



## Um Estudo Sistemático sobre a Incorporação de Novas Tecnologias na Pavimentação

PIMENTEL, Vitor Fernandes; ABREU, Victor Hugo Souza.

NPPG/POLI – UFRJ; PET/COPPE – UFRJ

### Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01 Mai 2019

Revisão: 04 Jun 2019

Aprovação: 25 Jun 2019

Palavras- chave:

Pavimentação

Novas Tecnologias

Revisão da Literatura

### Resumo:

*O setor da pavimentação vem trabalhando fortemente para o desenvolvimento de novas tecnologias para melhorar a qualidade do pavimento e reduzir os impactos ambientais. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo realizar análises sistemáticas de estudos relevantes sobre o assunto, apresentando a evolução das pesquisas (publicações e citações) e os países e periódicos que mais se interessam pela temática. Além disso, é realizado um breve resumo sobre cada um dos artigos mais citados da base de dados, de modo a identificar os principais eixos de pesquisa desenvolvidos atualmente.*

### 1. Introdução

A infraestrutura viária é fundamental para o desenvolvimento sustentável das cidades, pois é um fator chave para alcançar o crescimento econômico, a mitigação dos impactos ambientais e o bem-estar social dos habitantes das cidades [1].

O nível de qualidade das vias percebido pelo usuário é determinado, principalmente, pela avaliação do pavimento [2]. Em todo o mundo, é investido anualmente mais de 400 bilhões de dólares na construção e manutenção de pavimentos [3].

Surge, assim, a necessidade de incorporar uma abordagem sustentável na avaliação de alternativas para implantação de pavimentos que, por exemplo, utilizem menos recursos, poluam menos, apresentem melhor

comportamento mecânico, mitiguem o efeito de ilha de calor urbana ou até mesmo utilizem seu potencial de absorção de calor para transmissão de energia.

Dessa forma, constata-se a seguinte questão: qual é o estado atual das pesquisas relacionadas à aplicação de novas tecnologias na pavimentação? Portanto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar um apanhado geral de artigos científicos aplicáveis ao assunto, por meio de Revisão Bibliográfica Sistemática, que utiliza criteriosos filtros de inclusão e qualificação de estudos.

Como objetivos específicos têm-se: (i) Apresentar a evolução das publicações e citações ao longo dos anos; (ii) Identificar os principais periódicos e países que mais publicam estudos sobre o assunto; e (iii)

Realizar um breve resumo dos artigos mais citados na base de dados.

Salienta-se ainda que é dado um enfoque aos trabalhos desenvolvidos ao longo dos últimos 10 anos, de modo a identificar o que de eficaz tem sido desenvolvido na literatura científica sobre o assunto.

Além disso, como limitação menciona-se que os artigos incluídos no repositório de pesquisa são limitados pelo banco de dados e o termo de busca utilizado.

Para cumprir seus objetivos, este estudo encontra-se assim estruturado. A Seção 1 trata da contextualização, da problemática e dos objetivos. A Seção 2 apresenta um apanhado geral sobre a incorporação de novas tecnologias no pavimento. A Seção 3 trata do procedimento metodológico utilizado para condução das buscas sistemáticas. A Seção 4 apresenta e discute os resultados. E por fim, a Seção 5 contém as considerações finais.

## **2. Aplicação de Novas Tecnologias no Pavimento**

A qualidade dos pavimentos das rodovias é impactada por diversos fatores com método de dimensionamento antigo, problemas técnicos na execução, falhas na manutenção e na fiscalização do excesso de peso. Nesse sentido, as rodovias precisam de intervenções constantes, o que gera gastos excessivos aos órgãos públicos e às concessionárias e o aumento do impacto ambiental.

Mais de 400 bilhões de dólares são investidos globalmente a cada ano na construção e manutenção de pavimentos [3]. Estas tarefas aumentam em 10% o impacto ambiental gerado pela operação do veículo [4].

Esta situação conduz, inexoravelmente, a uma gestão sustentável dos pavimentos, que trate de questões relacionadas ao desenvolvimento econômico, social e ambiental das cidades [2].

Dessa forma, ao longo dos últimos anos, têm sido desenvolvidas pesquisas que buscam aplicar novas tecnologias para uma gestão sustentável dos pavimentos.

A produção de asfalto a quente, por exemplo, é responsável por um grande consumo de energia, devido ao aquecimento de seus componentes. Essa energia, gasta na queima de combustíveis fósseis, libera gases de efeito estufa [5,6]. Assim, novas técnicas de fabricação de misturas estão sendo desenvolvidas para diminuir a temperatura de fabricação, que permite reduzir a emissão de poluentes [7, 8, 9]. Assim, estudos com asfalto morno, por exemplo, estão evoluindo [10, 11, 12]. A produção dessas misturas asfálticas mornas ocorre entre 110° e 140° Celsius (C), permitindo assim uma redução de aproximadamente 40°C quando comparada ao asfalto de mistura quente [5, 7].

Outra aplicação de novas tecnologias refere-se ao fato dos pavimentos asfálticos poderem ser aquecidos até 70°C por irradiação solar, durante o verão, por causa de sua propriedade de absorção de calor [13, 14]. Devido a essa propriedade, o fornecimento de energia térmica para, por exemplo, estabelecimentos e edifícios adjacentes às estradas, a partir de coletores solares de asfalto, é uma aplicação potencial para geração de uma energia renovável, limpa e que respeita o meio ambiente.

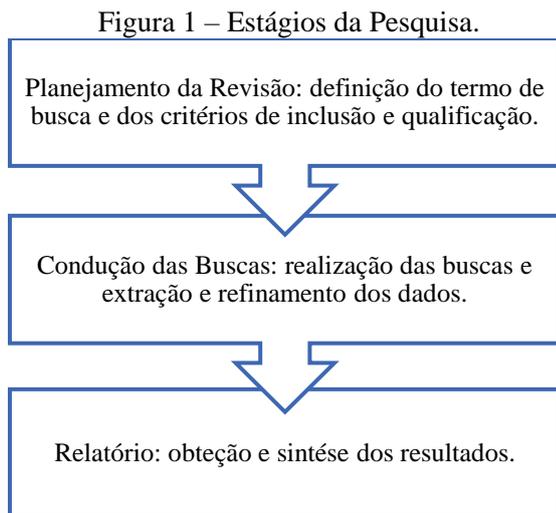
## **3. Procedimento Metodológico**

O procedimento metodológico deste artigo adota a Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS) para mapeamento dos principais estudos sobre a incorporação de novas tecnologias na pavimentação rodoviária.

Nos estudos em que se exige ineditismo e originalidade na sua contribuição, a revisão bibliográfica exerce papel essencial. Deste modo, proceder-se de forma sistemática e rigorosa é fundamental para confiabilidade

dos resultados, como também para o desenvolvimento do conhecimento numa base sólida a partir dele [15].

Dessa forma, com o intuito de mapear as publicações científicas mais relevantes sobre o assunto, utilizou-se a base de dados *Web of Science*. Neste contexto, a condução das pesquisas seguiu os passos apresentados na Figura 1 (adaptação de [16]).



Fonte: Adaptado de Tranfield [16].

No Estágio 1, Planejamento da Revisão, o termo de pesquisa mais adequado para coleta de dados e os critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade) foram definidos conforme segue.

Para obtenção do termo de busca utilizou-se a Ferramenta TS (Tópico) da base de dados, que representa as palavras que são pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. Nesse sentido, por meio de testes de tópicos na base de dados considerou-se adequado, tendo em vista os objetivos da pesquisa, utilizar  $TS = ("pavement*" AND "new technolog*")$  para obtenção de resultados condizentes.

Como critérios de inclusão consideraram-se: (i) Tempo de cobertura: artigos publicados nos últimos 10 anos (2010 – 2019); (ii) Tipos

de documentos: somente artigos; e (iii) Fator de impacto do periódico.

Já como critérios de qualificação observaram-se (i) Revisão bibliográfica bem fundamentada; (ii) Inovação técnica; (iii) Discussão das contribuições; (iv) Explicação das limitações; e (v) Resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos.

Além disso, a pesquisa considerou os seguintes *índexs*: (i) SCI-EXPANDED; (ii) SSCI; (iii) A&HCI; (iv) CPCI-S; (v) CPCI-SSH; e (vi) ESCI.

No Estágio 2, Condução das Buscas, o termo escolhido juntamente com os filtros de inclusão foram introduzidos na base de dados e os artigos encontrados por eles foram extraídos e refinados (aplicação dos critérios de qualificação). No Estágio 3, Relatório, ocorreu a análise e síntese dos dados, conforme é descrita na Seção 4. Salienta-se que o *software* de mineração de dados *Vantage Point* e o *Excel* foram utilizados no Estágio 3 para refinamento dos dados e no Estágio 4 para realização das análises sistemáticas.

## 4. Resultados

Após a aplicação dos critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade) identificou-se que 33 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório da pesquisa.

Nesse sentido, as próximas subseções buscam realizar análises sistemáticas desses estudos, divididas em análises quantitativas e qualitativas.

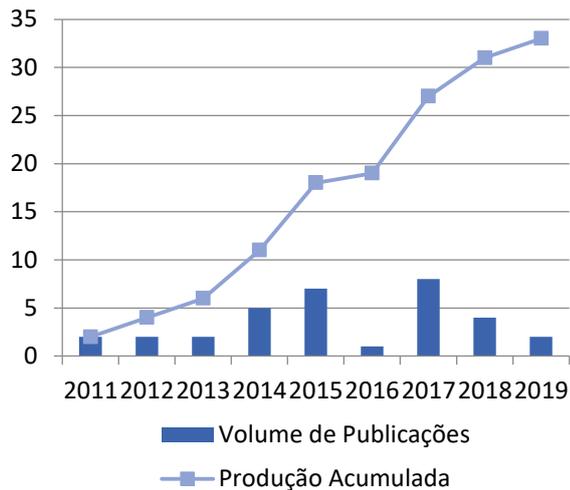
### 4.1 Análises quantitativas de todos os artigos

A Figura 2 mostra a evolução das publicações sobre o assunto ao longo dos anos.

Conforme identificado na Figura 2, verifica-se que com o passar dos anos o

número de publicações sobre o assunto cresceu até 2015, mas houve uma queda brusca em 2016. Em 2017, ápice de publicações, ocorreu um significativo aumento de publicações novamente. Além disso, destaca-se que a curva acumulada representa o interesse crescente sobre o tema ao longo dos anos.

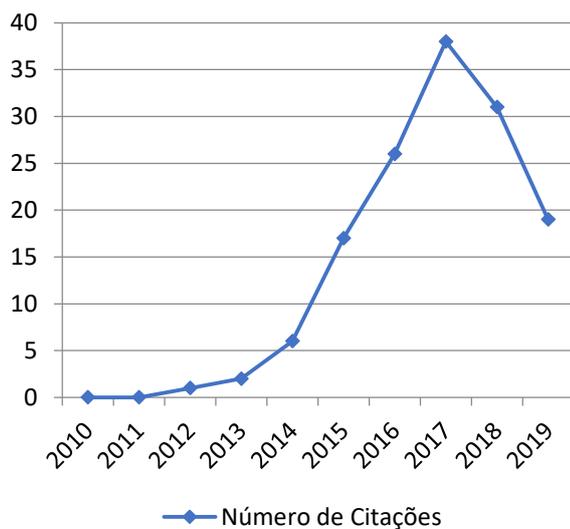
Figura 2 – Evolução das publicações por ano.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Outra análise importante refere-se ao número de citações desses artigos por ano, conforme é apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Evolução das citações por ano.

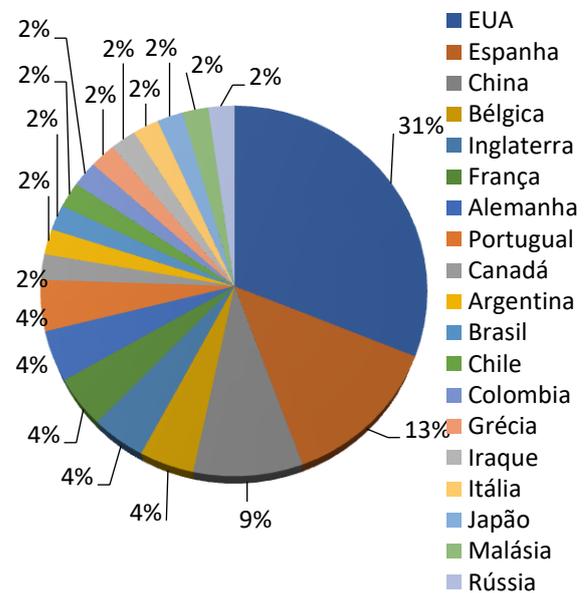


Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Figura 3, observa-se que o número de citações cresceu com o passar dos anos, atingindo o ápice mais uma vez em 2017, demonstrando o crescente interesse pelo assunto. Destaca-se ainda que, ao todo, foram identificadas 157 citações.

Também se considerou pertinente avaliar quais são os países de origem das Instituições de Ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto, conforme identificado na Figura 4.

Figura 4 – Países de origem dos artigos mais relevantes sobre o assunto.



Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Figura 4, nota-se que os países que mais publicam estudos sobre o assunto são: EUA, com 31% das publicações, Espanha, com 13% das publicações, e China, com 9% das publicações. Identifica-se ainda que o Brasil está na oitava posição entre os países mais relevantes no mundo sobre o assunto, com 2% das publicações. Além disso, aponta-se que 19 países publicaram estudos sobre o assunto.

Torna-se também pertinente avaliar os artigos por periódico de publicação, de modo a identificar quais são as revistas que mais se interessam pelo assunto, bem como o fator de

impacto de cada uma delas. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta os periódicos cujo volume de publicação é, no mínimo, igual a dois artigos. Menciona-se que 27 revistas científicas publicaram estudos sobre o assunto.

Tabela 1 – Principais periódicos sobre o assunto.

Periódicos de Publicação	P	FI
<i>Transportation Research Record</i>	4	0,695
<i>Applied Energy</i>	2	7,900
<i>International Journal of Pavement Engineering</i>	2	2,322
<i>Materials and Structures</i>	2	2,271

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 1, nota-se que os periódicos que com maior número de Publicações (P) são: *Transportation Research Record*, com 4 publicações, e *Applied Energy*, *International Journal of Pavement Engineering* e *Materials and Structures*, com 2 publicações cada. Salienta-se ainda que ao ordenar os periódicos por Fator de Impacto (FI), identifica-se que aqueles mais relevantes são: *Applied Energy*, *International Journal of Pavement Engineering* e *Materials and Structures*.

#### 4.2 Análises qualitativas dos artigos mais citados na Base de Dados

Com o objetivo de identificar os estudos mais citados na base de dados *Web of Science*, a Tabela 2 apresenta os artigos com número de citações maior que dez.

Tabela 2 – Artigos mais citados na base de dados sobre novas tecnologias aplicadas aos pavimentos.

Autores	Periódico	C	MCA
[17]	<i>Applied Energy</i>	25	4,17
[18]	<i>Journal of Cleaner Production</i>	22	5,50
[2]	<i>Revista de la Construcción</i>	13	2,60
[19]	<i>Applied Energy</i>	12	4,00

Fonte: Elaboração Própria (2019).

Com a Tabela 2, constata-se que o artigo com maior número de Citações (C) é Pascual-Muñoz *et al*[17], com 25 citações, e o estudo com maior Média de Citações por Ano (MCA) é Dinis-Almeida e Afonso [18], com valor igual a 5,50. Nota-se também que os dois artigos publicados no *Applied Energy*, periódico com maior FI, estão entre os quatro artigos mais relevantes da base de dados.

Salienta-se também que o baixo número de citações totais e de média por ano pode ser explicado pelo fato da pesquisa focar em trabalhos desenvolvidos a partir de 2010, para que se pudessem obter artigos que aplicassem tecnologias atuais nos pavimentos.

A fim de salientar as principais tecnologias implementadas nos pavimentos, busca-se apresentar um breve resumo sobre cada um dos artigos mais relevantes da base de dados, conforme segue.

Pascual-Muñoz *et al*[17] apresentam uma nova tecnologia na qual um pavimento de camadas múltiplas com uma camada intermediária altamente porosa é usado em um coletor solar com uma rede de tubulação embutida. Esses coletores são totalmente integrados à infraestrutura viária e podem oferecer energia solar de baixo custo para aquecimento de água. O artigo inclui um breve comentário sobre o estado da arte. Em seguida, é apresentada uma ampla metodologia na qual os dados, materiais e procedimentos necessários para executar os testes são totalmente descritos. Finalmente, os resultados dos testes laboratoriais são declarados e discutidos. Os resultados computacionais indicam que: (i) Excelentes eficiências térmicas do coletor de asfalto multicamadas foram obtidas nos testes de laboratório. Valores de eficiência de 75% até 95% foram obtidos dependendo da irradiação da lâmpada solar, porosidade da camada intermédia e declive aplicado ao coletor; (ii) As eficiências obtidas sugerem que a adição de materiais, tal como grafite, usado para melhorar as propriedades térmicas do asfalto, não é necessária; (iii) Apesar do excelente

comportamento térmico do coletor solar, baixas taxas de fluxo do fluido de transferência de calor (água) foram alcançadas nos testes; (iv) A geometria do coletor deve ser calculada adequadamente para que o sistema possa funcionar Além disso, uma boa impermeabilidade deve ser realizada; e (v) A inclusão desses coletores solares de asfalto em áreas urbanas ou estacionamentos próximos à estrada implicaria em uma diminuição da temperatura ambiente da área e a mitigação do efeito de ilha de calor urbana.

Dinis-Almeida e Afonso [18] produzem um estudo comparativo do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas (que emitem menos poluentes atmosféricos, conforme já mencionado na Seção 2) e de misturas asfálticas quentes convencionais. Salienta-se que foram realizados testes considerando misturas asfálticas mornas com e sem a incorporação do Pavimento Asfáltico Recuperado (PAR), que quando inserido nas misturas visa melhorar a sustentabilidade, reduzindo a produção de resíduos e o consumo de recursos naturais. Inicialmente, o teor ideal de betume para cada mistura foi determinado e as propriedades fundamentais foram calculadas. Foram realizados testes de: (i) Rigidez por tensão indireta para corpos de prova cilíndricos; (ii) Sensibilidade à água; e (iii) Resistência à fadiga por teste de flexão de quatro pontos em corpos de prova prismáticos. Os resultados confirmaram que as misturas quentes convencionais apresentam um módulo de rigidez maior do que as misturas asfálticas mornas e que a incorporação do PAR nas misturas mornas aumenta o módulo de rigidez, devido à presença do betume envelhecido que tem menor penetração. Além disso, a sensibilidade à água no asfalto morno e da mistura quente é a mesma. No entanto, este teste foi insuficiente para avaliar a sensibilidade da mistura morna com PAR. Destaca-se ainda que a resistência à fadiga da mistura asfáltica com e sem PAR é ligeiramente menor que as

misturas quentes. As descobertas confirmaram as vantagens ambientais (redução da emissão de poluentes) e demonstraram bom desempenho mecânico do asfalto morno em comparação com misturas quentes convencionais.

Torres-Machi *et al*[2] examinam os modelos e práticas para a avaliação econômica e ambiental da gestão dos pavimentos, a fim de analisar as vantagens e limitações do estado atual e identificar as oportunidades para melhorar sua gestão sustentável. Os resultados indicam que: (i) A gestão sustentável do pavimento exige a consideração de aspectos técnicos, econômicos, ambientais e aspectos sociais ao longo do ciclo de vida; (ii) A avaliação econômica aplicada à gestão de pavimentos necessita da avaliação de benefícios que são difíceis de rentabilizar; (iii) Os efeitos em usuários diretos durante a operação normal podem ser avaliados sem necessidade de quantificação monetária da área abaixo da curva de desempenho; (iv) Dois tipos de análises são detectadas para avaliação de pavimentos: uma baseada na norma ISO 14040 e outra na certificação ambiental. A primeira fornece uma avaliação mais precisa, mas requer um grande número de dados. A segunda, mais intuitiva e fácil de assimilar por agentes menos especializados, não se baseia em indicadores de desempenho; e (v) Apenas dois dos modelos revisados, HDM-4 e PALATE, incorporam análises econômico-ambientais na avaliação de alternativas. No entanto, o HDM-4 não faz uso de materiais reciclados ou novas tecnologias, enquanto PALATE não considera o efeito sobre os usuários na avaliação econômica.

Guldentops *et al*[19] desenvolvem um modelo para o sistema de captação solar do pavimento e validaram-no com um experimento autoinstruído. Tal modelo permite um estudo paramétrico detalhado do sistema para otimizar o projeto, bem como realiza uma investigação sobre o efeito do envelhecimento (por exemplo, diminuição da

capacidade de absorção solar) no desempenho do sistema. Os resultados mostram que o modelo desenvolvido é realista devido à quantidade limitada de simplificações incorporadas. As únicas simplificações aplicadas ao modelo são: (i) Contato perfeito entre diferentes materiais; (ii) Materiais de pavimento homogêneos e isotrópicos; (iii) Água pura como fluido de trabalho; e (iv) Nenhuma influência do campo de fluxo de fluido pela troca de calor. Um experimento foi realizado para validar o modelo. Os dados experimentais e a estrutura de modelagem estão de acordo com as temperaturas de saída de fluido e as temperaturas do pavimento. O modelo pode, portanto, ser usado para avaliar benefícios do sistema na vida útil do pavimento e para ajudar a uso da energia térmica gerada. A estrutura de modelagem é usada para conduzir um estudo paramétrico sobre a influência dos parâmetros meteorológicos. O estudo paramétrico ajuda a entender a influência de parâmetros mais importantes no desempenho do sistema: (i) A condutividade térmica do concreto asfáltico; (ii) A absorvidade solar da superfície do pavimento ; e (iii) A profundidade do tubo. Por fim, menciona-se que os resultados podem ser utilizados para investigar a viabilidade do sistema e de melhorias potenciais que podem ser realizadas.

## 5. Considerações Finais

Identificada a necessidade de realização de pesquisas sobre a incorporação de novas tecnologias na pavimentação de vias, este estudo teve como objetivo verificar na literatura internacional o que de sólido e eficaz tem sido desenvolvido a respeito do assunto, por meio de Revisão Bibliográfica Sistemática.

Os resultados quantitativos constataram que o assunto continua em expansão com ápice no número de publicações e de citações em 2017, que os países que mais publicam estudos são: EUA; Espanha; e China, e que

importantes periódicos como o *Applied Energy*, que apresenta FI aproximadamente igual a oito, se interessam por essa temática.

Os resultados qualitativos focaram-se nos quatro artigos mais citados na base de dados, desenvolvidos a partir de 2010. Nesses estudos, identificaram-se os seguintes temas de pesquisa: (i) Uma nova tecnologia na qual um pavimento de camadas múltiplas com uma camada intermediária altamente porosa é utilizado em um coletor solar com uma rede de tubulação embutida; (ii) Um estudo comparativo do comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas (com e sem a incorporação do pavimento asfáltico recuperado) e de misturas asfálticas quentes convencionais; (iii) Uma avaliação sobre modelos e práticas para a análise econômica e ambiental da gestão dos pavimentos; e (iv) Um modelo para o sistema de captação do solar pavimento.

Como propostas de melhorias, aconselham-se que sejam realizadas novas pesquisas, tanto bibliográficas, que considerem outras bases de dados e outros termos de pesquisa, quanto de aplicação sobre a incorporação de novas tecnologias para alcance de uma gestão sustentável de pavimentos, de modo a reduzir os impactos gerados por sua má conservação.

## 6. Referências

- [1] W. Uddin, R. C. G. Hudson, & R. C. G. Haas, Public infrastructure asset management. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [2] C. Torres-Machi, A. Chamorro, V. Yepes, E. Pellicer, Current models and practices of economic and environmental evaluation for sustainable network-level pavement management, *Revista de La Construcción*, 13, (2), 49–56, 2014.
- [3] IRF (International Road Federation), IRF World Road Statistics 2010, Geneva: International Road Federation, 2010.

- [4] M. V. Chester, A. Horvath, Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains, *Environmental Research Letters*, 4, (2), 2009.
- [5] T. Carvalho, L. P. Barreno, Ligantes Betuminosos Temperados. In: VII Congresso Rodoviário Português e Novos desafios para a atividade rodoviária, Lisboa, Portugal, 2013.
- [6] M.C. Rubio, F. Moreno, M. J. Martínez-Echevarría, G. Martínez, J. M Vazquez, Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt, *J. Clean. Prod*, 41, 1–6, 2013.
- [7] S. D. Capitão, L. G. Picado-Santos, F. Martinho, F., Pavement engineering materials: review on the use of warm-mix asphalt, *Constr. Build. Mater*, 36, 1016–1024, 2012.
- [8] J. D'Angelo, E. Harm, J. Bartoszek, G. Baumgardner, M. Corrigan, J. Cowser, T. Harman, M. Jamshidi, W. Jones, D. Newcomb, B. Prowell, R. Sines, B. Yeaton, *Warm-mix Asphalt: Europe Practice*, Federal Highway Administration, Alexandria, 2008.
- [9] J. R. M. Oliveira, H. M. R. D. Silva, L. P. F. Abreu, S. R. M. Fernandes, Use of a warm mix asphalt additive to reduce the production temperatures and to improve the performance of asphalt rubber mixtures, *J. Clean. Prod*, 41, 15–22, 2013.
- [10] B. Kheradmand, R. Muniandy, L. T. Hua, R. Yunus, A. Solouki, An overview of the emerging warm mix asphalt technology, *Int. J. Pavement Eng.*, 15, (1), 79–94, 2014.
- [11] B. Prowell, G. Hurley, B. Frank, *Warm-mix Asphalt: Best Practices*, second ed. National Asphalt Pavement Association, Quality Improvement Publication, 125, 2008.
- [12] M. C. Rubio, G. Martínez, L. Baena, F. Moreno, Warm mix asphalt: an overview, *J. Clean. Prod.*, 24, 76–84, 2012.
- [13] S. Wu, Y. Xue, Q. Ye, Y. Chen, Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures, *Build Environ*, 42, (7), 2580–5, 2007.
- [14] M. A. Al-Saad, B. A. Jubran, N. A. Abu-Faris, Development and testing of concrete solar collectors, *Sol Energy*, 16, 27–40, 1994.
- [15] J. Webster, J. T. Watson, Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review, *MIS Quarterly & The Society for Information Management*, 26, 2, 13-23, 2002.
- [16] D. Tranfield, D. Denyer, P. Smart, Towards a methodology for developing evidence informed management knowledge by means of systematic review, *British Journal of Management*, , 14, (3), 207–222, 2003.
- [17] P. Pascual-Muñoz, D. Castro-Fresno, P. Serrano-Bravo, A. Alonso-Estébanez, A Thermal and hydraulic analysis of multilayered asphalt pavements as active solar collectors, *Applied Energy*, 111, 324–332, 2013.
- [18] M. Dinis-Almeida, M. L. Afonso, Warm Mix Recycled Asphalt – a sustainable solution, *Journal of Cleaner Production*, 107, 310–316, 2015.
- [19] G. Guldentops, A. M. Nejad, C. Vuye, W. Van den bergh, N. Rahbar, Performance of a pavement solar energy collector: Model development and validation, *Applied Energy*, 163, 180–189, 2016.