependendo da natureza química (LIBERATORI & CONSTANTINO, 2006). A classificação geoquímica das rochas em ácida, intermediária, básica e ultrabásica, leva em conta os conteúdos dos teores de sílica, sendo este elemento causador de uma pior ligação química com o cimento asfáltico (MENEZES, 2013). Verifica-se através do percentual de sílica, a característica geoquímica da rocha, com seus termos descritos conforme tabela 01.

Tabela 01: Classificação geoquímica de rochas ígneas.

Termo Geoquímico	Teor de SiO₂
Ácida	> 65,00%
Intermediária	52,00 - 65,00%
Básica	45,00 - 52,00%
Ultrabásica	< 45,00%

Fonte: Sebastião Oliveira de Menezes, 2013.

Em geral, os agregados básicos tem maior adesividade que os ácidos. Existem vários procedimentos para avaliar essa característica do agregado. Para resultar uma adesividade satisfatória, utiliza-se o emprego de pequenas porcentagens de aditivos melhoradores de adesividade. O aditivo DOPE é muito utilizado devido à

eficiência e facilidade de aplicação. Muitas vezes o asfalto dopado não apresenta boa adesividade ao agregado devido a alguns dos seguintes fatores: quantidade de dope inferior à necessária, má qualidade do dope ou ainda, a falta de homogeneização de dope no asfalto (PINTO & PINTO, 2015).

Quando o agregado apresenta má adesividade ao ligante betuminoso, a água se infiltra na interface ligante-agregado e, juntamente com o vapor d'água que se forma, desloca a película de ligante, provocando o envelhecimento e desagregação precoce do pavimento asfáltico. O uso de DOPE em quantidades apropriadas retarda este deslocamento de película betuminosa adiando seus efeitos danosos e aumentando sobremaneira a vida útil do pavimento asfáltico (BETUNEL, 1994).

Muitas causas prováveis de defeito estão relacionadas ao descolamento da película betuminosa ao agregado, direta ou indiretamente, como o afundamento por consolidação em trilha, desgaste, desagregação, deslocamento e perda dos agregados, polimento do agregado e panela (BERNUCCI et al, 2007).

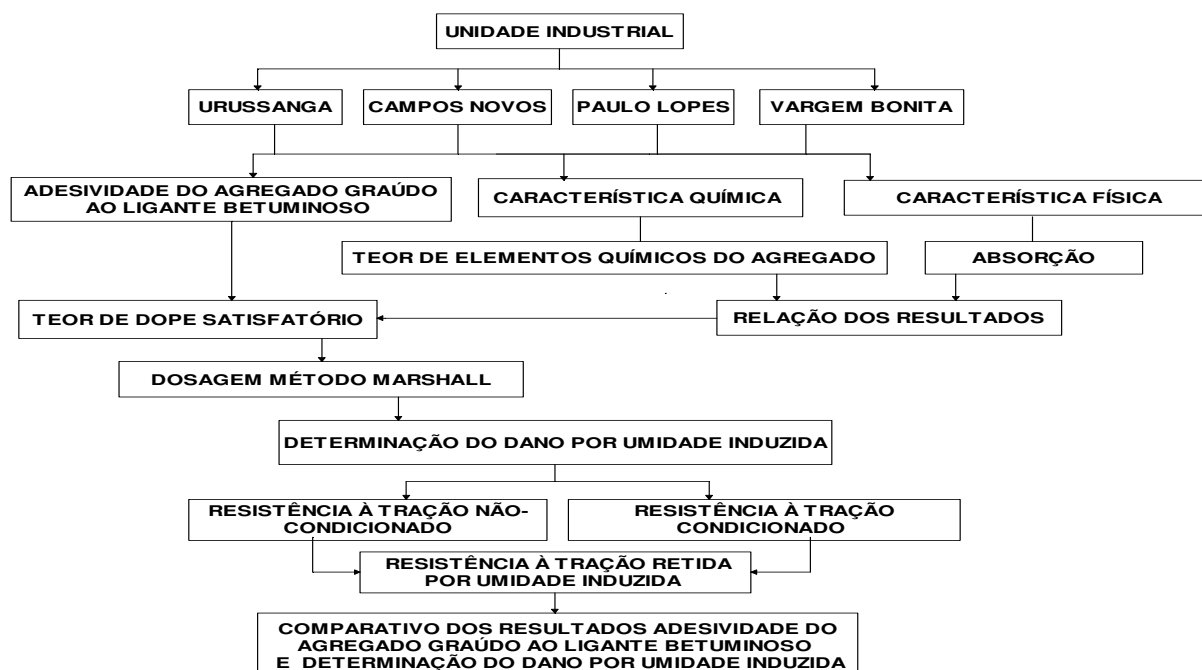
A presente pesquisa tem por objetivo geral desenvolver o método qualitativo utilizado na maior parte dos projetos de concreto asfálticos, ensaio de adesividade do agregado graúdo com o ligante betuminoso, determinando os teores satisfatórios de aditivo DOPE para cada tipo de agregado, comparando a aceitação positiva ou negativa no resultado da determinação do dano por umidade induzida. Os objetivos específicos são: a) Identificar as propriedades físicas e químicas dos agregados. b) Realizar os ensaios de laboratório conforme descrição das normas em uso. c) Verificar e comparar os resultados dos dois procedimentos, para chegar à mistura de asfáltica tecnicamente melhor desenvolvida para execução do pavimento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os agregados pétreos e ligantes asfálticos utilizados possuíram as mesmas origens de amostras específicas, retirados integralmente para evitar ao máximo o desvio de qualquer propriedade química e física que pudesse ser apresentada devido à natural diferença de qualificações na própria área de coleta, como por exemplo, desvio gerado pelas divergentes detonações e britagens na mesma unidade, diferenças ocorridas na destilação do CAP na refinaria. Foram selecionados quatro tipos de agregados pétreos de diferentes regiões do estado de Santa Catarina, com

características minerais e formações geológicas diferenciadas. Os materiais pétreos foram fornecidos pela empresa SBM – Sul Brasileira de Mineração LTDA, coletados em três granulometrias diferentes para facilitar o desenvolvimento dos métodos de dosagem: brita ¾”, pedrisco e pó de pedra, sem mistura de nenhum adicional de outro tipo de material, que pudesse alterar as propriedades puras dos britados naturais. O ligante asfáltico CAP 50/70 convencional, sem nenhum tipo de modificante e o aditivo melhorador de adesividade DOPE, foram cedidos pela empresa SETEP Construções S.A.. Os métodos de ensaios para adesividade se embasaram nas normas DNER-ME 078/94 e ABNT NBR 15617:2015. Utilizaram-se três laboratórios para os testes utilizados no desenvolvimento do artigo: Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LMS), do Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização dos Materiais (LDCM), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), para realização dos ensaios absorção do agregado, da adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso e de determinação do dano por umidade induzida; o Laboratório de Desenvolvimento e Caracterização dos Materiais (LDCM), do Serviço Nacional de Aprendizado Industrial (SENAI), para a determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios X e o Laboratório da Usina de Asfalto, da SETEP Construções S.A., para o projeto de dosagem Marshall do concreto asfáltico.

Figura 01: Fluxograma Metodologia.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

2.1 MATERIAIS

2.1.1. Agregados pétreos

Os materiais pétreos possuem importância significativa no processo de composição do concreto asfáltico, sendo este procedido de vários ensaios normatizados, na sua grande maioria em função de características físicas, sendo proporcionalmente menores as caracterizações químicas dos materiais.

Pode-se definir, após avaliação química do agregado, a maior tendência de utilização de aditivo que modifique a caracterização da ligação com o CAP, ou mesmo alteração para um tipo de ligante modificado, de acordo com melhor desempenho, durabilidade e situação econômica em que será projetado o revestimento asfáltico.

Consideraram-se como referência para o estudo dos britados, materiais originados de quatro Unidades Industriais da empresa SBM – Sul Brasileira de Mineração LTDA, localizadas nas cidades de Vargem Bonita, região oeste, Campos Novos, no planalto, Paulo Lopes, no litoral e Urussanga, ao sul do estado de Santa Catarina, identificados na figura 02.

Figura 02: Mapa de localização das quatro unidades.



Fonte: Google Earth (2016, adaptado).

As amostras foram coletadas em locais onde a formação geológica possui característica diferenciada para cada região analisada. Com isso, as propriedades físicas e químicas comuns para cada agregado pétreo, puderam ser avaliadas de

maneira particularizadas, comparando suas influências paralelamente aos resultados dos ensaios de adesividade realizados em laboratório.

Quando observadas a olho nu, perceberam-se diferenças no aspecto dos agregados pétreos pela forma no modo de ocorrência originária de cada região, onde se constatou disparidades em relação à textura, grau de cristalinidade, cor dos minerais e geometria. A figura 03 mostra o aspecto visual dos agregados utilizados na pesquisa. A propriedade geoquímica encontrou-se diferenciada pelo resultado do ensaio de análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, onde foi definida se a rocha possui característica básica ou ácida, pelo teor de SiO₂ (sílica).

Figura 03: Britados de Campos Novos, Paulo Lopes, Urussanga, Vargem Bonita.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

O britado neste artigo foi considerado como fator variável de especificidade para estudo, mantendo-se o ligante asfáltico como característica fixa, sendo a qualificação para adesividade, o norte das propriedades de melhorias na mistura de concreto asfáltico.

2.1.2. Ligante asfáltico

O material asfáltico CAP 50/70 convencional apresentou características físicas que atenderam a especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo, conforme ensaios realizados no laboratório da empresa fornecedora.

Com a inclusão de tecnologias e pesquisas na área de pavimentação, verificou-se a implementação de novos agentes melhoradores das especificações do ligante asfáltico, como borracha e polímero, que beneficiaram diversas propriedades do CAP, inclusive a adesividade.

Utilizou-se nos ensaios, exclusivamente o cimento asfáltico convencional (CAP 50/70) sem modificação por borracha ou polímeros, para uma melhor avaliação na verificação das propriedades reais dos agregados, já que com a inclusão de um ligante modificado possibilitaria obter-se resultado satisfatório, sem uso de DOPE para mais de um agregado, obstante a uma menor variação na verificação de incompatibilidades funcionais discriminadas pelos materiais britados.

2.1.3. Aditivo melhorador de adesividade

Para melhor qualificação de aderência do ligante asfáltico convencional (CAP 50/70) ao agregado pétreo, utilizou-se exclusivamente o aditivo melhorador de adesividade tipo DOPE. Sua composição química forneceu uma reação de quebra nas tensões superficiais adversas entre ligantes e agregados. Verificada a qualificação do produto e dosada em uma condição homogênea ao CAP, produziu efeito positivo no envolvimento ao britado, combatendo os efeitos deletérios produzidos pela ação da umidade.

Para determinação da satisfação do ensaio de adesividade do agregado graúdo ao ligante, foram acrescentados teores do produto quando necessário, ao ponto que não houve descolamento da película betuminosa, criando assim uma relação de desqualificação do agregado, conforme aumento da dosagem de DOPE na mistura.

2.2. MÉTODOS

2.2.1. Absorção do agregado graúdo

Procedeu-se análise da propriedade física, influente na aderência entre cimento asfáltico e agregado pétreo, através do ensaio DNER-ME 081/98 (determinação da absorção da água do agregado graúdo), realizado no LMS, do IDT, da UNESC, verificando-se o percentual da porosidade de cada material britado utilizado no presente estudo.

2.2.2. Determinação da análise química por espectrometria de fluorescência de raios X

Para análise das interações na ligação química entre cimento asfáltico e agregado pétreo, aplicou-se o ensaio segundo PR-CR-097, PR-CR-098 e PR-CR-103, análise química por espectrometria de fluorescência de raios X, realizado no LDCM, do SENAI, para determinação da composição geoquímica de cada agregado pétreo utilizado neste trabalho.

Através das resultantes, constatou-se o percentual do principal elemento da rocha, a sílica, e comparou-se a sua influência em relação a adesividade.

2.2.3. Adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso

Com embasamento na metodologia do DNER-ME 078/94, foram realizados os ensaios no LMS, do IDT, da UNESC, obtendo-se o resultado para uma pior situação com 0,00% de aditivo, sequenciada quando necessário, pela definição do teor limite de DOPE para não satisfatório e satisfatório à adesividade.

Definiu-se neste ensaio a qualificação do agregado graúdo, quanto a melhor ligação com o cimento asfáltico, para comparar-se sua compatibilidade de satisfação com o ensaio de dano por umidade induzida.

2.2.4. Dosagem Marshall

Para obtenção dos parâmetros normatizados referente ao ensaio de dano por umidade induzida, foram caracterizados e dosados no Laboratório de Asfalto, da empresa SETEP Construções S.A., especificamente nas faixas granulométricas do concreto asfáltico para cada unidade industrial, perante metodologia Marshall, utilizando-se exclusivamente o CAP 50-70 convencional.

Consideraram-se para as unidades de Campos Novos, Paulo Lopes e Vargem Bonita, curva granulométrica na faixa “C” do DNIT, já para unidade de Urussanga curva granulométrica na faixa “B” do DNIT.

Conforme resultados de granulometria, vazios e densidade das misturas para cada unidade, obteve-se o teor ótimo do ligante.

2.2.5. Determinação do dano por umidade induzida

Foram realizadas as análises no LMS, do IDT, da UNESC, utilizando o cimento asfáltico (CAP 50/70) com teor ótimo de aditivo (DOPE) definido no ensaio de adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso, sendo verificados os efeitos da resistência retida por umidade induzida dos quatro tipos de agregados, comparados ao limite mínimo de 70,00% especificado pelo DNIT 031/2004 – ES.

O método do ensaio de determinação do dano por umidade induzida foi através da norma (ABNT NBR 15617:2015), integrado ao desenvolvimento da caracterização das misturas asfálticas densas pelo procedimento da dosagem Marshall.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. ABSORÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Através deste ensaio, capacita-se constatar uma qualificação para adesividade, na qual o material pétreo pode ter com o aumento do envolvimento gerado pelo ligante absorvido, pela apresentação de uma melhor aderência influenciada pelo maior percentual de poros do agregado.

Conforme a tabela 02, Campos novos apresentou 3,00% de absorção, identificando-se a tendência do material ter um melhor envolvimento da película, referente à capacidade de maior coesão definida pelos poros dos agregados pétreos, desde que o mesmo não possua umidade elevada absorvida, acarretando no comprometimento do envolvimento pelo CAP. Os originados das unidades de Vargem Bonita e Urussanga, possuíram resultados intermediários, respectivamente em 1,40% e 0,80% no teor de absorção da água. Já o material de Paulo Lopes com 0,60%, demonstrou ser o material mais limitado quanto à absorvência, caracterizado visualmente por apresentar maiores cristalizações.

Tabela 02: Análise física.

Ensaio	Resultado			
	Urussanga	Campos Novos	Paulo Lopes	Vargem Bonita
Absorção (%)	0,80	3,00	0,60	1,40

Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Isto indica que se observado esta propriedade específica, verifica-se a tendência de que os resultados de adesividade ao agregado se apresentam qualificados

crescentemente em função desta característica física, influenciada de forma conjunta com a interação química.

3.2. ANÁLISE QUÍMICA POR ESPECTROMETRIA DE FUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Por este ensaio qualifica-se o agregado quimicamente, determinando-se o percentual de cada elemento relacionado com os resultados de adesividade. A formação geológica, assim como a caracterização física, possuem influência direta nos quantitativos de elementos químicos que cada agregado possui, diferenciando-o muitas vezes pelos minerais componentes, devido ao processo de vulcanização.

Como elemento predominante nas quatro amostras de agregado, o teor de SiO_2 (sílica) é visto como principal fator, para caracterização geoquímica do agregado, sendo este considerado um óxido ácido, de interação eletroquímica negativa, o que faz com que quanto maior sua presença, maior a repelência em relação ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), isto porque também possui mesma carga eletronegativa de reatividade, derivada do ácido carboxílico.

Outra peculiaridade química, baseada na relação de formação dos elementos refere-se à hidrofília, propriedade derivada da maior afinidade pela água, moléculas do tipo polar, diminuindo-se conseqüentemente a relação da tendência de ligação com os compostos apolares, característico dos derivados do cimento asfáltico. Tal especificação manifesta-se com prevalência nos agregados ácidos, ocasionados pelo aumento da tensão superficial repelente entre ligante e agregado, diminuindo o envolvimento adesivo da película asfáltica, perante menor atração na presença de umidade absorvida e adsorvida pelo agregado britado.

A análise apresentada na tabela 03 demonstrou uma relação dos agregados que tendem a ter uma pior situação de adesividade, levando em consideração apenas o processo químico. O agregado de Paulo Lopes por possuir 79,27% de SiO_2 , pode ser considerado o pior material para ligação com o CAP, com característica ácida, tendendo a ter uma repelência com o mesmo e maior influência pela ação da água, quando sujeita a tal condição. Para o material de Campos Novos, observou-se também um alto teor de sílica, com 67,14%, condicionando o mesmo a não satisfação para uma boa adesividade. Os dois materiais que apresentaram os melhores resultados encontram-se em Urussanga e Vargem Bonita, com 51,90% e

54,98% de SiO₂, respectivamente, demonstrando que quanto à ligação química, são os melhores agregados para adesão pelo ligante betuminoso.

Tabela 03: Análise química.

Elementos	Urussanga	Campos Novos	Paulo Lopes	Vargem Bonita
SiO ₂	51,90%	67,14%	79,27%	54,98%
Al ₂ SO ₃	14,16%	13,03%	10,55%	13,03%
CaO	10,04%	3,33%	0,65%	7,44%
Fe ₂ SO ₃	13,18%	6,35%	1,65%	14,05%
K ₂ O	0,69%	3,63%	4,09%	1,63%
MgO	5,41%	1,25%	0,09%	3,92%
MnO	0,20%	0,11%	0,05%	0,20%
Na ₂ O	2,56%	3,76%	3,08%	2,74%
P ₂ O ₅	0,18%	0,31%	0,05%	0,24%
TiO ₂	1,68%	0,94%	0,09%	1,40%
Perda ao fogo	0,00%	0,15%	0,43%	0,37%

Fonte: Leonardo Rovaris Biava

3.3. ADESIVIDADE DO AGREGADO GRAÚDO AO LIGANTE BETUMINOSO

Pelo ensaio DNER-ME 078/94, obteve-se o teor satisfatório de aditivo (DOPE). Foram realizados ensaios com diferentes teores de DOPE, para cada amostra de agregado. Verificou-se quão importante é este ensaio, principalmente quando se abre uma nova jazida, para utilização do material britado numa composição de massa asfáltica.

Conforme observado na tabela 04, o britado de Vargem Bonita obteve o melhor resultado quanto à satisfação qualitativa, sendo verificada na primeira fase dos ensaios, observando-se a qualificação do envolvimento apenas com ligante betuminoso, sem utilização de DOPE. Os materiais de Urussanga e Campos Novos resultaram em adições de DOPE, com 0,04% e 0,06%, respectivamente. O de Paulo Lopes apresentou a pior situação de adesividade neste ensaio, sendo necessários 0,20% de teor do aditivo (DOPE) em relação a quantidade de ligante.

Tabela 04: Adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso.

Condição	Percentual de DOPE			
	Urussanga	Campos Novos	Paulo Lopes	Vargem Bonita
Insatisfatório	0,03%	0,05%	0,19%	-
Satisfatório	0,04%	0,06%	0,20%	0,00%

Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Analisando os resultados, verifica-se que a caracterização química, paralelamente à qualificação física do material pétreo britado, se faz necessária, devendo estas propriedades encontrar-se registradas como base para fundamentação do resultado do ensaio de adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso.

Observa-se que quando balanceados os percentuais de óxido ácido (sílica) e o de absorção dos agregados, constata-se uma melhor adesividade da película betuminosa ao agregado. A melhor situação qualitativa verificada referiu-se ao agregado pétreo de Vargem Bonita, embora tenha apresentado maior teor de SiO_2 , quando comparada ao material de Urussanga, resultou um teor de absorção superior. Já comparando os de Campos Novos e os de Urussanga, podemos observar o inverso, que embora o primeiro obtivesse absorção maior, a adesividade foi compensada pelo menor percentual de sílica do segundo. O de Paulo Lopes foi o exemplo de pior caracterização para estas duas propriedades, automaticamente gerando o pior resultado entre os quatro agregados. Os resultados visuais podem ser verificados nas figuras 04, 05, 06 e 07.

Figura 04: Ensaio de adesividade satisfatório para Vargem Bonita.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Figura 05: Ensaio de adesividade insatisfatório e satisfatório para Urussanga.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Figura 06: Ensaio de adesividade insatisfatório e satisfatório para Campos Novos.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Figura 07: Ensaio de adesividade insatisfatório e satisfatório para Paulo Lopes.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

3.4. DOSAGEM MARSHALL

Através da dosagem na metodologia Marshall são obtidas as características físicas da mistura pela moldagem dos corpos de prova, definindo-se os teores de ligantes ótimos utilizados para o ensaio de determinação do dano por umidade induzida, observados na tabela 05.

Tabela 05: Dosagem Marshall.

Ensaio	Resultado			
	Urussanga	Campos Novos	Paulo Lopes	Vargem Bonita
Teor ótimo de betume (%)	4,50	6,60	4,70	5,49

Fonte: Leonardo Rovaris Biava

Os teores foram ordenados conforme composição granulométrica, absorção do agregado e densidade da mistura.

3.5. DETERMINAÇÃO DO DANO POR UMIDADE INDUZIDA

Para o ensaio de determinação do dano por umidade induzida, foram utilizados corpos de prova de mistura asfáltica de graduação densa, preparados segundo métodos de dosagem Marshall, com cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) em seu teor ótimo, adicionando o percentual de DOPE satisfatório para cada unidade, obtendo-se o melhor envolvimento ao agregado, conforme resultado DNER-ME 078/94. Desta forma, foi gerado um comparativo em relação aos dois ensaios do ponto de vista mecânico, comparando a resistência retida dos quatro tipos de materiais pétreos.

O método de ensaio realizado conforme descrito na ABNT NBR 15617:2015, sendo os resultados avaliados através da norma DNIT 031/2004 – ES, com limite mínimo para resistência a tração retida por umidade induzida em 70,00%.

Constatou-se após os ensaios realizados, descritos na tabela 07, que o material de Paulo Lopes alcançou o melhor resultado de qualificação para este método, obtendo a maior resistência retida com 81,00%, atendendo a especificação citada. Urussanga e Vargem Bonita, com resultados intermediários, atenderam também a norma, respectivamente com 74,00% e 73,00%. Por fim, o de Campos Novos apresentou resultado abaixo do valor limite de norma, com 57,00%.

Tabela 07: Dano por umidade induzida.

Teor de DOPE	Resistência à tração retida por umidade induzida			
	Urussanga	Campos Novos	Paulo Lopes	Vargem Bonita
Satisfatório	74,00%	57,00%	81,00%	73,00%

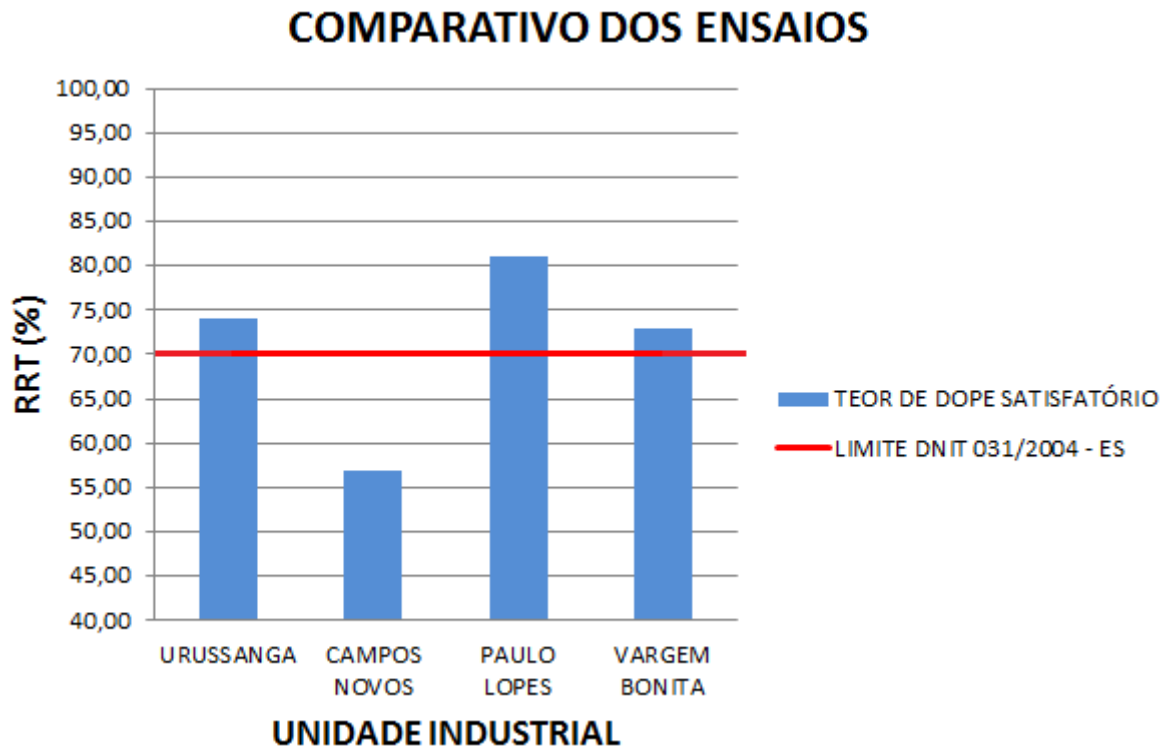
Fonte: Leonardo Rovaris Biava

De posse dos resultados obtidos, identificou-se que o agregado com o pior resultado na retenção de resistência, foi o de maior absorção de ligante, oposto ao de melhor resultado que se apresenta contrariamente a esta característica física. Entende-se que a queda da resistência mecânica de tração, é influenciada pela menor quantidade do ligante adsorvido ao agregado, gerando uma maior facilidade para quebra da composição cimento asfáltico-agregado pétreo.

Paralelamente observa-se que os ensaios de adesividade do agregado graúdo ao ligante betuminoso e dano por umidade induzida, não estão diretamente

relacionados, tendo em vista a divergência de satisfação comparando os dois resultados, conforme figura 08.

Figura 08: Comparativo entre adesividade ao agregado graúdo e dano por umidade induzida.



Fonte: Leonardo Rovaris Biava

4. CONCLUSÕES

- Materiais pétreos básicos tem melhor adesividade que os ácidos.
- A importância de ensaio mineralógico das rochas para determinação de suas composições de elementos que tem influência direta na adesividade.
- Que além do ensaio de adesividade do material graúdo, é importante também o ensaio do danos por umidade induzida.
- Quando se for trabalhar com material pétreo de uma nova jazida, é importante a caracterização da rocha, de todas as suas propriedades mineralógicas e mecânicas.
- Verifica-se que somente com o ensaio DNER-ME 078/94, não representa uma garantia de qualificação para a mistura asfáltica, tendo em vista a variação do resultado satisfatório e insatisfatório quando imposto à determinação do dano por umidade induzida.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida**: NBR 15617:2015. Rio de Janeiro, 2015.

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina dos Textos, 2007. 558p.

BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006. 501 p.

BETUNEL INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. Manual técnico de pavimentação. São Paulo: 1997. 194p.

BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo; SANTOS, Luís Picado. Pavimentos Rodoviários. Coimbra: Almedina, 2011. 388p.

CERATTI, J. A. P.; REIS, R. M. M. de. Manual de dosagem de concreto asfáltico. São Paulo: oficina de textos; Rio de Janeiro: Instituto pavimentar, 2011. 151p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Agregado graúdo - adesividade ao ligante betuminoso**: DNER-ME 078/94. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Agregado – determinação da absorção e da densidade do agregado graúdo**: DNER-ME 081/98. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico**: DNIT 031/2004 - ES. Rio de Janeiro, 2004.

LIBERATORI, L. A.; CONSTANTINO, Romulo Santos. Melhoradores de Adesividade para Misturas Asfálticas – Estado da Arte. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, 18º Encontro de Asfalto, 2006.

MENEZES, Sebastião de Oliveira. Rochas: manual fácil de estudo e classificação – 1ª ed. – São Paulo: Oficina dos Textos, 2013. 112p.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. – 1^o ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2015. 269p.