

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E CARGA EM PAVIMENTOS ASFÁLTICOS FLEXÍVEIS: UM MAPEAMENTO SISTEMÁTICO ¹

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND LOAD ON FLEXIBLE PAVEMENTS ASPHALT: A SYSTEMATIC MAPPING

Taís Portela Arenhart², Sandro Sawicki³, Rafael Zancan Frantz⁴, André Luiz Böck⁵

¹ Projeto de Pesquisa realizado no programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática

² Bolsista PROSUP, Aluno Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da UNIJUI.

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da UNIJUI

⁴ Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da UNIJUI

⁵ Professor do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática da UNIJUI

Resumo

O pavimento asfáltico enfrenta problemas com a degradação precoce de sua estrutura em função da sobrecarga dos veículos, condições climáticas, entre outros fatores como qualidade de execução, qualidade dos materiais e processos de manutenção. Pelo fato de sua composição ter materiais com comportamentos distintos em temperaturas altas e baixas, sua vida útil é influenciada, principalmente, quando exposta à elevados níveis de carga. Com isso, torna-se necessário entender a magnitude das solicitações que a carga gera ao pavimento, aliado velocidade, carga e condições climáticas nos testes e pesquisas. Com o objetivo de estruturar o estado-da-arte envolvendo modelos matemáticos que consideram a carga e condições climáticas em pavimento asfáltico flexível, este artigo realiza uma análise quantitativa das publicações nos últimos dez anos por meio de um mapeamento sistemático da literatura. Mapeamento sistemático é um método utilizado para construir panoramas e estruturar uma determinada área de interesse com vistas a mostrar a frequência/quantidade de publicações e situar o tema de pesquisa dentro do estado-da-arte por meio de questões de pesquisa. Esta pesquisa organizou *strings* de busca que foram aplicadas na plataforma Scopus em conjunto com a análise dos trabalhos selecionados. Após as buscas verificou-se que as condições climáticas aliadas a carga imposta sobre o asfalto prejudicam propriedades importantes do material bem como diminuem sua vida útil, além disso, o número de trabalhos encontrados indicam que essa área de pesquisa está em constante expansão.

Abstract: The asphalt pavement faces problems with early degradation of its structure due to vehicle overload and weather conditions. Due to the fact that its composition has materials with different behaviors at high and low temperatures, its useful life is mainly influenced when exposed to high levels of load. With this, it becomes necessary to understand the magnitude of the demands that the load generates to the pavement, allied to speed, load and weather conditions in tests and research. In order to structure the state of the art involving mathematical models that consider the load and climatic conditions in flexible asphalt pavement, this article performs a quantitative analysis of publications over the last ten years by means of a systematic mapping of the literature. Systematic mapping is a method used to construct panoramas and structure a certain area of interest in order to show the frequency/quantity of publications and situate the research topic within the state-of-the-art through research questions. This research organized search strings that were applied in the Scopus platform together with the analysis of the selected works. After the searches it was found that the climatic conditions allied to the load imposed on the asphalt damage important properties of the

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

material as well as decrease its useful life, moreover, the number of works found indicate that this area of research is in constant expansion.

Palavras-chave: pavimento asfáltico, temperatura, carga, tempo, tensão

Keywords: asphalt pavement, temperature, weight, time, strain

INTRODUÇÃO

A estrutura dos Pavimentos Flexíveis (asfálticos) é projetada para receber, aliviar e transmitir esforços o subleito, impedindo deformações excessivas no mesmo, uma vez que é a camada mais frágil do pavimento. A estrutura do pavimento asfáltico é composta por revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito, portanto é considerado um pavimento flexível. A última camada do pavimento rodoviário é a de revestimento, ela é responsável por receber as cargas sem sofrer deformação, desagregação ou perda de compactação. O revestimento pode ser dividido em duas camadas para reduzir os custos, camada de rolamento, a qual mantém contato direto com o tráfego e o clima, e a camada de ligação ou binder, cuja resistência é inferior a anterior. O revestimento de pavimento flexível, geralmente, é composto de ligante asfáltico, usualmente, derivado do petróleo e agregados.

Huang (2004) afirma que pavimentos flexíveis são sistemas de camadas onde os melhores materiais são empregados no topo, e assim, esses sistemas, não podem ser considerados como uma massa homogênea de um único material. As camadas são dispostas de ordem decrescente em capacidade de carga. A carga imposta ao pavimento rodoviário gera tensões e, conseqüentemente, deformações no interior das suas camadas, essas tensões e deformações são as respostas estruturais do pavimento. Essas respostas do pavimento são solicitadas por uma determinada carga rodoviária e as mesmas são função dos materiais constituintes das camadas do pavimento.

Bernucci (2006) afirmam que todas as propriedades do asfalto estão relacionadas à sua temperatura. Portanto, todos os ensaios realizados para medir as propriedades físicas do asfalto possuem temperatura especificada e alguns, definem ainda, o tempo e a velocidade de carregamento, visto que o asfalto é um material termo-visco-plástico. Altas temperaturas e grande absorção de radiação solar são os principais fatores de amolecimento asfáltico no Brasil, isso decorre da natureza visco-elástica dos materiais que compõem o material asfáltico, mais especificamente do cimento asfáltico, Betume. Ou seja, a vida útil desses pavimentos depende dos fatores climáticos e também ação das cargas de tráfego.

Com mudanças climáticas cada vez mais frequentes e demandas maiores das rodovias, em função do tráfego de veículos e carga transportadas pelos mesmos cada vez maior. A pergunta que se faz é: “Existem estudos que demonstram o efeito da carga em função da temperatura em revestimentos asfálticos?”.

Para responder essa questão é proposto o uso do mapeamento sistemático da literatura. Este trabalho realiza as pesquisas na plataforma Scopus, a qual indexa artigos científicos de diferentes bases e é amplamente utilizada para pesquisas científicas. Para realizar a busca nesta plataforma foram criadas strings de busca com palavras-chave relacionadas ao tema da pesquisa para encontrar a quantidade de publicações por ano, por área do conhecimento e por tipo de publicação.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Este trabalho é classificado como um mapeamento sistemático da literatura e está organizado da seguinte forma: Seção 2 contém os métodos de pesquisa, dados estatísticos, Seção 3 é composta pelos trabalhos relacionados as strings de busca e a Seção 4 apresenta os resultados e realiza as discussões. Finalmente, a seção 5 realiza as conclusões.

MÉTODO E DADOS ESTATÍSTICOS

Este trabalho utiliza os critérios metodológicos do mapeamento sistemático da literatura tradicional, o qual busca encontrar, inicialmente, a resposta da seguinte pergunta: “Existem estudos que demonstram o efeito da carga em função da temperatura em revestimentos asfálticos?”.

Com essa indagação iniciou-se o processo de criação da string de busca. Verificou-se que as palavras-chave em língua inglesa mais recorrentes eram: “asphalt”, “coating”, o acrônimo “hma” (hot mix asphalt), “temperature” e “weight”, as quais representam “asfalto”, “revestimento/pavimento”, “hma” (asfalto a quente), temperatura e peso. Criou-se, então a string “((asphalt AND coating) OR hma) AND (temperature OR weight)”.

A pesquisa na plataforma Scopus foi restrita ao título de artigo e, posteriormente, filtrada com a leitura do resumo. Os resultados retornaram trabalhos relacionados a “asphalt” AND “coating” (pavimento e asfalto) ou, “hma” (hot mix asphalt) e “temperature” (temperatura) ou “weigh” t (carga). Essas strings de busca resultaram, na plataforma Scopus, em 43 trabalhos publicados entre os anos de 2002 a 2020. Ao analisar os dados quantitativos de publicações por ano, verifica-se que o maior número de publicações estão concentrados nos anos de 2012 e 2019. O Gráfico 1 mostra as publicações referentes ao período de 2010 a 2020. A busca retornou 37 trabalhos.



Fig. 1. Gráfico das Publicações por ano

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Pode-se perceber que do ano de 2015 até 2018 os valores não oscilaram significativamente, como por exemplo de 2010 para 2014. Com esses dados pode-se verificar que esse tema, em nível internacional, mantém-se estável, com pico de crescimento no ano de 2012 e 2019.

As áreas de abrangência das strings são Matemática, Engenharia, Ciências dos Materiais, Física e Astronomia, Ciências da Terra e do Planeta, Ciências Sociais, Química e Ciência da Computação. Os resultados quantitativos mais significativos referentes as áreas de abrangência são da Engenharia e Ciências dos Materiais. Deve-se considerar que as áreas, na plataforma Scopus, se correlacionam, então o mesmo trabalho pode ser computado para diferentes áreas do conhecimento.

Além de buscar a relação de publicações por área do conhecimento, buscou-se relacionar os tipos de trabalhos “Source Type” e a quantidade. A plataforma Scopus retornou três tipos de Trabalhos, sendo eles, Anais de Conferências (Conference Proceedings), Revistas (Journals) e Capítulos de livro (Book séries), destes a maior percentagem pertence as Revistas e Anais de conferências, como pode-se visualizar no Gráfico 2 abaixo.

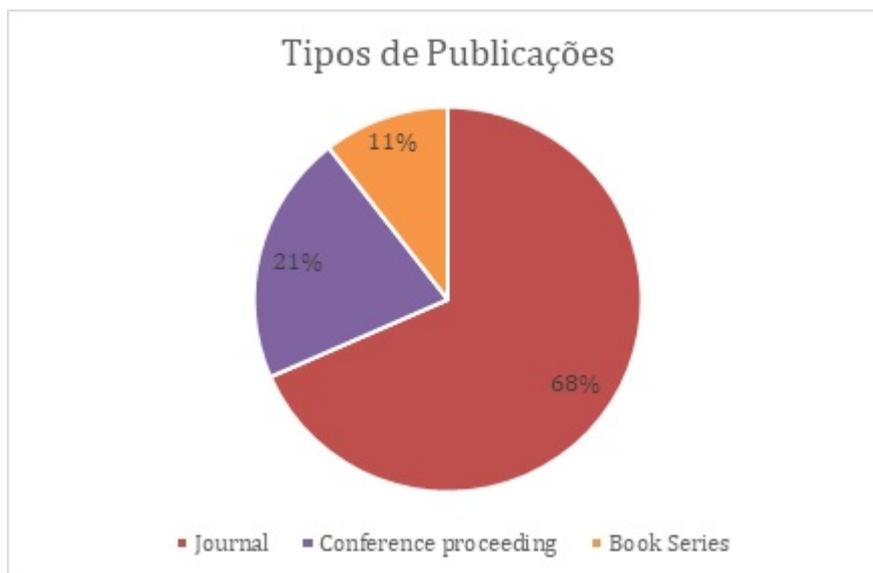


Fig. 2. Gráfico dos tipos de publicações

Após a retirada dos dados quantitativos relacionados ao ano, áreas do conhecimento e publicações, a busca mudou o foco e começou a restringir dos 116 trabalhos, os quais poderiam responder o problema de pesquisa. A primeira tarefa foi a de selecionar os trabalhos cujos títulos tinham algo relacionado ao problema inicial.

Com a primeira tarefa concluída, das 43 publicações restaram 15. Partiu-se, então, para a segunda tarefa, ou seja, ler os resumos dos 15 trabalhos selecionados. Após esse novo filtro, restaram 7 trabalhos. Com a conclusão da segunda etapa foram realizadas leituras nos trabalhos selecionados para compreender o estado da arte e busca a resposta para a questão de pesquisa.

A seleção da segunda etapa foi baseada na ideia de que o problema fala do efeito da carga em função

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

da temperatura em revestimentos asfálticos. Nesta pesquisa entende-se como sendo uma influência da temperatura aliada a carga impostas sobre o revestimento asfáltico e suas possíveis consequências. Assim, alguns trabalhos não foram considerados, pois não se enquadram ao escopo da pesquisa.

Assim, dos 43 trabalhos selecionados, restaram 7, os quais foram lidos e analisados. Cabe ressaltar que os trabalhos pesquisados e delimitados no tema foram nos anos de 2009, 2010, 2012, 2015 e 2018. No ano de 2015 foram publicados 3 artigos relacionado a esse tema.

TRABALHOS RELACIONADOS

Em 2015, Canestrari, F., Stimilli, A., Bahia, HU, e Virgili, A. realizaram um estudo que teve como principal objetivo identificar uma metodologia capaz de calcular com precisão a curva mestre do módulo de relaxação do pavimento asfáltico, a partir da medição direta da tensão e tensão induzida por uma carga térmica aplicada utilizando dispositivos de teste. A proposta do procedimento analítico leva em consideração a dependência do tempo com a temperatura do comportamento da mistura asfáltica e evita complexas conversões numéricas.

Conforme os mesmos autores, o trabalho teve como foco a implementação de uma abordagem matemática inovadora para determinar a curva mestre do módulo de relaxação de misturas asfálticas. A abordagem proposta utiliza os dados de tensão e deformação medida em amostras de mistura asfáltica (amostras retidas e não retidas) sujeitas a determinada carga térmica. Uma nova metodologia foi desenvolvida baseada no Princípio da Superposição de Boltzmann e no conceito pseudostrain e pseudostress, que são as caracterizações do ensaio de fadiga no asfalto. Uma mistura de referência preparada em laboratório de acordo com a mistura concepção e o procedimento de preparação comumente empregado no sistema italiano de autoestradas para cursos de binder foi utilizado para comprovar da abordagem proposta.

O critério matemático proposto por estes autores é capaz de levar simultaneamente em conta a dependência do tempo e da temperatura de materiais betuminosos, considerando a variação das tensões/evolução da deformação devido às mudanças de temperatura durante a testagem. Ele fornece, ainda, uma solução analítica confiável para determinar a curva mestre do módulo de relaxação, evitando integrais complexas, técnicas de transformação ou interconversão que são conhecidas por ser muito problemático em termos computacionais. Ainda segundo os autores, a metodologia proposta pode ser utilizada para a elaboração dos dados adquiridos através de outros testes laboratoriais que monitorizam o stress e alterações de tensão de amostras de material simultaneamente.

Segundo Chen, X. e Xu, Z., a deformação permanente foi identificada como um dos principais problemas nos pavimentos asfálticos. Supõe-se que a carga e a temperatura exercem efeitos importantes nas características de cisalhamento do pavimento asfáltico. Um dos testes mais utilizados para avaliar a resistência ao canteiro desses pavimentos é o APA (Asphalt Pavement Analyzer).

Em 2009, os mesmos autores realizaram uma pesquisa com objetivo de identificar os efeitos da carga e da temperatura sobre as características de calor do pavimento asfáltico. Foi realizado um estudo de laboratório para investigar o efeito da temperatura e da carga sobre o desempenho da mistura do pavimento asfáltico. E concluiu-se que tanto a temperatura como a carga tiveram

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

efeitos significativos no desempenho de calor no pavimento asfálticos. Uma temperatura ou nível de carga mais elevado aumentará a profundidade do pavimento e diminuirá a estabilidade dinâmica significativamente.

Em 2018 Gibreil, HAA e Feng, CP realizaram um estudo sobre a influência da alta temperatura no desempenho da estabilidade de misturas de asfalto modificado, usando o teste Marshall e o teste de calor. Neste estudo, três tipos de misturas de pavimento asfáltico, cada uma feita a partir de uma das três misturas modificadas e foram utilizadas concentrações de pó de borracha em migalhas. As influências da temperatura foram avaliadas as mudanças na estabilidade de Marshall e na estabilidade dinâmica das misturas de asfalto e ainda a estabilidade da água de três misturas também foi avaliada. As considerações finais foram que a alteração da temperatura e sua elevação afetou grandemente a estabilidade de Marshall as três misturas de asfalto, ou seja, estabilidade Marshall diminuiu significativamente com aumento da temperatura, conseqüentemente o fluxo de estabilidade foi prejudicado.

Pirmohammad, S., & Kiani, A., em uma de suas pesquisas, investigaram o efeito das variações de temperatura sobre o comportamento de fratura das misturas asfálticas através da realização de testes de fratura dobrada em três pontos usando um espécime melhorado de SCB (curva semicircular). Para fins de comparação, os testes de fratura foram realizados em uma temperatura fixa (FT) de -15 C. Os autores calcularam os fatores críticos de intensidade de tensão que expõe a resistência à fratura das misturas de asfálticas, para duas condições climáticas diferentes (temperaturas fixas e cíclicas) usando a carga de fratura obtida nos testes de fratura. Os testes de fratura foram realizados com sucesso nas misturas asfálticas usando um espécime melhorado de SCB sob diferentes modos de carregamento, em duas condições climáticas diferentes.

Ainda segundo os autores, as condições climáticas afetam muito a resistência à fratura das misturas de asfalto. De acordo com os resultados, as misturas de asfalto resistem menos em condições climáticas reais chamadas temperaturas cíclicas, do que uma condição climática chamada temperatura fixa. Portanto, negligenciando o efeito das variações de temperatura, a sobrestima a resistência à fratura das misturas asfálticas pode levar a uma concepção inadequada de estruturas rodoviárias. Além disso, a resistência à fratura das misturas de asfalto foi significativamente afetada pelo modo de carga para ambos condições climáticas de temperatura cíclica e temperatura fixa.

Em 2012, Ye, YL, Zhuang, CY e Zhang, RF, apresentaram uma nova forma de correção de temperatura para o módulo dinâmico asfalto ou módulo retrocalculado. Essa nova maneira de calcular usa, primeiramente, o método padrão de teste para determinar o módulo dinâmico de misturas betuminosas a quente em laboratório, ou realiza testes não destrutivos no mesmo local com temperaturas diferentes no campo. Em um segundo nível, a utilização de modelos populares de módulo e temperatura para definir as entradas.

A função exponencial foi ajustada aos dados, pelos autores, para determinar e ajustar o módulo a uma temperatura padrão. Os modelos de fator de correção de temperatura de seis tipos de misturas asfálticas foram recomendados separadamente, a equação de regressão de recomendação pode refletir as características do asfalto mistura, mas está habituada a uma temperatura inferior a 5E3C. O módulo a diferentes temperaturas ou fator de correção de temperatura será obtido e, o mesmo, fornecerá uma referência para o cálculo do módulo de cálculo retroativo da camada asfáltica.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Para avaliar o desempenho em alta temperatura do asfalto, uma abordagem de teste modificada visando melhorar duas características do material foi desenvolvida pelos autores Yu, B., Zhu, H., Gu, X., Ni, F. e Guo, R. em 2015. Em vistas a tirar o máximo proveito do aparelho disponível, o ensaio modificado segue o procedimento de ensaio de carga repetida tri-axial (RLT). O teste de laboratório é utilizado para simular, o máximo possível, as condições de campo e, com isso, aumentar a confiabilidade e representatividade dos resultados do teste. Os métodos de testes estudados pelos autores, no entanto, têm duas características universais: a pressão de confinamento constante, que é aplicada para o teste tri-axial, caso haja alguma pressão ao longo da profundidade da amostra, uma vez que, essa pressão, é diferente da do pavimento real. A segunda característica foca na amostra, que a amostra é avaliada a temperatura constante enquanto a estrutura do pavimento apresenta um gradiente de temperatura.

Segundo os autores citados acima, sua pesquisa visou melhorar duas características do atual teste RLT e desenvolveu um teste modificado. Em geral, o teste RLT modificado pode ser utilizado prontamente, entretanto o aparelho de teste RLT atual com algumas modificações. Essa última modificação é capaz de caracterizar melhor as performances, a altas temperaturas, das misturas asfálticas, sua condição de limite não homogênea, a configuração da pressão de confinamento e a distribuição da temperatura durante o ensaio.

Yun, T., Underwood, BS, & Kim, YR. realizaram, em 2010, um trabalho cujo objetivo foi verificar o princípio do t-TS (Princípio da superposição tempo-temperatura) para pavimento asfáltico com danos crescentes e tensão permanente em múltiplas pressões de confinamento, tanto no estado de tensão como no estado de tensão de compressão. A pesquisa realizou a verificação do t-TS, e concluiu que o princípio apresenta danos crescentes e tensão permanente, tanto em tensão como em compressão, sob vários estados de tensão confinados. Este resultado foi validado com testes de módulo dinâmico, testes de taxa constante de cruzamentos, e testes repetitivos de fluência e recuperação, cobrindo uma ampla gama de estados de material e várias condições de teste.

A partir do teste do módulo dinâmico, os autores constataram que este é independente do modo de tensão, ou seja, compressão de tensão ou compressão dentro da faixa da LVE (Análise de Pavimento Visco-elástico em Camadas), mas, essa conclusão, depende da pressão de confinamento em baixa frequência ou alta temperatura, pois o fator de deslocamento está em alta temperatura. Como o módulo de relaxamento, uma propriedade fundamental que representa o comportamento dependente da taxa do material nos modelos constitutivos baseados em LVE, é diretamente afetado pelo módulo dinâmico, é importante levar em conta a dependência de pressão de confinamento do módulo dinâmico.

Validade do princípio t-TS com danos crescentes e tensão permanente é verificada, pelos autores, através de testes de taxa cruzada constante e testes repetitivos de fluência e recuperação com e sem confinamento. Estes resultados mostram claramente que o fator de deslocamento tempo-temperatura determinado a partir do teste do módulo dinâmico, à mesma pressão de confinamento, é aplicável ao material com um alto nível de danos visco-elásticos e tensão permanente independentemente da direção da carga, ou seja, tensão e compressão, bem como o tipo de carga, ou seja, carga monótona e repetitiva.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Evento: XXV Jornada de Pesquisa

ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

Este trabalho realizou um mapeamento sistemático da literatura com vistas a mostrar o panorama do estado da arte das pesquisas em métodos e modelos matemáticos para pavimentos asfálticos flexíveis em relação à temperatura e carga empregada. Com a delimitação das strings de busca a pesquisa realizou, antes da análise dos trabalhos, a coleta de dados para a realização da pesquisa estatística sobre a quantidade de publicações por ano, as áreas de estudo e os tipos de trabalhos.

A análise estatística das publicações por ano mostra o panorama das publicações, com isso é possível avaliar a relevância do tema. O ano de 2019 tem 21% das publicações dos últimos dez anos, seguido de 2012 com 15%. Entretanto, cabe salientar que o menor índice de publicações foram nos anos de 2011 e 2014 com somente 2% das publicações.

Em relação as áreas de estudo, percebe-se que a maior área, inclusive com muita diferença para a segunda colocada é a de Engenharia com quase 95% das publicações, seguida da Ciências dos Materiais com quase 45%. Um valor esperado, haja vista que o tema proposto é especificamente desta área de estudo. Sobre os tipos de publicação, verifica-se que as revistas são os locais mais publicados, alcançando 68% das publicações dos últimos dez anos dentro do escopo dessa proposta. Foram selecionados na busca 43 trabalhos, contudo, apenas 7 foram estiveram restritos ao tema proposto. Isto significa 16,3% dos trabalhos publicados nos últimos dez anos dentro desta string de busca.

Notou-se que 3 dos 7 trabalhos realizaram estudos laboratoriais a partir de teste já existentes relacionando temperatura, carga ou tempo e analisando as propriedades do material asfáltico. As outras 4 pesquisas concentraram-se em modificar testes, validar padrões ou ainda desenvolver critérios/modelos/soluções analíticas relacionando temperatura, carga ou peso em materiais asfálticos.

A união de temperatura e carga causa efeitos intensos na camada asfáltica, prejudicando o fluxo de estabilidade de Marshall e abalando a resistência à fratura do material, ou seja, prejudicando propriedades importantes do asfalto. Ainda, em relação a carga, ela afeta a resistência a fratura em condições de temperatura cíclicas e fixas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pavimentação asfáltica é um foco de estudo e pesquisa emergente nas últimas décadas. A valorização do ramo de engenharia asfáltica, a necessidade de boas rodovias, materiais de qualidade e durabilidade, se unem com as demandas de uma sociedade cada vez mais exigente.

A pesquisa realizada teve como objetivo realizar um mapeamento sistemático utilizando como fonte a plataforma Scopus com vistas a verificar o panorama de pesquisa desse tema.

Através das leituras dos textos selecionados nota-se que a temperatura e carga, quando aliadas, produzem efeitos significativamente ruins para a camada de revestimento asfáltico. Esses dois fatores afetam o fluxo de estabilidade, resistência a fratura, entre outras propriedades, diminuindo, assim, a qualidade e a vida útil do asfalto.

Evento: XXV Jornada de Pesquisa
ODS: 9 - Indústria, Inovação e Infra-estrutura

REFERÊNCIAS

Bernucci, L. B.; Motta, L.M.; Ceratti, J.A.P.; Soares, J.B. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. ABEDA,2006.

Canestrari, F., Stimilli, A., Bahia, H. U., & Virgili, A. (2015). Pseudo-variables method to calculate HMA relaxation modulus through low-temperature induced stress and strain. *Materials & Design*, 76, 141–149. doi:10.1016/j.matdes. Março de 2015

Gibreil, H. A. A.; Feng, C. P. Influence of high temperature on the stability performance of high density polyethylene and crumb rubber powder modified HMA mixture. *Journal of Structural Fire Engineering*, 9, 19–27. doi:10.1108/jsfe, Dezembro de 2016

Huang, Y.H.. *Pavement Analysis and Design*. 2 edição. Pearson Prentice,2004.

Pirmohammad, S., & Kiani, A.. Effect of temperature variations on fracture resistance of HMA mixtures under different loading modes. *Materials and Structures*, 49(9), 3773–3784. doi:10.1617/s11527-015-0753-9 , setembro de 2016.

Walubita, L. F., Faruk, A. N. M., Zhang, J., Hu, X., ; Lee, S. I. . The Hamburg rutting test – Effects of HMA sample sitting time and test temperature variation. *Construction and Building Materials*, 108, 22–28. doi:10.1016/j.conbuildmat., Janeiro 2016

Ye, Y. L., Zhuang, C. Y., & Zhang, R. F. . A Method for Temperature Correction of HMA Dynamic Modulus. *Applied Mechanics and Materials*, 178-181, 1615–1618. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.178-181.1615 , 2012.

Yu, B., Zhu, H., Gu, X., Ni, F., & Guo, R. . Modified repeated load tri-axial test for the high-temperature performance evaluation of HMA. *Road Materials and Pavement Design*, 16(4), 784–798. doi:10.1080/14680629.2015.1057214 , 2015.

Yun, T., Underwood, B. S., & Kim, Y. R. . Time-Temperature Superposition for HMA with Growing Damage and Permanent Strain in Confined Tension and Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(5), 415–422. doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000039, 2010.

Parecer CEUA: 48945315.0.0000.5350