

# **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM ADIÇÃO DE ÓXIDO DE FERRO**

**Tássila Ramos Porto**  
**D.Sc. Adriano Elísio de Figueirêdo Lopes Lucena**  
**Thamires Dantas Guerra**  
**Thalita Maria Ramos Porto**  
**Renato Lima da Silva**  
**Christian Rafael Ziegler**

Universidade Federal de Campina Grande  
Laboratório de Engenharia de Pavimentos

## **RESUMO**

A preocupação com o meio ambiente tem se mostrado cada vez mais evidente tanto nos países desenvolvidos quanto nos que estão em crescente desenvolvimento. Visando garantir um maior bem-estar e condições favoráveis de vida a população tanto atual quanto futura, busca-se amenizar o acúmulo de grandes quantidades de calor as superfícies asfaltadas. Dessa forma explica-se então a escolha por incorporar óxido de ferro em misturas asfálticas, com um único teor, nas cores vermelho e amarelo, como pigmentos que objetivam a redução desses efeitos causadores das chamadas ilhas de calor urbano. O método de compactação utilizado na pesquisa foi o SUPERPAVE, para produzir corpos de prova que foram utilizados na realização da análise mecânica. Objetivando dessa forma, favorecer a segurança viária e engenharia de tráfego satisfatória, tendo em vista, que se trata de um revestimento resistente a altas temperaturas e à ação dos raios ultravioletas, a pavimentação com asfalto colorido é ideal para ser aplicada em vias especiais que necessitem de maior visibilidade e diferenciação de piso.

## **ABSTRACT**

Concern for the environment has been increasingly evident in both developed and developing countries. In order to guarantee a better welfare and favorable conditions of life for the population, both current and future, it is sought to reduce the accumulation of large amounts of heat to the paved surfaces. In this way, the choice to incorporate iron oxide in asphalt mixtures with a single content in red and yellow colors as pigments that aim to reduce these effects causing the so-called urban heat islands is explained. The compaction method used in the research was the SUPERPAVE, to produce test specimens that were used in the mechanical analysis. In order to promote road safety and satisfactory traffic engineering, in view of the fact that it is resistant to high temperatures and ultraviolet rays, paving with colored asphalt is ideal to be applied in special roads that require of greater visibility and differentiation of floor.

## **1. INTRODUÇÃO**

O crescente desenvolvimento das cidades ou centros urbanos gerados pelo aumento gradativo populacional e atrelado ao avanço da globalização têm sido uma das principais responsáveis pelas alterações que ocorrem no meio ambiente, assim como, pela geração de mudanças fisionômicas no planeta. De acordo com Mirzael e Haghghat (2010), o crescimento desordenado dos centros urbanos acelerou-se logo após a Segunda Guerra Mundial.

Essas modificações ambientais têm como principal consequência o incremento da temperatura dos centros urbanos principalmente quando comparadas às áreas rurais circundantes, a aglutinação de pessoas em áreas urbanas e o decorrente revestimento do terreno natural por materiais artificiais favorecem esse aumento de temperatura.

Esses fatores são os causadores do aparecimento de um episódio denominado Ilha de Calor Urbano, caracterizado pelo incremento das temperaturas urbanas em comparação com as áreas rurais, pode-se dizer então que é um fenômeno associado ao acúmulo, de grandes quantidades de calor devido à absorção da radiação solar durante o dia.

Portanto, verifica-se que, o aumento excessivo do calor nas áreas urbanas se deve a diversos

fatores que colaboram de forma direta ou indireta, entretanto, o uso de materiais com baixa refletividade e a deficiência de áreas verdes são os aspectos mais significativos. Com isso, estão surgindo novas tecnologias com o intuito de minimizar os efeitos que tais materiais causam ao meio ambiente, uma das técnicas utilizadas consiste no uso de materiais mais refletivos (MIRZAEI e HAGHIGHAT, 2010).

Nesta perspectiva é que surge a prática mais utilizada para suavizar a ilha de calor urbano, apresentada por Rosenfeld (1998) refere-se a mudança da cor das superfícies asfálticas escuras para cores mais claras, que sejam capazes de refletir de fato a luz solar, tanto a visível como a invisível (geralmente a infravermelha).

Essa mudança da cor das superfícies urbanas pode ser obtida com uso de pigmentos coloridos com o intuito principal de aumentar o valor do albedo da mistura asfáltica, ou seja, aumentar o quantitativo da refletividade solar total de uma superfície. Com isso, almeja-se diminuir a temperatura do ar, adiar a formação do ozônio troposférico, assim como mitigar o fenômeno da ilha de calor urbano que é o foco principal nesse caso.

Sendo assim, esta pesquisa o uso de corantes incorporado as misturas asfálticas, para serem utilizados em revestimentos asfálticos urbanístico de vias que requeiram maior visibilidade e diferenciação de piso, com a intenção de aumentar a refletividade asfáltica, diminuindo dessa forma, as grandes quantidades de calor resultantes da absorção da radiação solar.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização Física dos Materiais

Na figura a seguir, (figura 1) é apresentado o esquema das atividades que serão realizadas para a caracterização dos materiais (CAP 50/70, agregados e corantes).



**Figura 1:** Caracterização dos Materiais

### 2.2. Materiais

#### 2.2.1. Ligante Asfáltico

O ligante asfáltico utilizado nesta pesquisa é o CAP 50/70, devido ser este o mais utilizado na região nordeste. Foi fornecido pela empresa Rocha Cavalcante da cidade de Campina Grande. Na tabela 1 está resumida a caracterização do CAP puro.

**Tabela 1:** Caracterização do CAP

Característica	CAP PURO	Limites	Norma
Penetração(0,1mm)	61,40	50 -70	NBR-6576
Ponto de amolecimento(°C)	45,00	46(mín.)	NBR-6560
Viscosidade Rotacional 135 °C (cp)	378,80	274 (mín.)	NBR-15184
Viscosidade Rotacional 150 °C (cp)	189,50	112 (mín.)	NBR-15184
Viscosidade Rotacional 177 °C (cp)	69,50	57 – 285	NBR-15184

### 2.2.2. Agregados

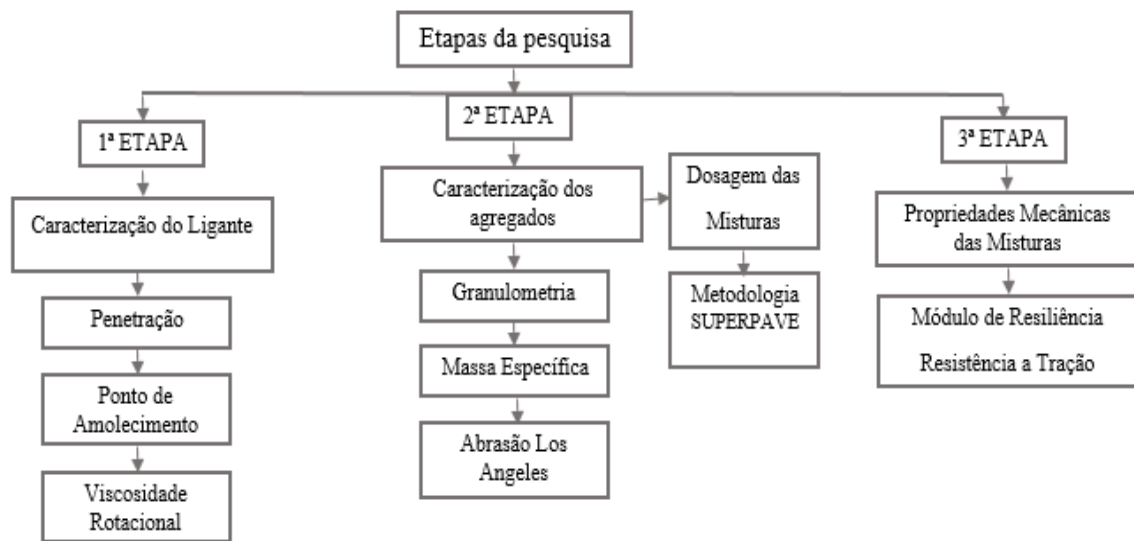
Os agregados utilizados nesta pesquisa, brita 19mm, brita 12,5mm e pó de pedra foram fornecidos pela empresa Rocha Cavalcante, com sede em Campina Grande, PB. A areia e o filer (cal hidratada) foram adquiridos no mercado local.

### 2.2.3. Óxido de Ferro

O aditivo óxido de ferro utilizado nesta pesquisa, é um pigmento inorgânico colorante produzido pela LANXESS, empresa de especialidades químicas. São pigmentos em pó, inorgânicos colorantes que possui alto poder de tingimento. É extremamente resistente à ação da luz e intempéries. Foi adquirido no mercado local, através de uma empresa terceirizada.

## 2.3. Métodos

A pesquisa experimental foi dividida em três etapas como mostra o fluxograma da figura 2. A primeira etapa teve como objetivo a obtenção dos materiais, como também a preparação e caracterização dos mesmos (agregados, ligante asfáltico e óxido de ferro). Esta fase é de suma importância para a verificação das características dos materiais, para que assim possa realizar a caracterização mecânica da mistura asfáltica. Posteriormente na segunda etapa foi realizado a incorporação do pigmento de óxido de ferro a mistura, e para terceira etapa foram produzidas mistura asfálticas modificadas que serão submetidas a ensaios mecânicos padronizados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da ASTM (American Society for Testing Materials), do Departamento de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).



**Figura 2:** Fluxograma das etapas da pesquisa

### 2.3.1. Mistura da dosagem com o Óxido de Ferro

Foi feita a separação dos agregados e do ligante asfáltico de acordo com as quantidades estabelecidas para dosagem, e a partir dos cálculos realizados com os resultados obtidos no ensaio de viscosidade rotacional, através do gráfico viscosidade versus a temperatura (°C) em uma escala logarítmica foi possível determinar as temperaturas de usinagem e compactação das misturas asfálticas. Fez-se a mistura do cap com os agregados, após o intervalo de duas horas na estufa a uma temperatura de 165°C para agregados e 150°C para o ligante (estabelecido pelo método). Após a mistura convencional foi adicionado o óxido de ferro aos poucos, como mostra a figura 3, com o objetivo de pigmentar a mistura. Os mesmos foram adicionados como uma proporção da massa total da mistura sem substituir nem o ligante nem os agregados, houve apenas uma diminuição na proporção dos agregados e do ligante asfáltico. O pigmento utilizado não precisou passar por nenhum processo de preparação antes da mistura, pois o mesmo já foi adquirido em condições satisfatórias para ser usado na mistura em questão. As duas cores utilizadas na pesquisa foi o amarelo e o vermelho, escolhidas de acordo com resultados obtidos por Del Carpio (2014).



**Figura 3:** Adição do Óxido de ferro as Misturas Convencionais

### 2.3.2. Caracterização dos agregados e dosagem das misturas asfálticas

#### 2.3.2.1 Caracterização dos agregados

Os ensaios utilizados para a caracterização dos agregados estão listados na tabela a seguir, (Tabela 2), com os respectivos resultados obtidos por cada um desses ensaios.

**Tabela 2:** Resultados da caracterização dos agregados

Agregados	Brita 19	Brita 12,5	Areia	Pó de Pedra
Massa Específica Real (g/cm <sup>3</sup> )	2,764	2,755	2,380	2,492
Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,732	2,713	2,66	2,349
Equivalente Areia %	-	-	82,06	56,00
Abrasão Los Angeles	25,4	22,30	-	-

#### 2.3.2.2 Dosagem SUPERPAVE

Para a realização da dosagem SUPERPAVE preconiza-se a escolha de três composições granulométricas a partir dos agregados disponíveis, no caso, (Brita 19 mm, Brita 12,5mm, Pó de Pedra, Areia e Filer). Foi elaborada então três curvas Fuller, uma superior, uma intermediária e uma inferior. Utilizando-se a faixa C especificada pelo DNIT, como também os Pontos de Controle e Zonas de restrição.

Inicialmente a dosagem foi realizada com o CAP puro visando a determinação do teor de ligante asfáltico e de agregados de projeto (figura 4).



**Figura 4:** Fluxogramas da Fonte: Bernucci (2008)  
Dosagem SUPERPAVE

Após a composição das três curvas realizou-se a moldagem de seis corpos de prova, sendo dois para 8 giros, dois para 100 giros e dois para 160 giros com teor de ligante inicial de 5% para cada curva.

Após isso, obteve-se os pesos dos corpos de prova secos e submersos, o diâmetro de cada um desses e a média das alturas para que fosse possível determinar os valores de Vv (volume de vazios), VAM (vazios no agregado mineral) e Gmm (massa específica máxima) com o intuito de se escolher a curva a ser trabalhada. Portanto, a curva escolhida foi a superior, devido ser essa a curva com o volume de vazios o mais próximo de 4% como demonstra a Tabela a seguir (tabela 3).

**Tabela 3:** Resumo da compactação das misturas asfálticas

Misturas	%Ligante	%Gmm $N_{inicial}$	%Gmm $N_{projeto}$	%Gmm $N_{máximo}$	Vv (%)	VAM (%)
Inferior	5,00	93,03	97,42	98,27	2,58	<b>13,59</b>
Intermediária	5,00	91,44	97,08	97,66	2,96	<b>13,80</b>
Superior	5,00	89,31	95,39	96,07	4,61	<b>15,45</b>
Limites		<89,00	96,00	<98,00	4,00	13,0 (min)

A partir da equação abaixo (equação 1), foi estimado o teor de ligante inicial igual 5,24% para a curva superior.

$$P_{(l, estimado)} = P_{li} - [0,4x(4 - V_v)] \quad (1)$$

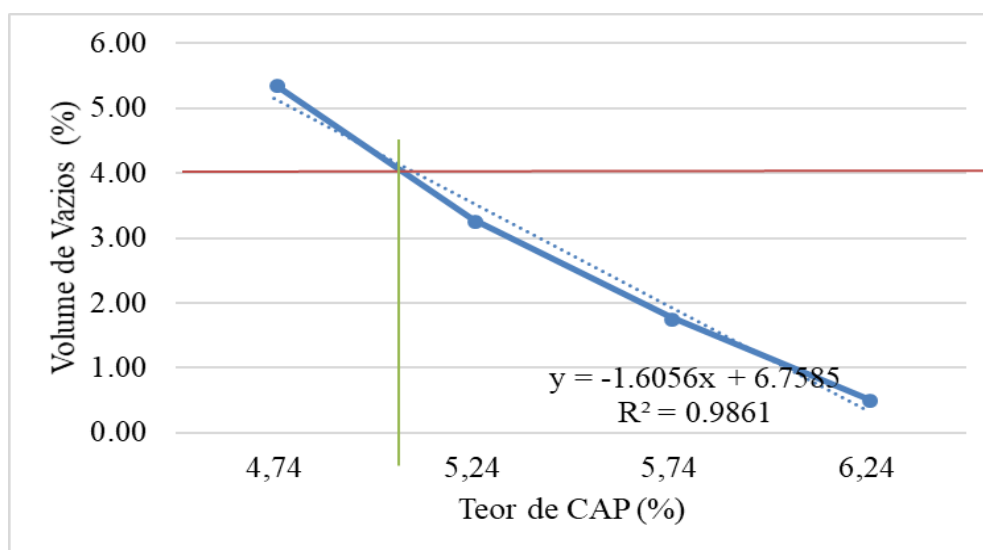
Em seguida, foi possível determinar suas propriedades volumétricas através dos parâmetros volumétricos dos corpos de moldados com os novos teores (Tabela 4).

**Tabela 4:** Critérios volumétricos para cada teor de ligante

4,74%	5,24%	5,74%	6,24%	Valores Normalizados
-------	-------	-------	-------	----------------------

Vv (%)	5,38	3,29	1,78	0,53	<b>4,00%</b>
VAM (%)	16,24	14,94	14,73	14,41	<b>13,00 mín</b>
Gmm (%)	94,62	96,71	98,22	99,47	<b>96,00</b>
RBV (%)	<b>74,97</b>	<b>73,48</b>	<b>73,63</b>	<b>73,52</b>	<b>65 a 75%</b>

Não obtendo nenhum volume de vazios igual a 4% misturas experimentais ensaiadas, foi necessário realizar uma nova tentativa através do gráfico volume de vazios x teor de ligante (Figura 5) onde obteve-se um teor de ligante de projeto de 5,10% para um volume de vazios de 4%.



**Figura 5:** Determinação do teor de projeto

Dessa forma elaborou-se uma mistura com o teor de 5,1 e obteve-se os resultados demonstrados na tabela seguinte (Tabela 5) e, portanto, adotou-se para toda a pesquisa um teor de ligante de 5,10%. Para tanto, como parâmetro adotado no Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG, local de realização dos experimentos, para todas as pesquisas, foi realizada apenas uma dosagem, não fazendo nesse caso dosagem com o óxido de ferro. A adição do óxido foi feita adotando-se um teor de 5%, valor esse estipulado a partir de resultados satisfatórios obtidos por Del Carpio (2014), estes foram acrescentados como uma proporção da massa total da mistura sem substituir nem o ligante nem os agregados minerais. No entanto, a adição dos pigmentos causou uma diminuição das proporções de ambos os materiais na massa total.

**Tabela 5:** Resumo dos parâmetros volumétricos para o teor de CAP de 5,10%

%Ligante	%Gmm	VAM (%)	RBV(%)	Vv (%)
<b>5,10</b>	95,94	15,29	73,82	<b>4,06</b>
<b>Limites</b>	<b>96,00</b>	<b>13,0 (min)</b>	<b>65 a 75</b>	<b>4,00</b>

### 2.3.3. Propriedades mecânicas das misturas asfálticas

Para essa etapa foram moldados três corpos de prova de cada cor do pigmento, no caso, três

corpos de prova vermelhos e três amarelos como mostrados na figura abaixo (figura 6), com o mesmo teor de asfalto, modificando apenas a proporção dos agregados da mistura, devido a incorporação do pigmento de óxido de ferro, por se tratar de um material pulverulento, com características semelhantes ao filler utilizado. Foi verificado a partir de referências bibliográficas que a mudança do teor de óxido de ferro não apresenta mudanças significativas na coloração da mistura, portanto, foi utilizado apenas o teor de 5% do pigmento em questão. Os ensaios mecânicos têm como finalidade analisar a influência da adição do óxido de ferro em comparação ao ligante puro no desempenho mecânico das misturas asfálticas. As propriedades analisadas nesta etapa foram o módulo de resiliência e a resistência a tração.



**Figura 6:** Corpos de prova com a adição do óxido de ferro, nas cores vermelho e amarelo

#### 2.2.3.1 Resistência a tração (RT) por compressão diametral

Ensaio realizado segundo a norma DNIT 136 (2010), com o propósito de representar o plano de ruptura idêntico ao plano de aplicação da carga, e tem por objetivo a determinação da resistência à tração de corpos de prova cilíndricos de misturas betuminosas (SALES, 2015).

#### 2.2.3.2 Módulo de Resiliência (MR)

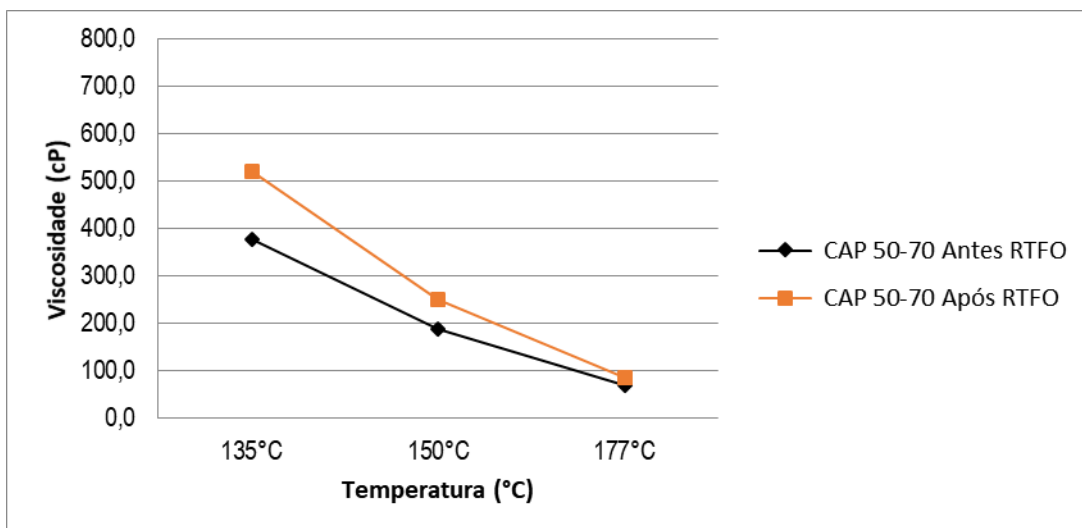
O ensaio do Módulo de Resiliência (MR) foi realizado utilizando a prensa UTM-25 seguindo o procedimento estabelecido pela NBR 16018/2011. O seu resultado é obtido com auxílio do software UTS0031.39 Indirect Tensile Modulus Test, que indica a relação entre a tensão de tração aplicada repetidamente no plano diametral vertical e a sua deformação recuperável correspondente à tensão aplicada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Viscosidade Rotacional

Na figura a seguir (Figura 7) estão descritos os resultados do ensaio de viscosidade rotacional antes do procedimento de envelhecimento (RTFO) e após a realização do ensaio RTFO, para o ligante puro.





**Figura 7:** Resultados do ensaio de Viscosidade Rotacional antes e após o RTFOT para o CAP puro.

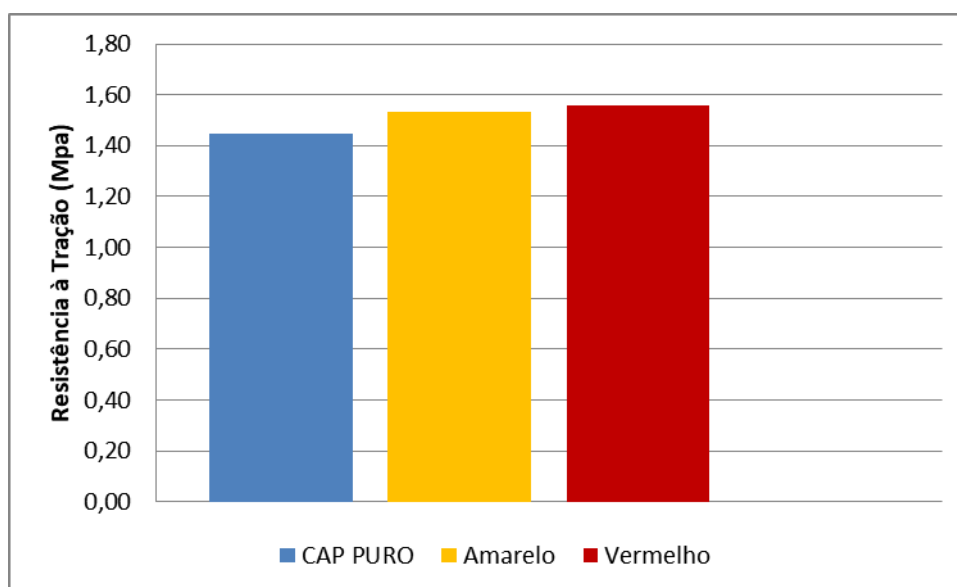
Foi possível observar um aumento expressivo da viscosidade em todas as temperaturas após a simulação de envelhecimento do CAP através do RTFO para o CAP puro.

### 3.2. Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT)

A Tabela 6 e a Figura 8 apresentam os resultados oriundos do ensaio de Resistência à Tração por compressão diametral para as misturas asfálticas com e sem o óxido de ferro (nas cores amarelo e vermelho). Foram utilizados na realização do ensaio três corpos de prova para cada cor tanto com incorporação do corante, como para o CAP puro.

**Tabela 6:** Resultados do ensaio de RT

	CAP PURO	Corante Amarelo	Corante Vermelho
Amostras	1,445	1,534	1,558



**Figura 8:** Resultados do ensaio de RT

Segundo a norma do DNIT 031/2010 – ME, o valor médio da RT deve ser de no mínimo 0,65MPa (25°C), em misturas asfálticas utilizadas em camadas de rolamento. Observou-se que todas as misturas estão de acordo com o especificado pela norma.

As misturas com corante apresentaram maiores resultados deste parâmetro, tendo ainda uma diferença pouco significativa entre as cores, ou seja, a cor vermelha ainda obteve um aumento maior da resistência à tração com relação a cor amarela.

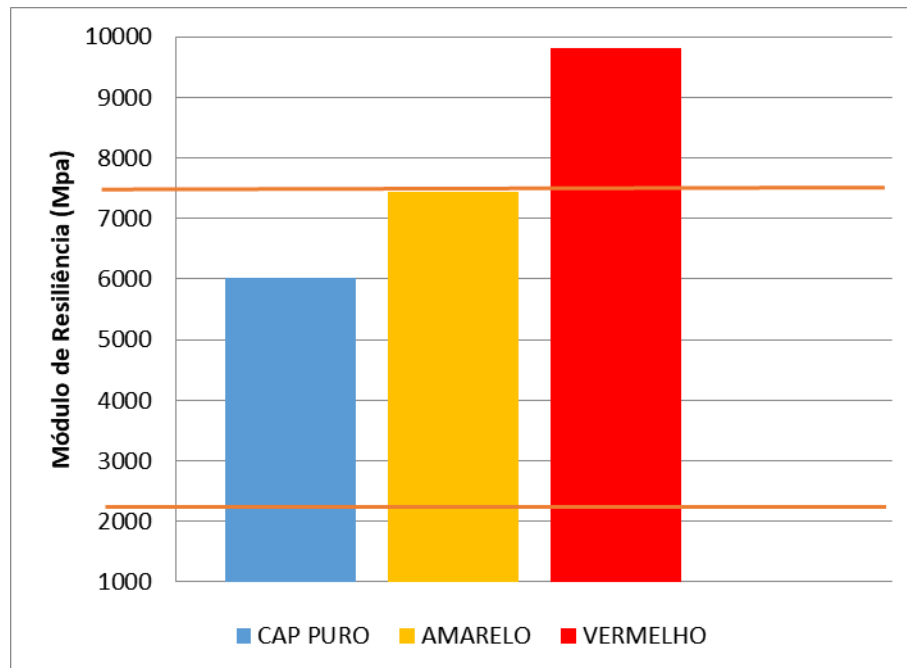
Isso pode se dar pelo fato de que a incorporação do pigmento tido como um material fino evidencia um enrijecimento da mistura asfáltica, assim como um endurecimento do ligante asfáltico fazendo com que haja uma melhoria da adesividade entre o ligante e o agregado granítico promovida pelo uso de pigmentos com carga elétrica positiva.

### 3.2. Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral (RT)

Na Tabela 7 e na Figura 9 são apresentados os resultados oriundos dos ensaios de MR médios realizados em três corpos de provas de cada cor analisada.

**Tabela 7:** Resultados do ensaio de MR

	CAP PURO	Corante Amarelo	Corante Vermelho
Amostras	6016	7438	9820



**Figura 9:** Resultados do ensaio de MR

A mistura com CAP puro foi a que obteve o menor valor de MR. Sendo ainda a mistura com a incorporação do corante vermelho com valores mais significativos em comparação a mistura com o corante de cor amarelo.

Esse fenômeno pode ser explicado pelo mesmo fato ocorrido no ensaio anterior, o aumento da consistência do ligante e melhora da adesividade entre o ligante e o agregado granítico.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ideia da utilização do pigmento de óxido de ferro as misturas asfálticas é fazer com que se potencialize a redução da emissão de gases nocivos ao meio ambiente, ou seja utilizar de novas tecnologias e materiais que possam contribuir de alguma forma para a resolução dessas questões ambientais. Os principais motivos para o uso cada vez mais recorrente e acentuado dos corantes utilizados nas misturas asfálticas são de caráter econômico e socioambientais. Portanto, pretende-se com incorporação desses corantes, mitigar o fenômeno das ilhas de calor urbano garantindo reduzir a emissão de gases formadores do efeito estufa e dos diversos danos provocados ao meio ambiente. A respeito do Ensaio de Resistência à Tração Diametral foi observado que todas as misturas asfálticas estudadas (com ou sem adição do corante) apresentaram-se dentro do especificado na norma, apesar que a adição do óxido de ferro, ocasionou um aumento da resistência a tração das misturas asfálticas.

Em relação aos resultados do ensaio de Módulo de Resiliência (MR), observou-se que as misturas que apresentaram maior MR foram as com a incorporação do óxido de ferro, com valor ainda mais significativo para a mistura com adição do pigmento vermelho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2000, Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento Método do anel e bola. Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT NBR 6560.
- ABNT NBR 15184 (2004) – Materiais Betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando viscosímetro rotacional, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo – SP.
- CARPIO, Joe Arnaldo Villena del. USO DE PIGMENTOS DE ÓXIDOS DE METAIS MISTOS NA PAVIMENTAÇÃO PARA A MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR URBANA. 2014. 437 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil – Ppgec da Universidade Federal de Santa Catarina., Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 2014.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT – ME 155/2010 - Material asfáltico - determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - ME 095/2006 - Cimento asfáltico de petróleo – Especificação do material. Rio de Janeiro, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE DNIT - ME 031/2006 – Pavimentos Flexíveis Cimento Asfáltico – Especificação do material. Rio de Janeiro, 2006.
- MIRZAEI, P. A., HAGHIGHAT, F. (2010) Approaches to study Urban Heat Island Abilities and limitations. Building and Environment, 45, 2192-2201.
- ROSENFELD, A. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. Energy and Buildings, London, v.28, 1998, p.51-62.
- SALES, Patrícia de Macedo. AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DE MISTURAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS COM ADIÇÃO DO CCBt. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

---

Tássila Ramos Porto (tassilaporto@gmail.com)

Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena (lucenafb@uol.com.br)

Thamires Dantas Guerra (thamires\_guerra@hotmail.com)

Thalita Maria Ramos Porto (thalita\_porto8@hotmail.com)

Renato Lima da Silva (rlimaa066@gmail.com)

Christian Rafael Ziegler (crziegler1@hotmail.com)

LEP - Laboratório de Engenharia de Pavimentos, Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande

Av. Aprígio Veloso, 882 - Bloco CT - CEP 58.429-140 - Bairro Universitário - Campina Grande - PB - Brasil