

ANÁLISE COMPARATIVA DE RECOBRIMENTO DE AGREGADO GRANÍTICO COM DIFERENTES ADITIVOS ORGÂNICOS MELHORADORES DE ADESIVIDADE

Thiago Gilberto do Prado. E-mail: thiagogilbertodoprado@gmail.com
Mariana dos Santos do Nascimento.
Carla Fernanda Genaro.

Resumo: Algumas propriedades do agregado mineral granítico que compõe as misturas asfálticas usinadas são relevantes em relação ao desempenho do revestimento asfáltico, dentre elas, a adesividade ao ligante betuminoso, que foi avaliada no presente trabalho. A compreensão da estrutura mineral e química do agregado, e dos efeitos de mistura (cimento asfáltico de petróleo mais o agregado) ligados a adesividade deste, é de grande importância na qualidade dos transportes e conservação das estradas. Neste trabalho caracterizou-se e comparou-se a adesividade do agregado mineral granítico, de amostras coletadas em uma pedreira localizada na cidade de Carambeí-PR com diferentes composições de mistura asfáltica, por meio do método de ensaio do DNER 078/94. Estas amostras apresentavam inicialmente certos problemas com relação a adesividade padronizada pelo DER. Para a melhoria deste, a hipótese levanta é de que utilizando diferentes aditivos orgânicos melhoradores de adesividade seria possível obter uma adesividade satisfatória de acordo com o que a norma vigente exige. Como resultado, analisou-se a melhoria da adesividade em diferentes misturas asfálticas, com aditivos de fabricantes distintos.

Palavras-chave: Asfalto. Adesividade. Aditivo orgânico. Agregado granítico.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RECOVERY OF GRANITE AGGREGATE WITH DIFFERENT ORGANIC ADDITIVES ADHESIVENESS IMPROVERS

Abstract: Some properties of the granitic mineral aggregate composing the machined asphalt mixtures are relevant in relation to the performance of the asphalt coating, among them, the adhesiveness to the bituminous binder, which was evaluated in the present study. The understanding of the mineral and chemical structure of the aggregate, and the mixing effects (asphaltic oil cement plus aggregate) linked to its adhesion, has great importance in the quality of transport and road maintenance. In this study, were characterized and compared the adhesiveness of the granite mineral aggregate of samples collected in a quarry located in the city of Carambeí-PR with different compositions of asphalt mixtures, by the text method of DNER 078/94. These samples initially presented certain problems with the adhesion standardized by the DER. For the improvement of this, the hypothesis is that using different organic adhesion improver additives would be possible to obtain a satisfactory result according to what the current standard requires. As a result, the improvement of adhesiveness in different asphalt mixtures, was analyzed with additives from different industries.

Keywords: Asphalt. Adhesion. Organic additive. Granite aggregate.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o tipo de transporte mais utilizado para transportar os produtos fabricados em nosso país é o transporte rodoviário (DENATRAN, 2016). Sendo assim, é necessário que as rodovias apresentem boa infraestrutura e boa conservação. Para isso, atividades de manutenção e de melhoria devem ser realizadas constantemente a fim de garantir a boa qualidade do pavimento e para que pequenos defeitos não tomem maiores proporções.

Contrariando expectativas, a condição das estradas do Brasil não tem melhorado ao longo do tempo (CFA, 2013), permanecendo atualmente como uma situação muito delicada, precária e sem muitos investimentos. Segundo dados da pesquisa de rodovias de 2015 da Confederação Nacional do Transporte (CNT),

“O Brasil possui 213.299 km de rodovias pavimentadas em todo seu território, os quais são 66.712 km de rodovias federais, 119.691 km de rodovias estaduais e 26.826 km de rodovias municipais.”

Segundo a CNT (2015), esta extensão de rodovias brasileiras está nas condições apresentadas abaixo:

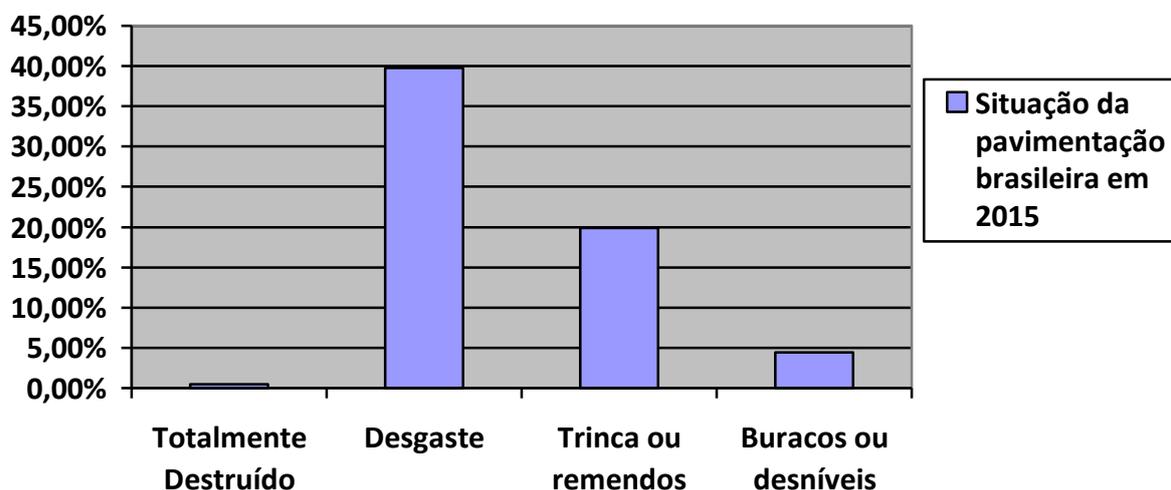


Gráfico 1 – Problemas devido à qualidade da mistura dos agregados ao ligante na mistura asfáltica.
Fonte: Os autores.

A propriedade do agregado mineral granítico – segundo a ABNT (2015) “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto” – presente em misturas asfálticas usinadas, relevante neste estudo em relação ao desempenho do revestimento asfáltico, é a adesividade ao ligante betuminoso, que é uma propriedade que pode ser usada para referir a quantidade de energia que é necessária para quebrar a ligação entre o CAP (cimento asfáltico de petróleo) e o agregado (PEREIRA, 2009).

A compreensão da estrutura mineral e química do agregado, e dos efeitos de mistura ligados a adesividade deste, é de grande importância na qualidade da pavimentação asfáltica. Sabe-se que o agregado compõe 85% em volume das misturas asfálticas, sendo essencialmente relevante no modo como se comporta a mistura, principalmente em relação ao efeito da água (PEREIRA, 2009).

Quando a água entra em contato com a película do ligante asfáltico e a superfície do agregado e separa ou descola ambos, considera-se não recomendada para uso em misturas asfálticas. Os aditivos orgânicos melhoradores de adesividade possuem em sua composição característica um grupo polar (moléculas de amina são responsáveis por esse grupo), que se liga quimicamente à superfície do agregado e outro grupo apolar (cadeias de hidrocarboneto) que desloca a água da superfície do agregado, interagindo com o cimento asfáltico, ligando adesivamente ambos os materiais (PEREIRA, 2016).

Portanto, entende-se que, como o grupo polar liga-se à superfície do agregado, o agregado em si é apolar; já o CAP tem característica polar, sabendo que o grupo apolar interage com o CAP (ZUBARAN, 2014). Atingindo assim, uma adesividade do agregado em relação ao ligante asfáltico satisfatória.

Este artigo foi dividido em duas etapas. Primeiramente foi feito um estudo aprofundado de como se comporta o asfalto como um todo e a partir disto, foram caracterizadas as propriedades acima citadas, e como elas poderiam se relacionar às características do agregado e com os diferentes tipos de aditivos orgânicos. Na segunda fase verificou-se com ensaios de adesividade, quais aditivos melhoradores de adesividade poderiam se adequar às normas e especificações do órgão nacional (DNIT) e do órgão estadual (DER) para produção de uma mistura asfáltica de melhor qualidade.

Assim, respondendo a problemática do estudo com a hipótese de que aditivos orgânicos melhoradores de adesividade (AOMA) podem melhorar a adesividade do agregado granítico em relação ao ligante asfáltico de acordo com as exigências do DER.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de ensaio utilizado nesta pesquisa foi baseado na ME 78/94 do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Esta norma prescreve o método para a verificação da adesividade de agregado graúdo a ligante betuminoso.

A aparelhagem utilizada nos ensaios do presente trabalho foi:

- Peneiras de aberturas de 19 mm e 12,5 mm (séries ASTM ¾” e ½”, respectivamente), inclusive tampa e fundo;
- Chapa aquecedora;
- Estufa capaz de manter a temperatura em torno de 40°C, 60°C, 100°C e 120°C;
- Balança com capacidade de 10 kg, sensível a 0,1 g;
- Balança analítica com capacidade de 2100 g, sensível a 0,01 g;
- Espátula de aço inoxidável, com lâmina de aproximadamente 20 cm de comprimento;
- Béquer de vidro, com capacidade de 500 mL;
- Placa de vidro de superfície lisa;
- Termômetro de 0°C a 200°C, graduado em 1°C;
- Agregado (granito);
- CAP 50/70 (essa proporção diz respeito ao ensaio de penetração do cimento asfáltico de petróleo – não realizado nesta pesquisa);
- Aditivos melhoradores de adesividade: A, B, C e D (diferentes fabricantes);
- Cinzas de cavaco de eucalipto: X.

A amostra de agregado utilizada foi obtida do material que passou na peneira de 19 mm e ficou retido na peneira de 12,5 mm. A seguir, a amostra foi lavada e colocada em um frasco com água destilada, durante 1 minuto. Logo após, levada à estufa a 120°C por 2 horas.

Pesou-se 500 g (± 1 g) de amostra de agregado e aqueceu-se a 100°C. As amostras do ligante de cimento asfáltico de petróleo foram aplicadas a 120°C.

Adicionou-se, sobre a amostra de agregados previamente aquecida, 17,5 g ($\pm 0,5$ g) do ligante betuminoso, assim como, a porcentagem de dope (aditivo melhorador de adesividade) recomendada por seus respectivos fabricantes, sobre a massa do ligante e, com uma espátula, fez-se à mistura até completo envolvimento da amostra.

A amostra de agregados envolvida pelo ligante e o aditivo foi colocada sobre uma placa de vidro de superfície lisa, a fim de que o CAP esfriasse ou curasse ou se rompesse. Em seguida, a amostra foi colocada no béquer de vidro e totalmente recoberta com água destilada. O recipiente foi colocado na estufa a 40°C durante 72 horas.

Foi executado também o ensaio de FRX da amostra de agregado, o ensaio foi realizado no equipamento Epsllon 3XLE marca PANalytical com tubo de Rh, utilizando o fluxo de gás hélio e cálculo de quantificação dos óxidos pela curva padrão Omnian, o material foi fundido em forno para análise em pérolas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado para a análise de FRX pode ser observado abaixo:

Tabela 1 – Resultados da análise de FRX.

| Óxido | Teor (%) |
|--------------------------------|-----------|
| Na ₂ O | 4,71 |
| MgO | 690,3 ppm |
| Al ₂ O ₃ | 14,08 |
| SiO ₂ | 73,49 |
| P ₂ O ₅ | 121,9 ppm |
| K ₂ O | 4,59 |
| CaO | 0,48 |
| TiO ₂ | 601,7 ppm |
| MnO | 136,5 ppm |
| Fe ₂ O ₃ | 1,64 |
| Perda ao fogo | 0,87 |

Após a realização do ensaio DNER-ME 078/94 com diversas amostras de CAP 50/70 (essa proporção diz respeito ao ensaio de penetração do cimento asfáltico de petróleo – não realizado nesta pesquisa) com porcentagens diferentes de variados aditivos e de cinza de cavaco de eucalipto, que atua como fíler na mistura (ambas as porcentagens em relação à massa do CAP).

A porcentagem de aditivo usado varia de acordo com as especificações de projeto de cada um, fornecida pelos fabricantes, por esta razão os testes foram feitos analisando da porcentagem mínima à máxima dentro da especificação do produto, porém, obedecendo principalmente a proporção máxima permitida pela norma, que é de 1% de presença sobre a massa de CAP.

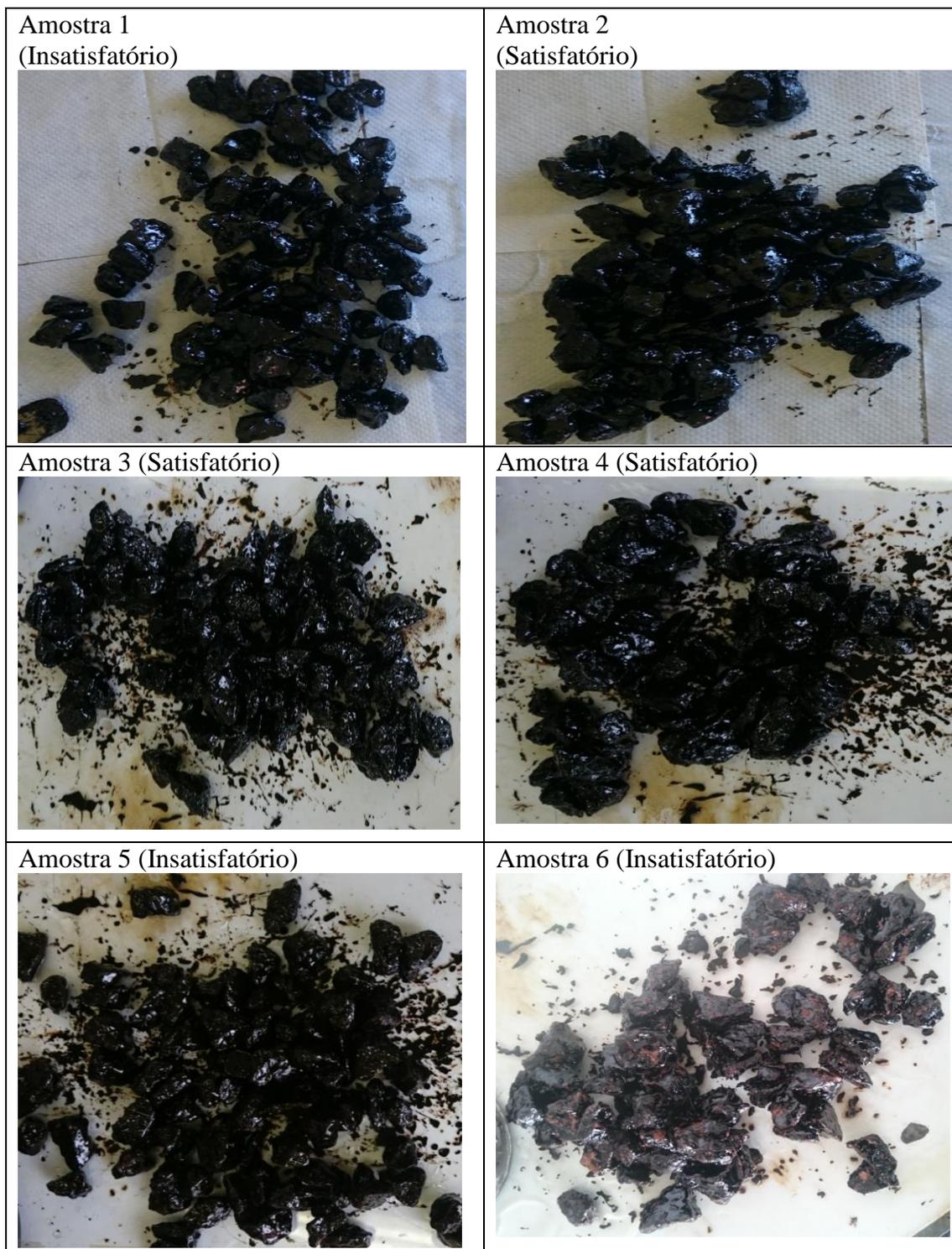
A tabela a seguir apresenta o resultado em relação à adesividade observada em cada mistura, após 72 horas de imersão à 40°C. As porcentagens descritas abaixo são aproximações obtidas visualmente.

Tabela 2 – Resultado dos ensaios de adesividade.

| Nº da amostra | Asfalto | Cinzas | Aditivo | % de descobrimento | Adesividade |
|---------------|-----------|--------|---------|--------------------|----------------|
| 1 | CAP 50/70 | - | 0,2% A | ≈ 4% | Insatisfatório |
| 2 | CAP 50/70 | - | 0,3% A | ≈ 0% | Satisfatório |
| 3 | CAP 50/70 | - | 0,4% A | ≈ 0% | Satisfatório |
| 4 | CAP 50/70 | - | 1% B | ≈ 0% | Satisfatório |
| 5 | CAP 50/70 | - | 1% C | ≈ 40% | Insatisfatório |
| 6 | CAP 50/70 | 2% X | - | ≈ 80% | Insatisfatório |

| | | | | | |
|---|-----------|------|--------|-------|----------------|
| 7 | CAP 50/70 | 4% X | 0,6% D | ≈ 50% | Insatisfatório |
| 8 | CAP 50/70 | 6% X | 0,6% D | ≈ 30% | Insatisfatório |
| 9 | CAP 50/70 | 8% X | 0,6% D | ≈ 10% | Insatisfatório |

Os resultados das análises citados acima foram avaliados e estimados visualmente, como apresentado no quadro de figuras abaixo:



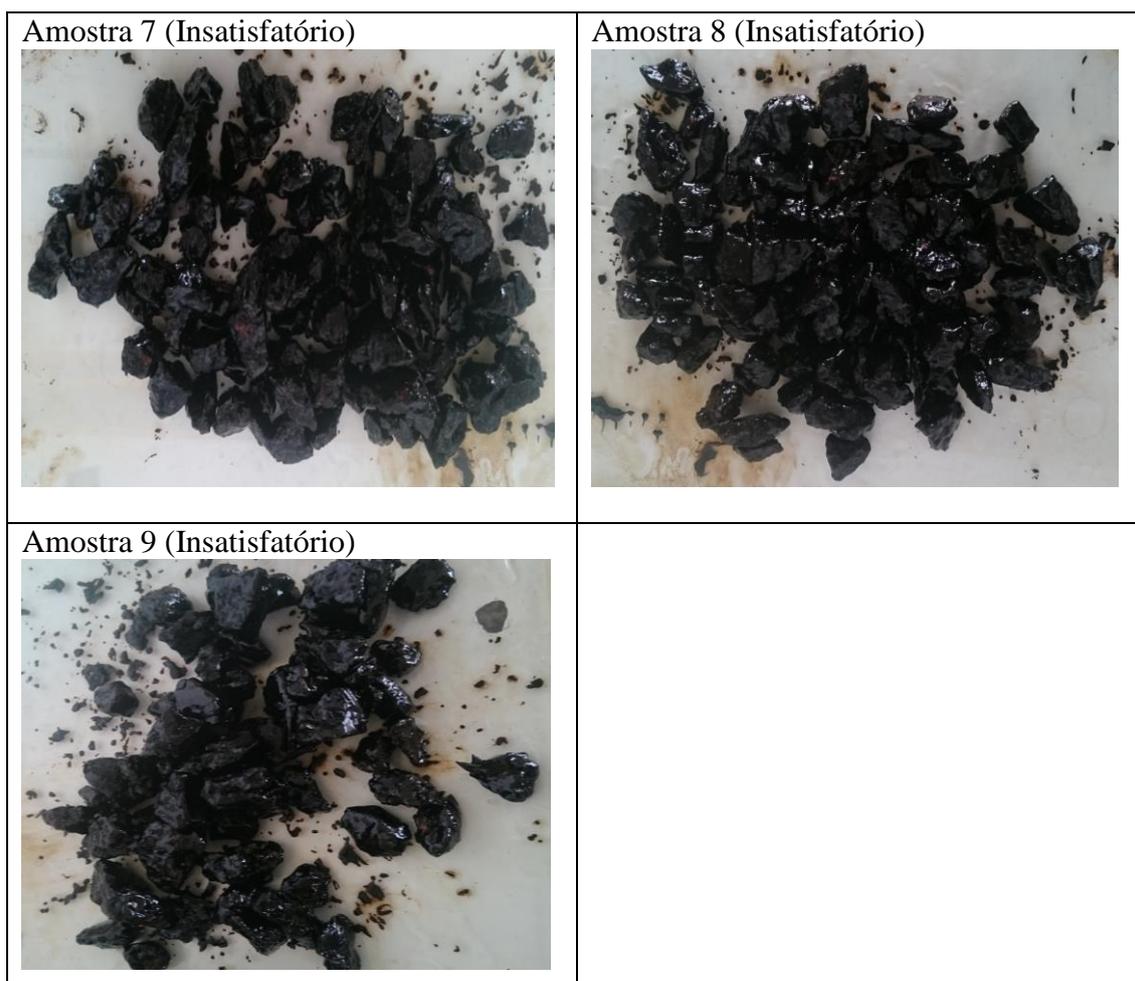


Figura 1 – Resultado dos ensaios de adesividade. Fonte: Os autores.

As amostras com descobrimento da superfície nulo se apresentam nas amostras 2, 3 e 4. Nas amostras 2 e 3 que foi utilizado o aditivo A, em quantidades de 0,3% e 0,4% em relação à mistura, apresenta adesividade satisfatória. Na amostra 4 foi utilizado o aditivo B com a quantidade de 1%, apresentando, também, adesividade satisfatória.

É possível visualizar o total recobrimento quando não são observadas regiões rosadas, ou seja, não é vista a face do agregado e apenas o cimento asfáltico de petróleo, em preto. Isto significa que, o agregado está totalmente envolto pelo CAP, provando que a adesividade está satisfatória.

E as amostras com descobrimento da superfície parcial, são apresentadas nas amostras 1, 5, 6, 7, 8 e 9. Na amostra observa-se que, com essa quantidade do aditivo A de 0,2%, a mistura não apresenta boa adesividade, a adesividade para este aditivo é melhorada conforme aumenta-se a quantidade do mesmo na mistura, como constatado anteriormente. Na amostra 5 foi constatado que o aditivo C apresenta em torno de 40% de descobrimento do ligante ao agregado.

Na amostra 6, que contém o aditivo D e cinzas X utilizadas como fíler, observa-se várias partes descobertas, o que demonstra que o aditivo D não foi eficiente como melhorador de adesividade e que as cinzas não foram efetivas em seu papel como fíler na mistura.

Na amostra 7, que contém o mesmo aditivo da amostra anterior, também não pôde-se observar adesividade satisfatória, porém, consegue-se notar melhora em relação à amostra 6.

Portanto, o aumento da quantidade de cinzas mostra que há uma correção, mesmo que pequena, na adesividade.

Novamente, para as amostras 8 e 9 nota-se melhora na adesividade devido ao aumento no teor de cinzas. Mas por ser o mesmo aditivo D, ainda não há adesividade satisfatória, o que descarta a possibilidade do uso de cinzas como fíler para esta mistura, já que a norma possibilita no máximo 8% de fíler na mistura (DER/PR, 2005).

Com o círculo vermelho destacam-se as partes descobertas, que são as áreas de coloração rosada, tal qual a cor do agregado sem cobertura da mistura ásfaltica, ou seja, o CAP não se liga ao agregado tão intensamente e “descola” em algumas regiões. Neste caso, demonstrando resultado insatisfatório para o teste de adesividade.

As análises com as cinzas de cavaco de eucalipto como fíler foram feitas utilizando o aditivo D, que era o aditivo utilizado nos trabalhos da empresa que enviou o material em questão no trabalho, e que não estava sendo eficaz nos testes de adesividade mesmo na máxima porcentagem permitida do projeto deste aditivo, assim foi possível avaliar a efetividade do uso das cinzas no auxílio deste aditivo, mas mesmo assim, os resultados descartam a proposta de utilizar as mesmas na mistura. O aditivo C mesmo na sua maior concentração sugerida pelo fabricante, não apresentou resultado satisfatório.

O aditivo A apresentou resultado satisfatório com 0,3% e 0,4% e o aditivo B apresentou resultado satisfatório com 1% (percentuais em relação ao CAP recomendados pelos fabricantes). Isto implica em dizer que o aditivo A tem melhor resultado entre os testes realizados, pois consegue ter o desempenho desejado (satisfatório) numa concentração menor se comparado ao aditivo B.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o resultado de adesividade satisfatória de algumas misturas com diferentes aditivos deve-se ao fato de que esses aditivos apresentam em sua composição características que facilitam a ligação do agregado com o CAP, dificultando a ação da água quando em contato com a mistura. Um exemplo dessas características seria o tamanho das cadeias moleculares presentes nesses aditivos, pois quanto maior o tamanho da cadeia, mais forte é a atração com o agregado pelo lado polar da molécula e mais forte é a atração com o CAP pelo lado apolar da molécula (PEREIRA, 2016). Já que o agregado tem característica apolar e o CAP, polar. Como principal contribuição deste trabalho, pode-se apontar a obtenção de informações sobre quais aditivos promoveram resultados satisfatórios em relação à adesividade de um agregado granítico ao ligante asfáltico, para aplicação na indústria de pavimentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa de pavimentação pela concessão do material de estudo, bem como ao professor orientador e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelas instalações e apoio concedido para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

CFA - Conselho Federal de Administração. *Plano Brasil de Infraestrutura Logística: uma abordagem sistêmica.* Brasília – DF, 2013.

DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. *Frota de veículos. Disponível em [http:// www.denatran.gov.br/frota.htm](http://www.denatran.gov.br/frota.htm). Acesso em: 07/05/2017.*

DER/PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. *Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente.* Curitiba, 2005.

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

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *EM 095/2006: Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material.* Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA, F.J.Q. *Estudo da Sensibilidade à Água de Misturas Betuminosas.* 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2009.

PEREIRA, G.S. *Aditivos Orgânicos Melhoradores de Adesividade.* Boletim Técnico SINICESP. São Paulo, n. 8, jul. 2016. Disponível em <http://www.sinicesp.com.br/materias/2012/bt08a.htm>. Acesso em: 07/05/2017.

ZUBARAN, M. *Qualidade e economia - Uma visão sobre influência dos agregados, controle de umidade e adequação de processo.* Boletim técnico do SINICESP. São Paulo, ed. 12, 2014. Disponível em <http://www.sinicesp.org.br/materias/2014/bt12a.htm>. Acesso em