



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

INFLUÊNCIA DO TEOR DE LIGANTE ASFÁLTICO NA FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Tales Ribeiro Santos¹; Camila Antunes Martins²; Luisa Carla de Alencar Menezes²; Jefferson Soares Santos¹; Yury de Moraes Natal Daniel¹; Ciro José de Azevedo Júnior¹; Filipe Almeida Corrêa do Nascimento¹; Marcelo de Miranda Reis¹ & Antônio Carlos Rodrigues Guimarães¹.

RESUMO

Estudos têm revelado que a concentração densa e compacta de construções nos centros urbanos favorece o surgimento de fenômenos climáticos conhecidos como Ilhas de Calor. Essas alterações climáticas são causadas pela baixa permeabilidade do solo e pela escassez de cobertura vegetal presentes nos grandes centros urbanos. Diante deste cenário o presente estudo teve como objetivo avaliar a contribuição do teor CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) presente em duas misturas asfálticas para o efeito de Ilhas de Calor. Para tal, a taxa de absorção de calor e a temperatura máxima registrada em um intervalo de 3 minutos foram analisados em corpos de prova com agregados constituídos por brita 0 e 1 e pó de pedra, e ligantes asfálticos (CAP) de mesma composição, porém com diferentes teores (4% e 5%). Os resultados obtidos mostraram que embora as amostras com teor de 4% de ligante asfáltico absorverem calor de forma mais rápida, suas temperaturas ao final dos testes foram inferiores àquelas registradas para as amostras com 5% de ligante asfáltico. Assim, os ensaios realizados no presente estudo indicam que a redução da concentração de ligante asfáltico empregados na pavimentação pode contribuir para a mitigação do fenômeno de Ilhas de Calor, uma vez que resulta em uma superfície menos propensa ao aquecimento excessivo.

PALAVRAS-CHAVE: Centros Urbanos; Pavimentação asfáltica; Dosagem de ligantes asfálticos; Variação de temperatura.

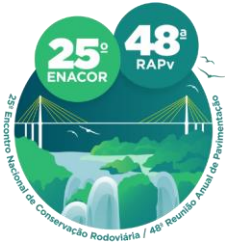
ABSTRACT

Studies show that the dense and compact concentration of buildings in urban centers favors the emergence of climatic phenomena known as Urban Heat Islands. These climate changes are caused by low soil permeability and a lack of vegetation coverage in large urban areas. Given this scenario, the present study aimed to assess the contribution of the Petroleum Asphalt Cement (PAC) content in two asphalt mixtures to the Urban Heat Island effect. To accomplish this, the heat absorption rate and maximum temperature recorded within a 3-minute interval were analyzed in specimens composed of aggregates consisting of crushed stone sizes 0 and 1, as well as stone dust, and asphalt binders (PAC) with the same composition but different concentrations (4% and 5%). The results obtained showed that although samples with a 4% asphalt binder content absorbed heat more rapidly, their temperatures at the end of the tests were lower than those recorded for samples with a 5% asphalt binder content. Thus, the tests conducted in this study indicate that reducing the concentration of asphalt binder used in pavement can contribute to mitigating the Urban Heat Island phenomenon, as it results in a surface less prone to excessive heating.

KEY WORDS: Urban Centers; Asphalt pavement; Dosage of asphalt binders; Temperature variation.

¹ Instituto Militar de Engenharia – Pós-Graduação em Engenharia de Transportes: Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha, Rio de Janeiro/RJ, tales.riba@ime.eb.br, jefferson.soares@ime.eb.br, yurv.moraes@ime.eb.br, filipe.nascimento@ime.eb.br, marceloreis@ime.eb.br, guimaraes@ime.eb.br, cirojunior01@gmail.com.

² Instituto Militar de Engenharia – Pós-Graduação em Engenharia de Transportes: Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha, Rio de Janeiro/RJ, camilaantunes@ime.eb.br, luisa.menezes@ime.eb.br.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

As cidades são caracterizadas por um grande número de estruturas impermeáveis e densamente compactadas, que absorvem e armazenam calor durante o dia. Esses materiais retêm o calor solar e liberam gradualmente durante a noite, impedindo que a cidade esfrie adequadamente. Além disso, o contínuo processo de substituição das superfícies naturais por materiais artificiais, também contribui para a geração de calor adicional nas áreas urbanas, destacando a pavimentação urbana.

No entanto, é de grande relevância a importância da pavimentação no transporte em uma sociedade, uma vez que é responsável pela movimentação de bens entre polos produtores e consumidores e, portanto, seu desempenho reflete de maneira significativa na competitividade de das empresas que dele dependem (CNT, 2022).

Embora a eficiência de um sistema de transporte esteja diretamente relacionada à qualidade da infraestrutura disponibilizada ao usuário, em projetos de pavimentação não há normativos que preveem a avaliação do conforto térmico – relacionado ao acréscimo da temperatura de uma determinada região em função da combinação de aumento da área impermeabilizada do solo, devido à pavimentação, e a supressão de vegetação natural (AMORIM, 2005 e FIALHO, 2012).

Em meio a este contexto, evidencia-se que investimentos em estudos que propiciem a melhoria da eficiência da malha pavimentada brasileira são fundamentais para o desenvolvimento do País, uma vez que podem contribuir para a construção de novos pavimentos que ofereçam uma superfície de rolamento eficiente e, ao mesmo tempo, sejam mais sustentáveis do ponto de vista ambiental.

De acordo com Amorim (2005), o aumento da temperatura do ar nas cidades em relação aos meios rurais e menos urbanizados são denominados Ilhas de Calor. Este fenômeno é mais expressivo nos grandes centros urbanos onde, comumente, as edificações formam um conjunto denso e compacto e há extensa malha pavimentada. Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar a contribuição do teor CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) presente em duas misturas asfálticas para o efeito de Ilhas de Calor. O presente trabalho tem como hipótese norteadora: é possível realizar a diferenciação das misturas asfálticas a partir de um sensor de baixo custo e, ainda, identificar aquela mais adequada – em função de sua absorção de calor.

PAVIMENTO RODOVIÁRIO

A estrutura do pavimento é dividida em camadas finitas e compactadas que são dimensionadas para receber e transmitir esforços, de modo que as pressões atuantes nas camadas inferiores sejam aliviadas. Este conceito é aplicado a pavimentos asfálticos flexíveis, porém um certo nível de cuidado deve ser tomado considerando outras tipologias de pavimento, como exemplo, os rígidos (BALBO, 2007).

De acordo com Bernucci *et al.* (2022), as camadas do pavimento são divididas em: revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. Estas são assentadas sobre o subleito, que é considerado a fundação de obras rodoviárias. As características das camadas e de seus materiais constituintes variam de acordo com as especificações dos projetos de forma a atender os esforços solicitados.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 1. Pavimento-tipo flexível (BERNUCCI *et al.*, 2022).

O subleito é a camada menos solicitada, portanto representa a camada de menor resistência da estrutura e o principal material constituinte é o solo natural, que varia de acordo com o local da obra. Já a base é a camada responsável por receber os esforços verticais e distribuir para as camadas subjacentes, podendo desempenhar um papel fundamental na drenagem superficial dos pavimentos.

No que se refere à sub-base, esta possui as mesmas funções da base, porém é indicada quando o dimensionamento determina uma camada muito mais espessa de base, inviabilizando técnica-economicamente a execução da obra. Por último, o revestimento asfáltico, que é a camada superficial do pavimento, é responsável por resistir aos desgastes promovidos pelos esforços e clima, bem como fornecer conforto e segurança aos usuários (MAGALHÃES, 2016).

Devido ao fato deste trabalho avaliar a influência da mistura asfáltica na absorção de calor e conseqüentemente o aumento da temperatura, será abordada somente a camada mais superficial dos pavimentos: o revestimento asfáltico. Portanto, a próxima seção se dedica em explicar melhor a composição desta camada de modo a fornecer um entendimento prévio sobre o assunto.

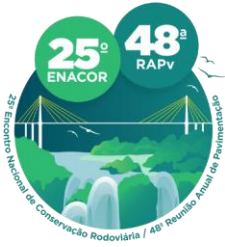
Revestimento Asfáltico

Convencionalmente no Brasil os pavimentos são constituídos por uma mistura de agregados com distintas granulometrias e ligantes asfálticos que, quando dosados corretamente, garantem ao pavimento adequada resistência à fadiga, trincamento térmico, estabilidade, durabilidade, entre outras características favoráveis à pavimentação (BERNUCCI *et al.* 2022)

No que diz respeito ao desempenho de pavimentos, Fengler (2021) afirma que há relação direta com a qualidade dos materiais selecionados para o dimensionamento das camadas e, também, para compor as misturas asfálticas. Os revestimentos asfálticos podem ser obtidos em usinas ou produzidos no próprio local da obra – quando empregados em tratamentos superficiais.

Os revestimentos asfálticos podem ser classificados de acordo com o tipo de ligante empregado na mistura. Ao se empregar o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), tem-se os denominados revestimentos usinados à quente e, adotando-se o EAP (Emulsão Asfáltica de Petróleo), se obtém o revestimento usinado frio (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Os ligantes asfálticos influenciam expressivamente o comportamento dos pavimentos flexíveis. Além de serem os responsáveis pela estabilidade estrutural da mistura, por meio da coesão dos agregados,



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



eles apresentam um comportamento viscoelástico, uma vez que se alteram em decorrência da variação de temperatura e das características dos carregamentos e, conseqüentemente, sofrem deterioração e envelhecimento - processos que alteram suas propriedades ao longo de sua vida útil e prejudicam seu desempenho em campo (FENGLER, 2021).

Os CAPs utilizados como ligantes na pavimentação flexível, apresentam um comportamento viscoso que, quando aplicados ao pavimento, promovem um maior conforto aos usuários devido à inexistência de juntas de dilatação – comum nos pavimentos rígidos que são construídos com Cimento Portland. Esta característica é fundamental para a maior usabilidade desses ligantes nas camadas de revestimentos das obras de pavimentação (SIMONATO *et al.*, 2018).

Ilhas de Calor

Apesar da expansão das cidades ser considerada um fator relevante para o progresso mundial moderno, diferente do retrocesso vinculado ao meio rural, ela causa a modificação do ambiente natural. Esta alteração, motivada principalmente pelo aumento populacional, impacta diretamente nos componentes ambientais necessários para a manutenção da vida humana (água, solo, ar), dando origem, por exemplo, ao fenômeno conhecido por Ilhas de Calor ou também por Núcleo de Calor (FIALHO, 2012).

A ocorrência deste fenômeno nos centros urbanos está relacionada com a grande massa de construções, normalmente edificações mais altas, que dificultam a circulação da corrente de ar e, também, de fatores como a poluição atmosférica e o grande volume de pavimentação nas vias. Este último fator, ao mesmo tempo em que é indispensável para o crescimento econômico e bem-estar da população, favorece o surgimento dessas anomalias climáticas, pois impermeabiliza o solo e a água, ao invés de penetrar na terra, escoar e não evapora, impossibilitando o resfriamento do ar (FERREIRA, 2021 e SCIENTIFIC AMERICAN, 2019).

De acordo com Silva (2000), existe uma diferença entre o balanço energético no meio urbano e no meio rural, mais precisamente na radiação de onda curta que é refletida pela atmosfera. Em síntese, esse parâmetro é maior nos centros urbanos do que no campo devido a maior concentração de poluentes no ar, o que faz com que a radiação solar direta que chega efetivamente ao *canopy layer* (nível que se estende desde o solo até ao telhado dos edifícios) seja menor.

Ainda segundo o autor, devido ao fato de as cidades possuírem uma maior absorção de radiação solar, a energia que é armazenada durante o dia é liberada no período noturno. Assim, o calor que é armazenado nas edificações e nas vias faz com que a radiação de onda comprida emitida para a atmosfera à noite seja maior na região urbana do que na rural, satisfazendo a lei de Stefan-Boltzman*.

A formação de ilhas de calor envolve variáveis que podem ou não serem controladas pelo ser humano no meio urbano, conforme ilustrado na Figura 2 (FIALHO, 2012). Comparando-se a temperatura dos centros urbanos, onde a influência de todas essas variáveis é mais expressiva, com áreas suburbanas e rurais, percebe-se que os maiores registros se concentram nos grandes centros.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

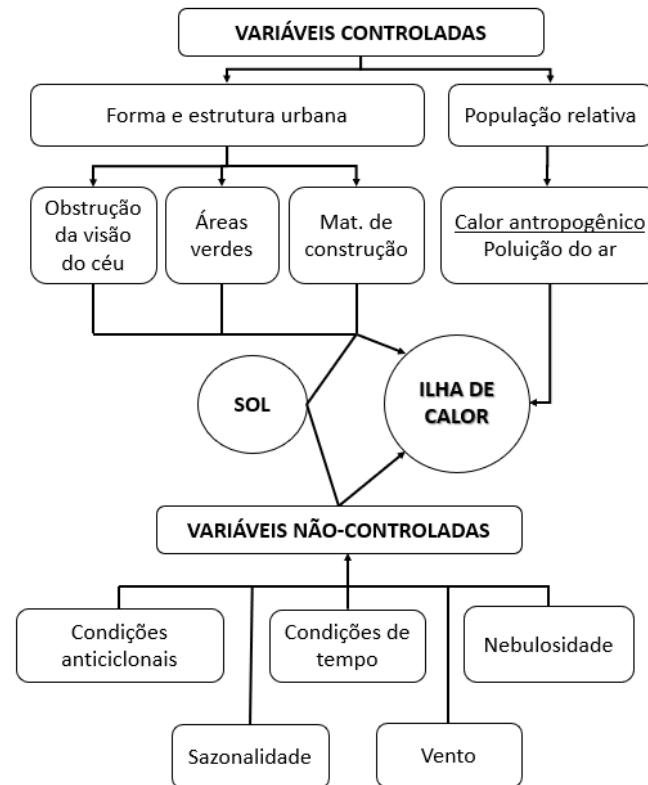


Figura 2. Variáveis responsáveis pela formação de ilhas de calor.

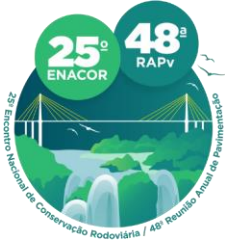
MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, dois corpos de prova cedidos pelo LabTec (Laboratório de Solos e Asfalto da Universidade Veiga de Almeida) foram analisados. A Tabela 01 apresenta as características dos corpos de prova.

Tabela 1 – Características dos corpos de provas estudados.

Corpo de Prova	Agregados	Concentração de CAP
Amostra A	Britas 0 e 1 / Pó de pedra	4%
Amostra B		5%

A temperatura foi medida em campo por meio de um sensor de baixo custo (DHT 11) acoplado ao topo de cada corpo de prova (Figura 3) e os testes foram realizados em dois dias, em dois horários distintos. No primeiro dia foram realizados os testes no horário de 10h e 12h e, no segundo foram realizados às 12h e às 16h. Devido à uma limitação técnica do sensor utilizado, os testes não puderam exceder 3 minutos, podendo danificar o mesmo caso o tempo fosse ultrapassado. A tabela 2 apresenta os resultados obtidos.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 2 – Parâmetros adotados para o ensaio.

Ensaio	Dia	Horário (h)	Temperatura ambiente (°C)
Ensaio 1	1	10	32
Ensaio 2	1	12	28
Ensaio 3	2	12	32
Ensaio 4	2	16	35

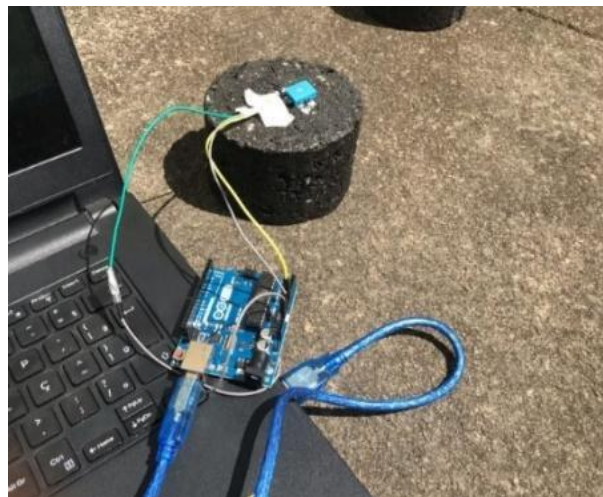


Figura 3 – Esquema de montagem dos corpos de prova para os testes.

Os dados referentes às temperaturas medidas em campo foram registrados de forma automática no *software* Excel, evitando assim, erros na hora da transcrição dos dados à planilha eletrônica. Após formatação dos dados, foram gerados os gráficos que auxiliaram a análise deste estudo.

RESULTADOS

Ao todo, foram realizados 4 testes, de 3 minutos cada, em diferentes horários de modo a se obter a influência de variadas temperaturas nos corpos de prova analisados. Os resultados obtidos podem ser observados nos gráficos ilustrados nas figuras 4 e 5.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

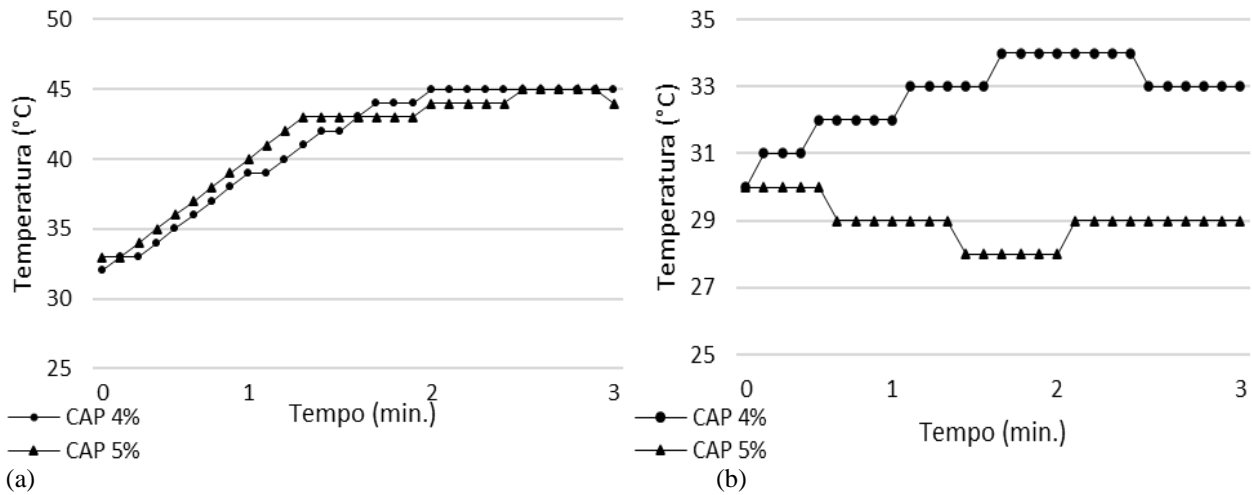


Figura 4 – Influência da temperatura x tempo (a) ensaio 1; (b) ensaio 2.

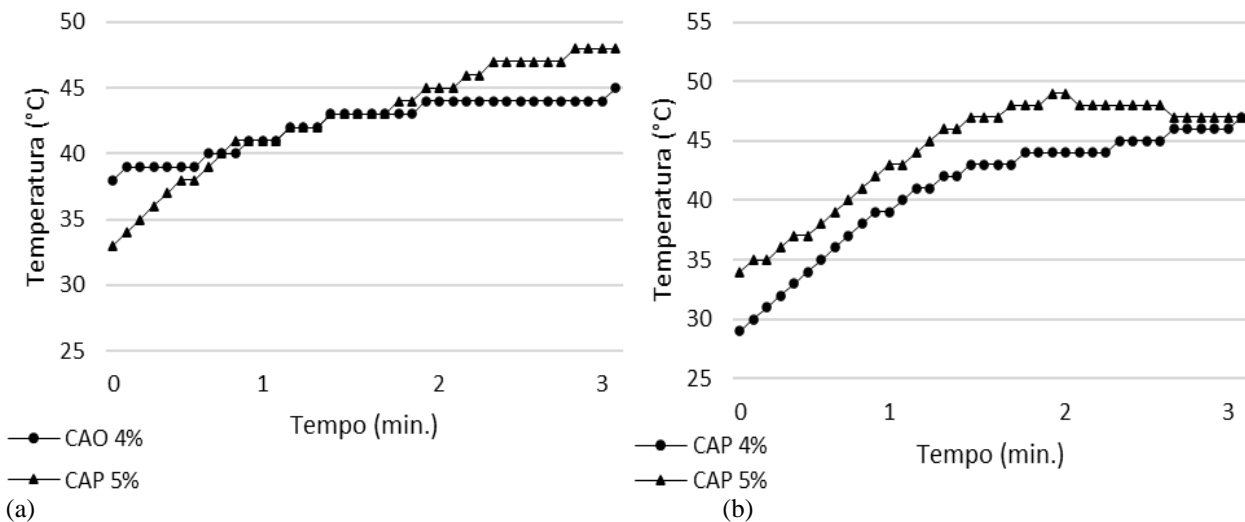


Figura 5 – Influência da temperatura x tempo (a) ensaio 3; (b) ensaio 4.

Diante dos resultados, destaca-se que o ensaio 2, realizado a 28°C, apresentou um decréscimo no armazenamento de temperatura. Tal fato, possivelmente foi observado devido à falhas no registro dos dados em virtude das limitações técnicas do aparelho.

Conforme pode ser observado na Tabela 3, a variação da temperatura na amostra com teor de 4% de CAP ocorre mais rapidamente que na amostra com 5% de CAP em todos os ensaios observados, com exceção do ensaio 3.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 3 – Comparação entre os resultados obtidos nos ensaios realizados para os minutos de ensaio.

Ensaio	Espaço de tempo (min)						Variação (° C)	
	1		2		3			
	Concentração de CAP (%)							
	4	5	4	5	4	5	4	5
1	39,0	40,7	45,0	44,0	45,0	44,0	6,0	3,3
2	32,3	29,0	34,0	28,7	33,0	29,0	0,7	0,0
3	41,0	41,0	44,0	45,0	45,0	48,0	4,0	7,0
4	39,7	43,0	44,0	48,7	47,0	47,0	7,3	4,0

Admitindo que o registro de temperatura é realizado de maneira constante pelo aparelho, ou seja, não apenas nos minutos específicos, mas sim nas frações de segundos, chegou-se aos resultados demonstrados na Tabela 4, que apresenta os parâmetros estatísticos das medições.

Tabela 4 – Parâmetros estatísticos para os valores encontrados nos ensaios.

Parâmetros	Ensaio							
	1		2		3		4	
	Concentração de CAP (%)							
	4	5	4	5	4	5	4	5
Média	41,07	41,31	32,79	28,96	42,18	42,74	40,95	44,26
Desvio padrão	4,48	3,91	1,10	0,64	2,05	4,19	5,09	4,69
Coefficiente de variação	0,11	0,10	0,03	0,02	0,05	0,1	0,12	0,11

Percebe-se que a média de temperatura registrada na amostra com teor de CAP igual a 5% foi superior à amostra com 4% de CAP em todos os ensaios, com exceção do ensaio 2, cujo valor encontrado foi superior para a amostra com 4% de CAP. O coeficiente de variação (CV) foi determinado para verificar a variação dos dados em relação à média das temperaturas registradas, sendo que, quanto menor o CV, mais homogêneo é o conjunto de dados analisados e consequentemente, ocorrência de menos variação das medições.

Por meio da Tabela 4 verifica-se que os CV's calculados para a amostra com 5% de CAP são menores quando comparados com o mesmo parâmetro da amostra com 4% de CAP, portanto, neste trabalho, nota-se que o pavimento confeccionado com esta dosagem de ligante armazenou por mais tempo as maiores temperaturas sem ocorrer uma variação grande de temperatura.

Analisando as máximas temperaturas medidas nos ensaios, pode-se estimar se variação de temperatura foi grande ou não dentro do conjunto de medições observados por meio dos desvios padrão padronizados (SAKAMURA, 2021). Aplicando o desvio padrão padronizado (DVP) nas amostras de maior temperatura registradas nos ensaios, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 5 – Desvio Padrão Padronizado (DPP) para os valores encontrados nos ensaios.

	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 4	
	CAP 4	CAP 5	CAP 4	CAP 5	CAP 4	CAP 5	CAP 4	CAP 5
DVP	0,878	0,688	0,195	0,056	1,373	1,256	1,188	0,584

É possível observar que em todos os casos, o DVP das amostras com 4% de CAP foram superiores ao das amostras com 5% de CAP, evidenciando que o teor de 4% do ligante resulta em uma variação de temperatura maior do que o teor de 5%. No entanto, isso não implica necessariamente que os pavimentos com 4% de CAP teriam as temperaturas mais elevadas em comparação com aqueles com 5% de CAP. Em campo, isso poderia indicar que os pavimentos com 4% de CAP apresentariam flutuações de temperatura mais amplas em comparação com os pavimentos com 5% de CAP, mas não necessariamente registrariam as temperaturas máximas mais altas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos gráficos, com exceção do ensaio 2, as duas amostras tenderam ao armazenamento crescente de temperatura, apesar das diferentes temperaturas iniciais registradas pelo aparelho. Observa-se que as amostras com teor de CAP de 4% apresentaram uma velocidade de absorção de calor maior, mas com temperaturas armazenadas menores em comparação com a amostra com teor de CAP de 5%, que, embora demore mais para reter calor, registra temperaturas mais elevadas.

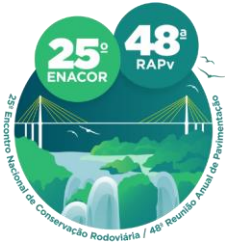
Ao analisar os dados médios, constatou-se que as maiores temperaturas registradas foram na amostra com 5% de CAP, que apresentou um acréscimo de aproximadamente 7% em relação à amostra com 4% de CAP no ensaio 4. Entretanto, não é possível afirmar que há diferença estatisticamente significativa nas médias observadas. Isso sugere que novos estudos devem ser realizados com a inserção de misturas com percentuais de ligantes diferentes e maior número de amostras.

Em relação à variação de temperatura, verificou-se que as amostras com 4% de CAP apresentaram uma variação maior do que as amostras com 5% de CAP quando comparadas as variações internas de temperatura de cada conjunto. Portanto, pavimentos com teores de ligantes de 4% tenderiam a ter uma variação de temperatura maior do que pavimentos com a mesma quantidade de ligante com teor de 5%, que mostraram uma variação de temperatura absorvida menor.

Em resumo, com base nos dados apresentados, a opção mais indicada seria adotar o teor de 4% de ligante, pois, embora ele absorva calor mais rapidamente, suas temperaturas ao final dos testes foram menores do que as registradas para a amostra com 5% de CAP. No entanto, devido às limitações do sensor e aos testes de curta duração de 3 minutos, recomenda-se a utilização de um sensor com capacidade de medição para realizar medições em períodos de tempo mais longos, a fim de verificar a consistência dos dados apresentados neste estudo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo suporte fornecido para a realização do presente trabalho.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, M. C. C. T. Ilhas de calor em Birigui/SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], v. 1, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25234>.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2022
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Boletim Unificado CNT agosto de 2022**. Brasília: CNT, 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 25 de mai. de 2023.
- FENGLER, R. Z. **Caracterização de ligantes e misturas asfálticas modificados com a adição de Trinidad Lake Asphalt**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/602-msc-pt-2018/9013-ricardo-zardin-fengler>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- FERREIRA, B. C. Ilhas de calor e conforto térmico na cidade de Salvador (BA). **Revista Textura**, [s. l.], v. 14, ed. 2, p. 74-94, 2021. DOI: https://doi.org/10.22479/texturav14n2p74_94.
- FIALHO, E. Ilha de calor: Reflexões acerca de um conceito. Artigo, **Revista ACTA Geográfica**, 2012. DOI: 10.5654/actageo2012.0002.0004. Universidade Federal de Viçosa.
- MORAES, G. H. O. **Análise de alternativas de dimensionamento de pavimento asfáltico para uma rodovia de alto volume de tráfego**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19597>. Acesso em: 26 jun. 2021.
- MAGALHÃES, E. S. **Alternativa de projeto de pavimento para o corredor de ônibus da avenida João Naves de Ávila**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil da UFU, Uberlândia, 2016.
- SIMONATO, L.; JUNIOR, C. A. P. S.; FONTENELE, H. B. O efeito da alteração do ligante asfáltico no desempenho de pavimentos flexíveis. Universidade Estadual de Londrina, **Revista de engenharia Civil**, 2018.
- SCIENTIFIC AMERICAN. “Ilhas de calor urbano significam que aquecimento será pior nas cidades”. **E&E NEWS CLIMA**, 2019.
- SILVA, J. Á. M. P. **A ilha de calor urbano – Exemplos de Abrantes e tomar**. Trabalho de licenciatura, Universidade Nova Lisboa. Lisboa, pág. 10, 2000.
- SHIKAMURA, S. **Bioestatística**. Curitiba, PR: UFPR, 2016. E-book (98p.). Disponível em: <http://www.leg.ufpr.br/~silvia/CE001/ce001.pdf>. Acesso em: 30. mar. 2023.

* Lei de Stefan-Boltzman relaciona a quantidade total de energia radiante emitida por um objeto com sua temperatura absoluta, estabelecendo que a taxa de emissão de energia é proporcional à quarta potência da temperatura.