

EFEITO DA CONDIÇÃO CLIMÁTICA NA TEMPERATURA DE PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO ESPESSO

Thais Patrício Souza
Gustavo Garcia Otto
Adosindro Joaquim de Almeida
Rafael Aleixo de Souza
Flavio De Mori
Amir Mattar Valente

Universidade Federal de Santa Catarina
Laboratório de Transporte e Logística

RESUMO

Este artigo tem por objetivo estudar o efeito da condição climática na temperatura de pavimentos de concreto asfáltico espesso, através da análise da relação entre a temperatura do pavimento e as variáveis climáticas temperatura do ar, umidade e radiação solar. O estudo foi realizado com a instalação de sensores de temperatura tipo K no pavimento de concreto asfáltico espesso da estação de controle em pista do Posto Integrado Automatizado de Fiscalização (PIAF) em Araranguá/SC. Constatou-se que todas as variáveis analisadas influenciam a temperatura do pavimento, porém a influência não é linear e varia tanto com o tipo de material da camada quanto com a profundidade, além disso, notou-se que ao longo do dia é possível dividir o comportamento do pavimento em um ciclo de aquecimento e um ciclo de resfriamento e assim traças linhas de influência que relacionam a temperatura do ar com a temperatura do pavimento em diferentes camadas.

Palavras chaves: Pavimento Asfáltico, Temperatura, Variáveis Climáticas.

ABSTRACT

This article aims to understand the effect of climatic conditions on the temperature of thick asphaltic pavements, through the analysis of the relationship between pavement temperature and climatic variables like air temperature, moisture, and solar radiation. The study was carried out with the installation of K type temperature sensors on the thick asphalt concrete pavement of the automated Integrated Inspection Station (PIAF) in Araranguá / SC. The authors verified that all the variables analyzed influence the pavement temperature, but the influence is not linear and several with the layer material as well as with the depth, besides, it was observed that throughout the day it is possible to divide the pavement behavior in a heating cycle and a cooling cycle and thus traces lines of influence that relate the air temperature to the pavement temperature in different layers.

Keywords: Asphalt pavements, Temperature, Climatic Factors.

1. INTRODUÇÃO

O pavimento de estrada é uma estrutura constituída de várias camadas, compostas de diferentes materiais. Para pavimentos asfálticos, a camada de revestimento é feita, predominantemente, de materiais betuminosos. Esses materiais são fortemente influenciados pelas variáveis climáticas, entre elas destaca-se a temperatura, objeto desse artigo, que por sua vez, induz à variação de comportamento mecânico e viscoelástico das misturas asfálticas. Segundo os autores Yoder e Witczak (1975), Hornych et al. (2013), Quintero (2016) e Almeida et al. (2018), a temperatura é um fator que influência diretamente na rigidez e na resistência à fadiga do pavimento, ela afeta negativamente e acelera a deterioração do revestimento asfáltico na estrutura do pavimento, induzindo a ocorrência de defeitos devido as deformações de flexão e compressão nos materiais da estrutura do pavimento.

Para isso, este trabalho objetiva apresentar a relação de temperatura ambiente e a temperatura no pavimento de concreto asfáltico espesso. Este estudo está inserido no contexto da construção da Estação de Controle em Pista (ECP), uma das unidades do Posto Integrado Automatizado de Fiscalização (PIAF), que é o novo modelo de pesagem de veículos de carga e de passageiros no país, em substituição aos antigos Postos de Pesagem Veicular (PPVs). Seu modelo baseia-

se na utilização de sistemas WIM (Weight in Motion), ou seja, de pesagem em movimento na pista.

Neste sentido foi construído na ECP uma estrutura de pavimento de concreto asfáltico espesso, de 120 metros de comprimento e 47 centímetros de espessura de misturas asfálticas, na perspectiva de garantir a funcionalidade do sistema WIM ao longo da sua vida útil. Na ECP são instalados diversos equipamentos, os quais devem fazer a medida do peso por eixo e peso bruto total do veículo e indicar se o mesmo deve, ou não, entrar no posto de pesagem.

Para que esses sistemas funcionem é importante que se conheça o comportamento do pavimento, em diversas condições climáticas, e como este afeta os equipamentos, com objetivo de calibrar o sistema de forma que haja precisão nas medições de peso dos veículos, neste sentido foram instalados sensores de temperatura, de pressão e de deformações no pavimento, em diferentes camadas.

Diante disso, é essencial, não só para os PIAFs, mas para todas as rodovias pavimentadas, levantar os fatores de efeitos e de influência críticos a temperatura no pavimento de estradas.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO DE ESTUDO

2.1. Pista experimental do PIAF

A área de estudo foi a pista piloto do PIAF que, como mostra a Figura 1, está localizada no município de Araranguá, sul do estado de Santa Catarina.

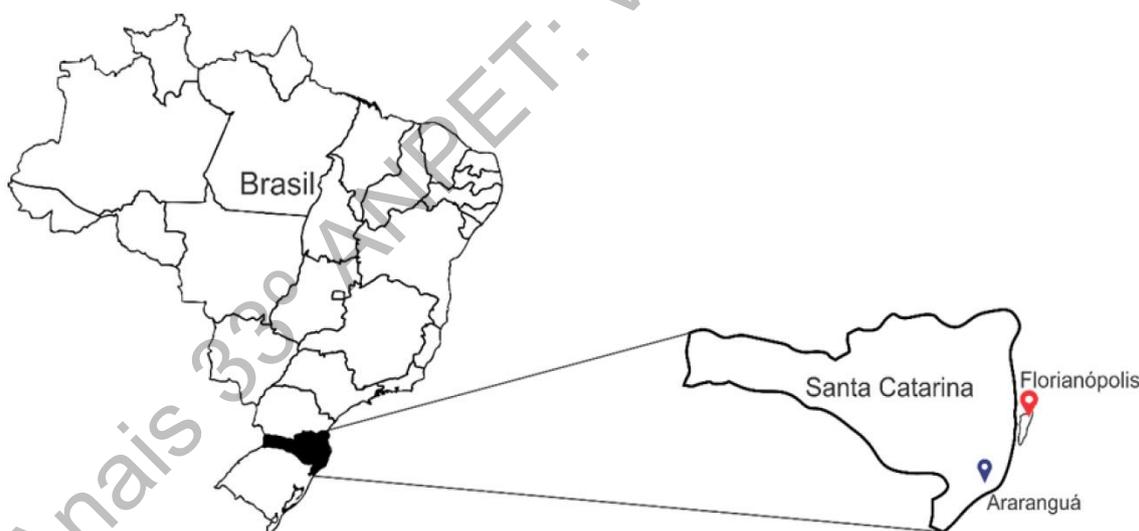


Figura 1: Localização da área de estudo

O PIAF está situado na BR 101 (km 418) no sentido Araranguá/Divisa SC-RS. A análise foi realizada no Pavimento de Concreto Asfáltico Espesso (PCAE) da Estação de Controle em Pista.

2.2. Clima

O clima do município de Araranguá, local onde está instalado o PIAF, conta com um verão curto e opressivo, com temperaturas máximas médias de 29°C, e um inverno curto e ameno,

com temperaturas mínimas médias de 11°C. Chove significativamente durante o todo o ano, a pluviosidade média é de 1300 mm/ano, e o céu é normalmente encoberto por nuvens.

Os dados climáticos como temperatura do ar, radiação, umidade e pluviosidade foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através dos dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática A867 que fica na cidade de Araranguá.

A Figura 2 apresenta o gráfico de temperatura da estação automática A867 para o ano de 2019.

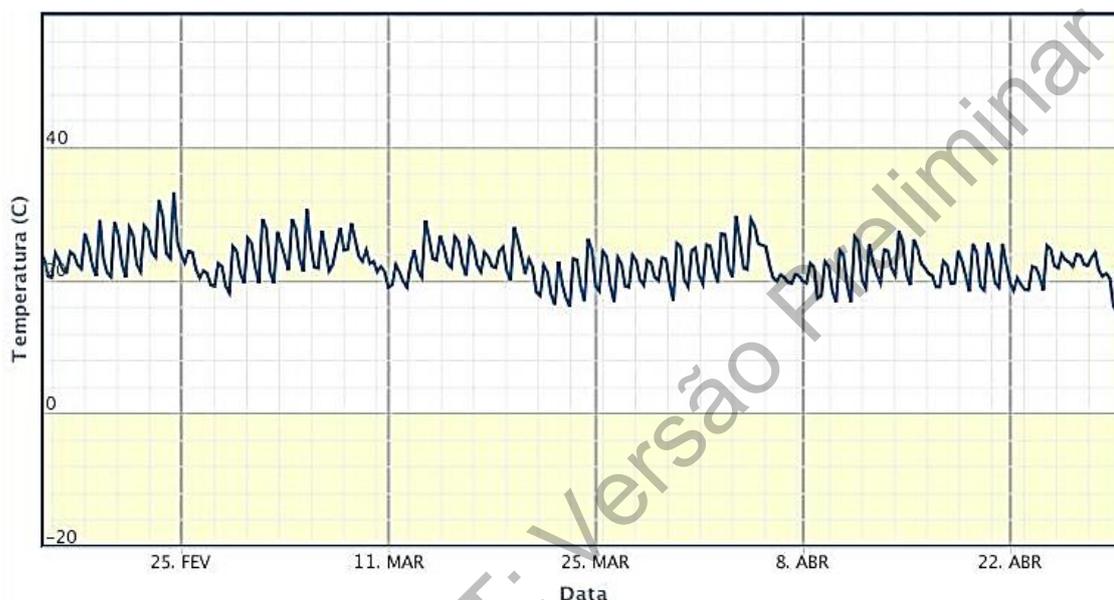


Figura 2: Dados de Temperatura da Estação A867 de Araranguá (BRASIL, 2019)

Nota-se que não há uma grande variação térmica, as temperaturas permanecem entre 14°C e 33°C.

O gráfico da radiação, em kJ/m^2 , medida durante o ano de 2019 é exibido na Figura 3.

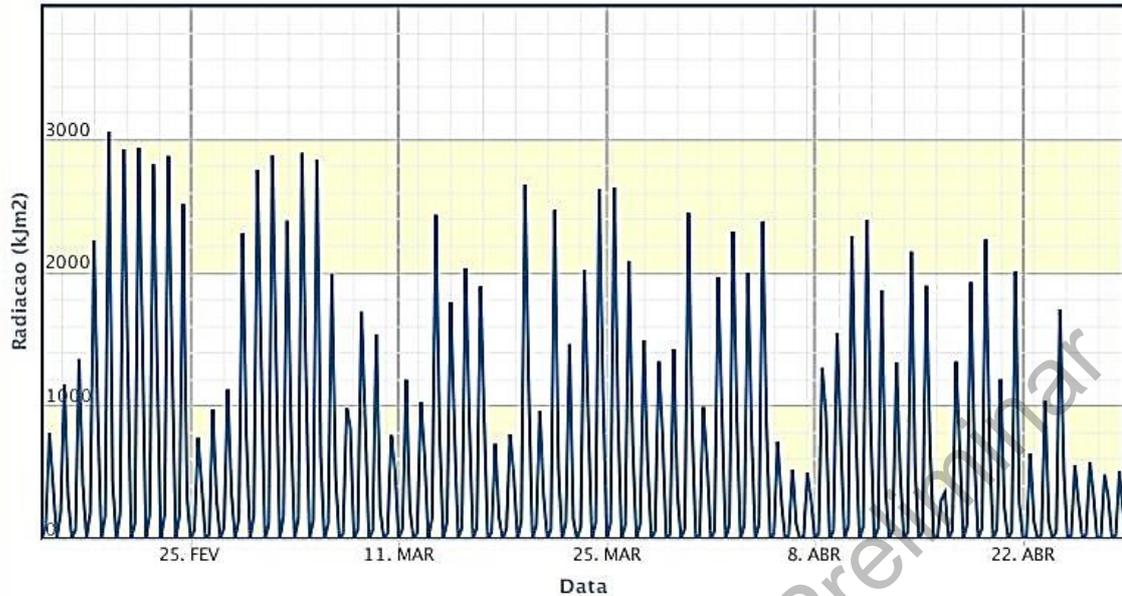


Figura 3: Dados de Radiação da Estação A867 de Araranguá (BRASIL, 2019)

A umidade medida durante o ano de 2019 é apresentada no gráfico da Figura 4. Observa-se que no município de Araranguá a umidade do ar normalmente está acima de 60%.

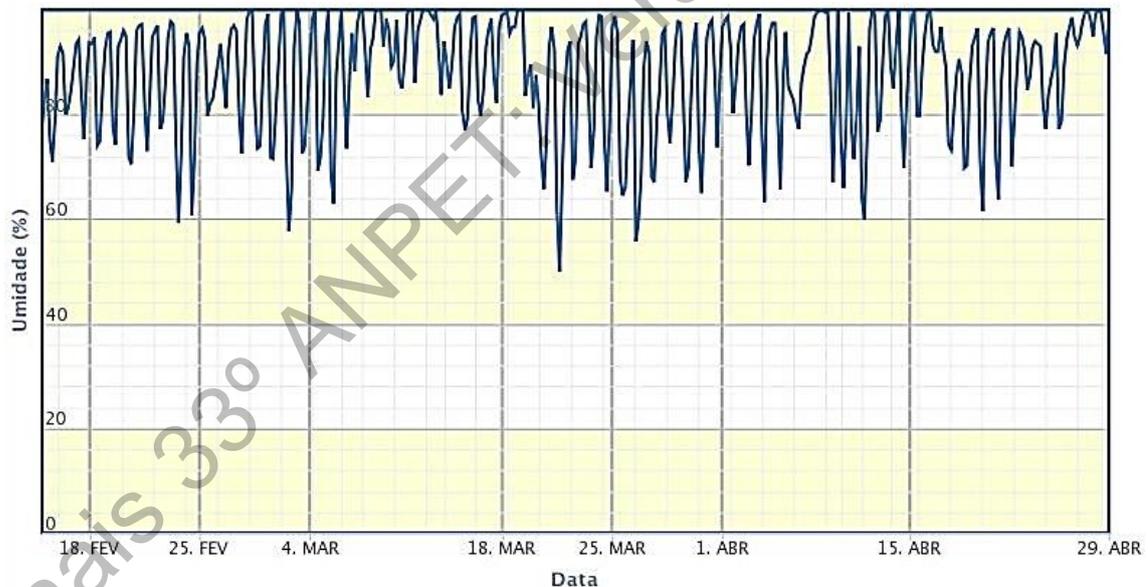


Figura 4: Dados de Umidade da Estação A867 de Araranguá (BRASIL, 2019)

Os dados foram coletados para o primeiro semestre de 2019, e compatibilizados com os períodos de monitoramento no PCAE.

2.3. Sensores de temperatura no pavimento

As temperaturas do pavimento foram obtidas através dos dados de sensores termopares do Tipo K instalados na pista experimental do PIAF. Na Estação de Controle em Pista (ECP) de Pavimento de Concreto Asfáltico Espesso (PACAE) há seis sensores de temperatura instalados em diversas profundidades e em diferentes camadas do pavimento: em 3 cm na camada de rolamento; em 6 cm entre camada de rolamento e camada intermediária; em 16 cm entre camada

intermediária e base tratada com asfalto; em 26 cm entre a base tratada com asfalto; em 36 cm na base tratada com asfalto; em 44 cm na base tratada com asfalto.

A Figura 5 ilustra a planta da localização dos sensores de temperatura na ECP.

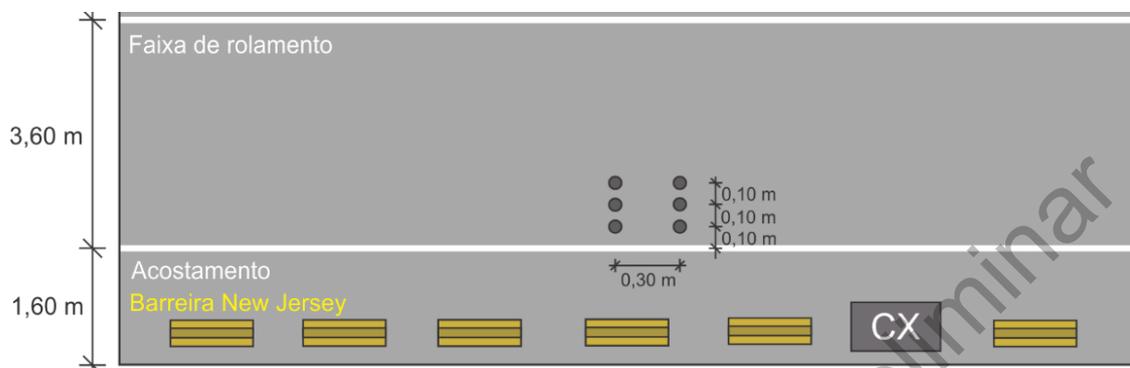


Figura 5: Localização dos sensores de temperatura em planta

A estrutura do PCAE, bem como a profundidade de instalação dos sensores usados para obtenção de dados de temperatura são apresentados na Figura 6.

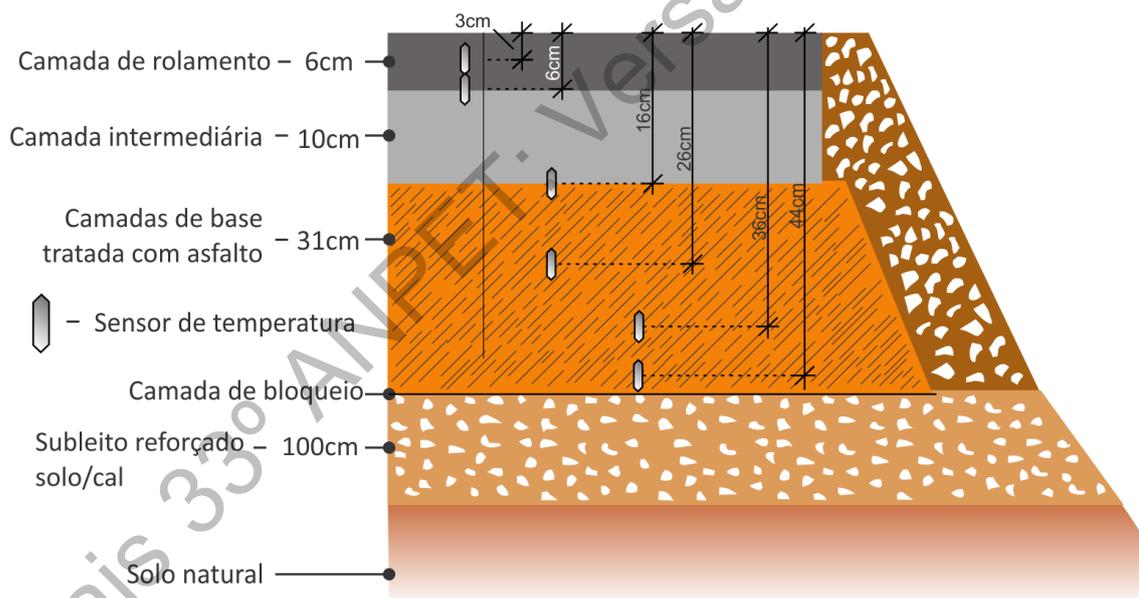


Figura 6: Estrutura do PCAE e profundidade dos sensores de temperatura

No PCAE o subleito foi estabilizado com cal, em torno de 5% de volume total de solo, alcançando um módulo próximo a 120 Mpa. Nas camadas seguintes foi utilizado ligante asfáltico do tipo FLEXPAVE 60/85, sendo que na camada de base granular, empregou-se 4% de ligante, na camada intermediária 5% e na camada de rolamento 4,7%. Além disso, a granulometria utilizada foi a mesma e encaixa na faixa C do DNIT.

Os dados dos sensores instalados no pavimento foram coletados do período de 15 de fevereiro de 2019 a 29 de abril de 2019.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Temperatura do pavimento em relação a profundidade

Uma das maneiras de se analisar o comportamento do pavimento é através do gradiente térmico, que é uma grandeza utilizada para designar a variação de temperatura em relação a altitude (ou profundidade). A Figura 7 traz este dado apresentando a temperatura na estrutura, em diferentes profundidades do pavimento e em diversas horas do dia.

Percebeu-se que nos horários de maior radiação, 8h00, 12h00 e 16h00, a superfície do pavimento é mais quente do que o fundo, já no período noturno, horários nos quais a radiação solar diminui, 20h00, 00h00 e 4h00, a superfície é mais fria do que a parte inferior.

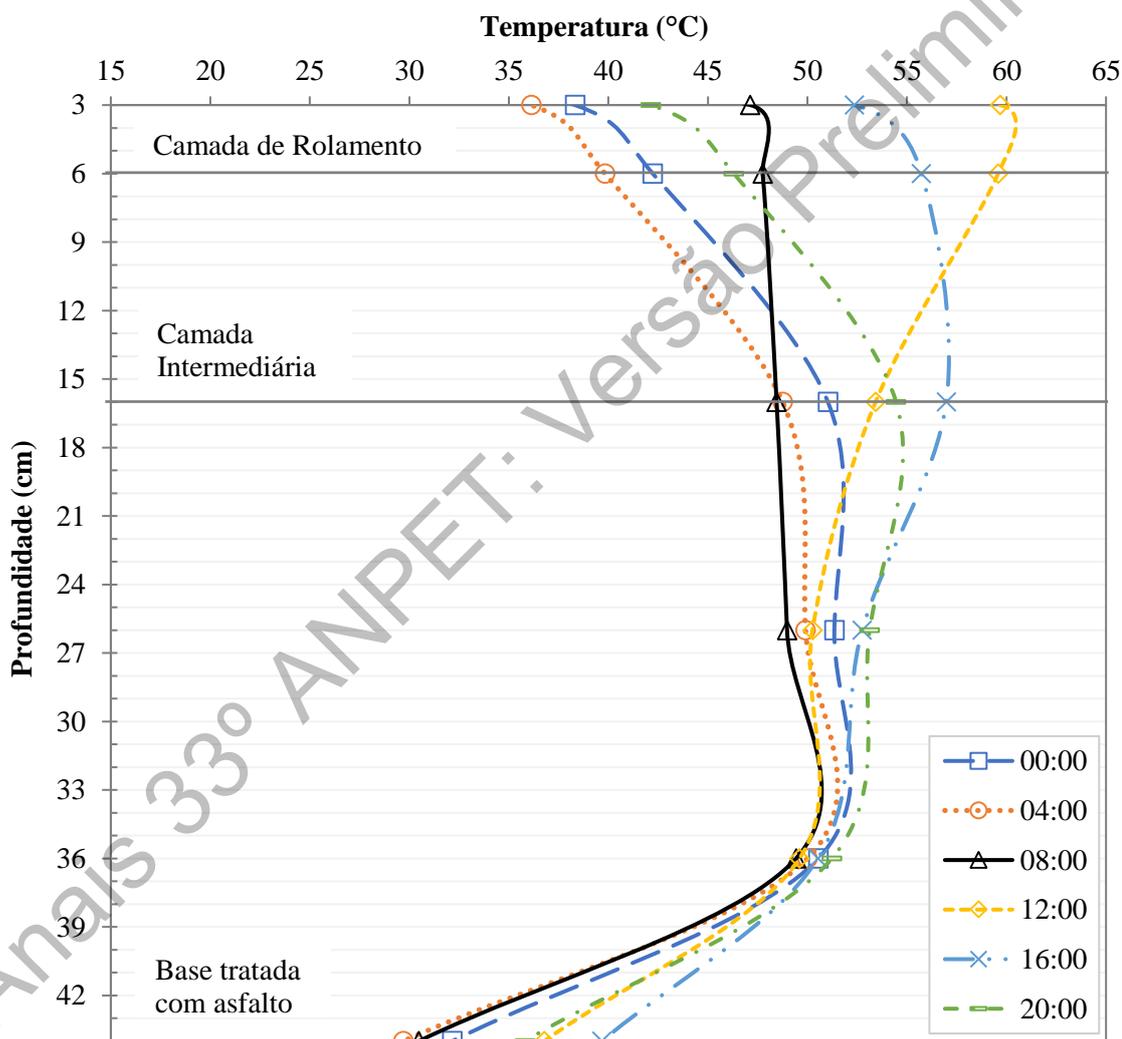


Figura 7: Relação entre temperatura e profundidade em diferentes horas do dia

Observou-se também que o gráfico da Figura 7 confirma a constatação feita por Zheng et al. (2017) de que há maiores flutuações diárias de temperatura na superfície superior do pavimento do que na parte inferior, é possível verificar que a medida de temperatura na camada de 3 cm teve uma variação de mais de 20°C, já a temperatura medida na camada de 36 cm teve uma variação menor que 2°C. Porém, notou-se que, apesar da temperatura reduzir, a variação

térmica aumenta na camada de 44 cm, provavelmente devido a sua proximidade com o solo que é um material mais suscetível a essas variações.

3.2. Fatores climáticos e a temperatura do pavimento

A variação entre a temperatura do pavimento, a temperatura do ar e a radiação, é mostrada na Figura 8. Evidentemente as variáveis climáticas, sendo elas radiação e temperatura do ar, têm uma forte relação com a temperatura no pavimento em todas as diferentes camadas, verificou-se que a temperatura do ar tem uma relação de proporcionalidade com as temperaturas do pavimento, porém com um efeito menos acentuado nos sensores situados na parte central da camada de concreto asfáltico (26 cm e 36 cm).

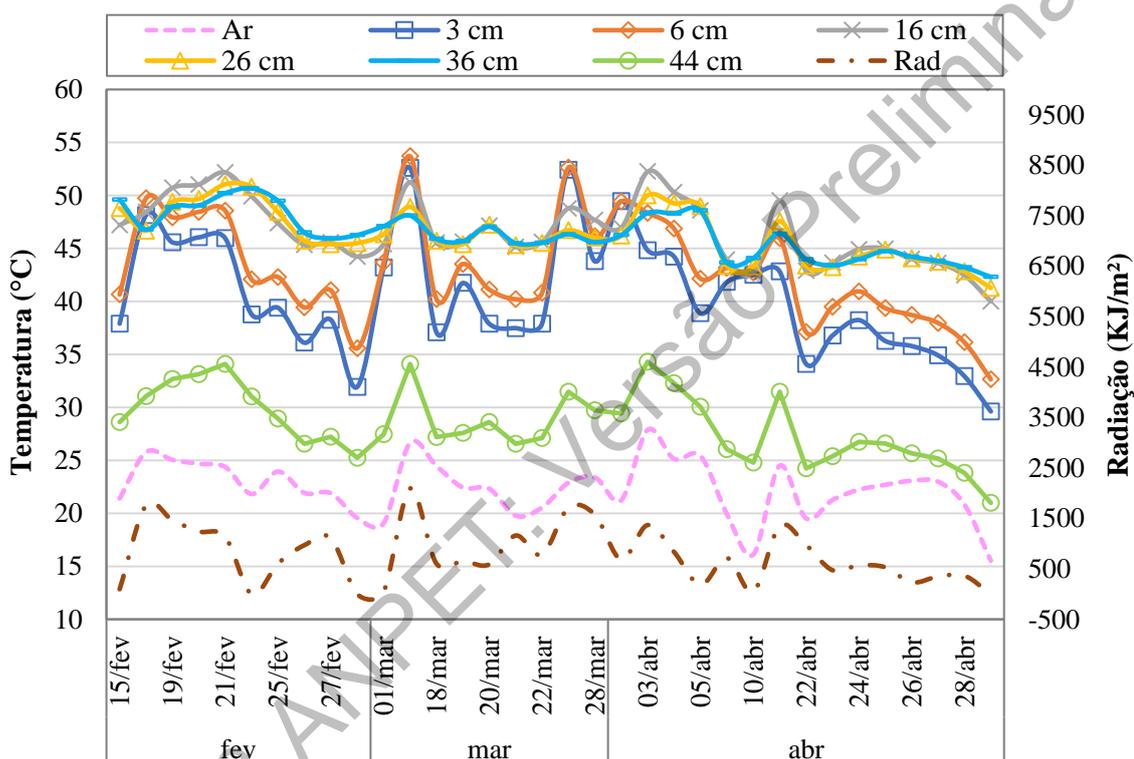


Figura 8: Temperatura média diária em diferentes profundidades do PCAE em comparação com a temperatura ambiente e a radiação

A Figura 9 apresenta, além da temperatura média diária do ambiente, a variação de umidade.

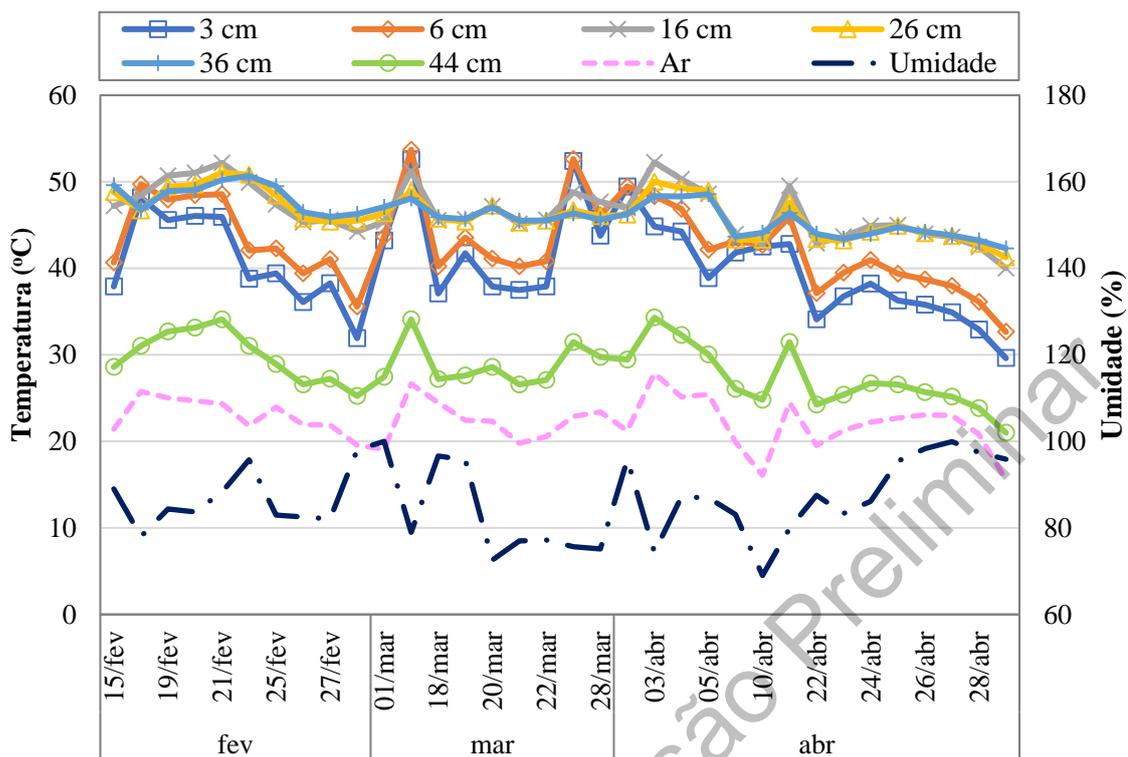


Figura 9: Temperatura em diferentes profundidades do PCAE em comparação com a temperatura ambiente e a umidade do ar

Observou-se que a umidade tem uma correlação inversamente proporcional com as temperaturas do pavimento em diferentes profundidades, sendo que as temperaturas mais superficiais, 3 cm e 6 cm, e a temperatura em 44 cm são mais afetadas pela variação de umidade. Isso se dá na camada de 44 cm devido a sua proximidade ao reforço do subleito que é constituído por solo-cal, e nas camadas superficiais devido a sua maior proximidade com o ambiente.

3.3. Ciclo diário de aquecimento e resfriamento

A temperatura em diferentes profundidades do PCAE durante um dia de mês de fevereiro é mostrada na Figura 10. Constatou-se que, para o local e o pavimento estudados, a temperatura aumenta do meio da manhã até aproximadamente 15 horas, para os sensores na camada de revestimento, e até aproximadamente as 17 horas para os sensores nas demais camadas, e resfria do meio da tarde até o amanhecer.

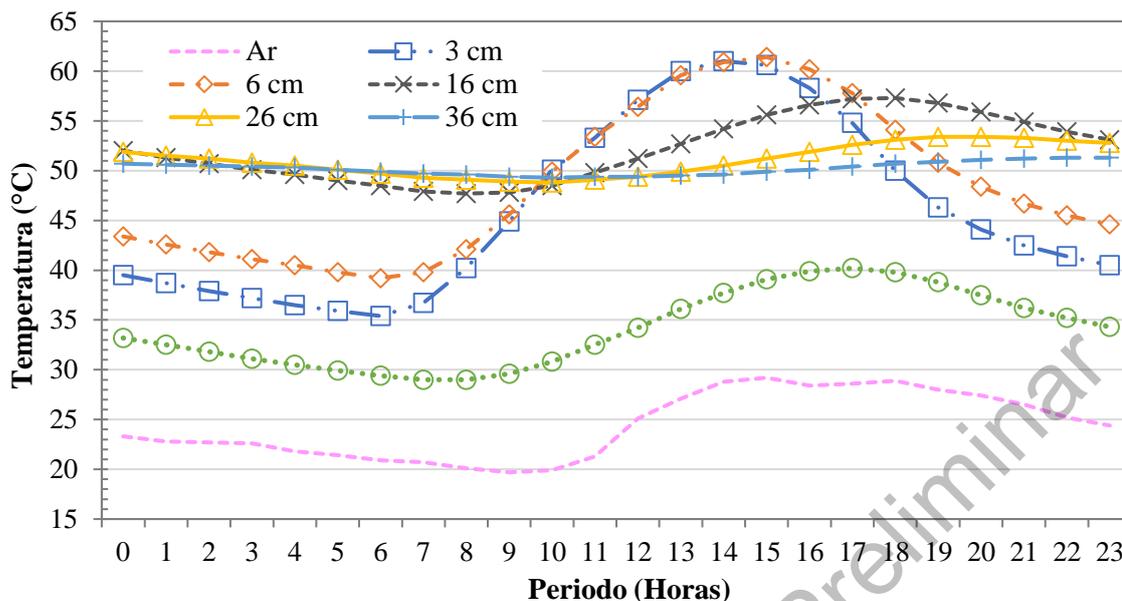


Figura 10: Temperatura em diferentes profundidades do PCAE durante o dia

Com essa observação e com as constatações feitas sobre o gradiente térmico da Figura 7, foi possível dividir o comportamento do pavimento ao longo do dia em dois ciclos: o ciclo de aquecimento e o ciclo de resfriamento, e assim relacionar a temperatura do pavimento com a temperatura do ambiente.

No ciclo de aquecimento o gradiente térmico tende a ser positivo, ou seja, as temperaturas superficiais são maiores que as profundas, já no ciclo de resfriamento há a diminuição da radiação solar incidente no pavimento, assim, as temperaturas das camadas superiores diminuem mais rapidamente do que as profundas o que causa um gradiente térmico negativo. A Figura 11 e a Figura 12 mostram estes ciclos para camadas de 3 cm e de 16 cm, respectivamente.

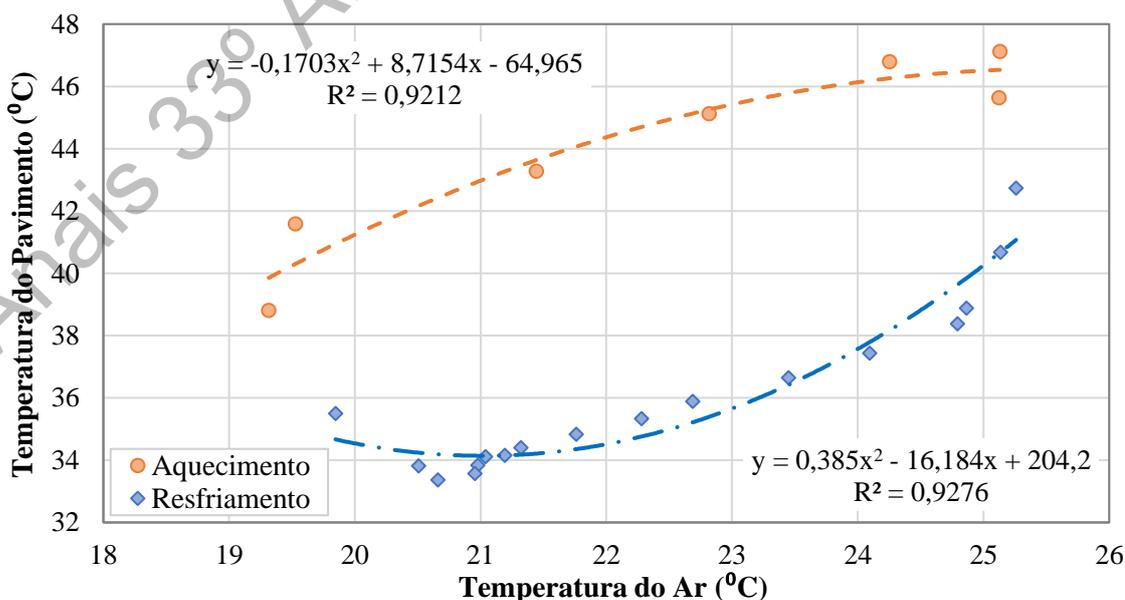


Figura 11: Relação entre temperatura do pavimento em 3 cm e temperatura ambiente

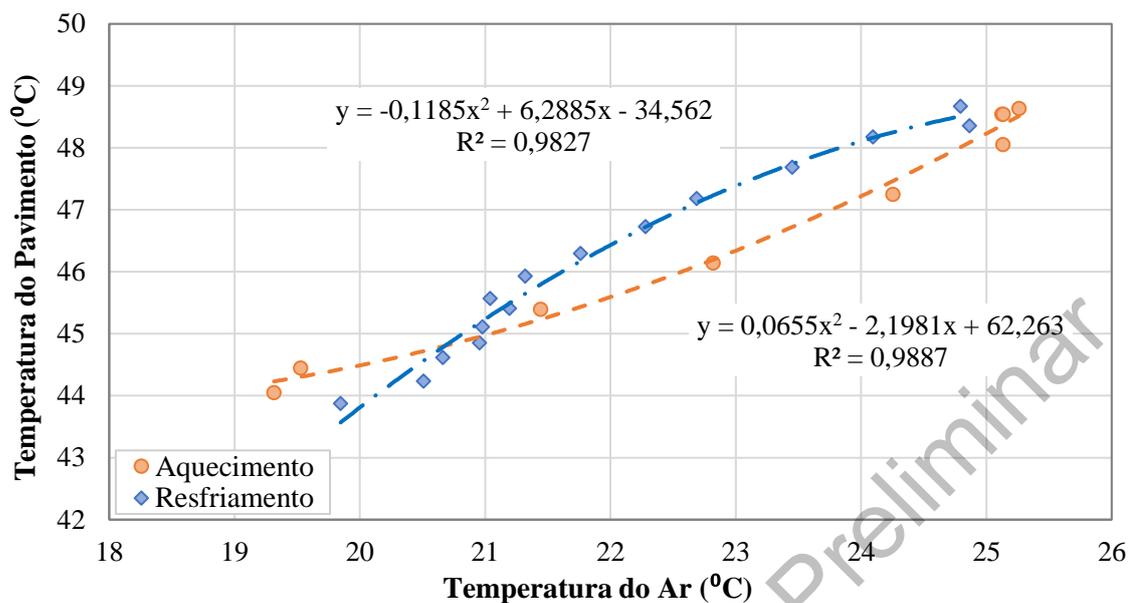


Figura 12: Relação entre temperatura do pavimento em 16 cm e temperatura ambiente

A divisão em ciclos permitiu traçar linhas de influência que relacionam a temperatura do ambiente com a temperatura do pavimento estudado durante um dia. Verificou-se que cada ciclo da camada de 3 cm pôde ser definido por uma equação polinomial de 2º grau, e ambas apresentaram o coeficiente de determinação (R^2) maior que 0,92, o que indica uma forte correlação entre as variáveis temperatura do pavimento e temperatura ambiente.

O mesmo ocorreu na camada de 16 cm, definiu-se a temperatura do pavimento como uma função polinomial de 2º grau da temperatura do ar o que resultou em uma ótima correlação com R^2 maior que 0,98. Vale ressaltar que as equações de ciclos de aquecimento e resfriamento são válidas apenas para este estudo.

4. CONCLUSÕES

Estudar a temperatura no pavimento é importante para compressão do comportamento dos pavimentos asfálticos, principalmente em um país tropical como o Brasil, no qual o modal predominante é o rodoviário de concreto asfáltico. Sabe-se que a instalação de sensores de temperatura envolve custos de equipamentos, implantação e operação, logo não é possível monitorar todas as rodovias por este método, assim, é necessário desenvolver outros meios de entender como as variáveis climáticas afetam a estrutura do pavimento.

Com base nisso, neste trabalho, foram analisados os dados de sensores instalados em diferentes camadas de pavimento de concreto asfáltico. Constatou-se que a temperatura ambiente, umidade e radiação solar têm relação de influência com a temperatura no pavimento, porém em diferentes níveis. A temperatura ambiente apresenta a relação mais direta e proporcional com a temperatura do pavimento, todavia é necessário considerar que a temperatura ambiente é afetada pela radiação e pela umidade do ar, assim, estas outras variáveis são bastante relevantes para se estabelecer uma relação mais apurada.

Ainda, observando a variação de gradiente térmico em diferentes horários do dia, verificou-se que a correlação entre a temperatura ambiente e a temperatura do pavimento é mais adequada

quando se separa o comportamento diário em ciclos de aquecimento e de resfriamento. Estas constatações podem auxiliar no desenvolvimento de modelos de previsão mais precisos para o clima tropical e subtropical.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transporte e Logística (LabTrans), pelo acesso aos dados dos estudos e pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, Adosindro Joaquim de et al. Evaluation of the influence of water and temperature on the rheological behavior and resistance to fatigue of asphalt mixtures. *Construction And Building Materials*, [s.l.], v. 158, p.401-409, 15 jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.030>.
- BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia. Ministério da Agricultura. Dados em gráficos: Estações Automáticas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: 08 mai. 2019.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Erland O. Lukanen. U.S. Department of Transportation. Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt Pavement. Washington, D.C: Federal Highway Administration, 2000.
- Hornych, Pierre; M Balay, J e Bodin, Didier. (2013). Evaluation of the concept of equivalent temperature for pavement design.
- Ongel, A.; Harvey, J. Analysis of 30 Years of Pavement Temperatures using the Enhanced Integrated Climate Model. California: Pavement Research Center, 2004.
- Quintero, Carlos Fernando Quintero. Influência da temperatura e da consistência do ligante na fadiga e no módulo complexo de misturas asfálticas. 2016. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- Yoder, E.J.; Witczak, M.W. Principles of pavement design. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- Zheng, Yuanxun; Zhang, Peng e Liu, Heng. (2017). Correlation between pavement temperature and deflection basin form factors of asphalt pavement. *International Journal of Pavement Engineering*. 1-10. 10.1080/10298436.2017.1356172.

Thais Patricio Souza (thaispatricio9@gmail.com)
Gustavo Garcia Otto (otto.gus@gmail.com)
Adosindro Joaquim de Almeida (adosindro@gmail.com)
Rafael Aleixo de Souza (rafael.aleixo@gmail.com)
Flávio de Mori (flaviodemori@gmail.com)
Amir Mattar Valente (amir.labtrans@gmail.com)
Laboratório de Transporte e Logística, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário - UFSC, S/n - Trindade, Florianópolis - SC, 88040-970.