

O impacto causado pela utilização de misturas asfálticas mornas em pavimentos flexíveis

The impact caused by the use of warm asphalt mixtures on flexible pavements

Diego Menegusso Pires, bacharelado em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

diego.msso@gmail.com

Leonardo Giardel Pазze, bacharelado em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

leopazze@hotmail.com

Lucas Carvalho Vier, mestrando em Engenharia Civil, UFSC;

lucascarvalho051@gmail.com

Fernanda de Marco, bacharelado em Engenharia Civil, URI;

fernanda_demarco@hotmail.com

Samara Iasmim Schardong, bacharelado em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

samiasmim@hotmail.com

Andréia Balz, bacharelado em Engenharia Civil, UNIJUÍ;

bzandreia@yahoo.com.br

André Luiz Bock, doutor em Engenharia Civil, UFRGS.

andre.bock@unijui.com.br

Resumo

O presente artigo aborda, do ponto de vista técnico e ambiental, uma revisão bibliográfica sobre o impacto do uso de misturas asfálticas mornas em pavimentos flexíveis. Tal tecnologia tem um grande apelo à sustentabilidade, pois devido principalmente ao uso de aditivos redutores de temperatura, durante o processo de usinagem é possível trabalhar-se com uma temperatura de no mínimo 30°C a menos quando comparado com as misturas asfálticas quentes. Os aditivos têm propriedades surfactantes que tendem a diminuir a viscosidade do ligante asfáltico, melhorando assim o cobrimento dos agregados pétreos, mesmo em temperaturas mais baixas. A WMA é um material menos rígido e com isso é mais suscetível a afundamento de trilhas de roda, contudo também é mais resistente a fadiga, o que pode ampliar a vida útil do pavimento. Como a fonte de energia utilizada para o aquecimento da matéria prima geralmente é um combustível fóssil, temos também a diminuição da emissão de gases poluentes. Com isso, percebe-se uma série de fatores favoráveis,

tanto sustentáveis, quanto técnicos, ao uso de misturas asfálticas mornas no contexto de pavimentos flexíveis.

Palavras-chave: Misturas asfálticas mornas; Pavimento flexível; Sustentabilidade

Abstract

The present article approaches, from a technical and environmental point of view, a literature review on the impact of the use of warm mix asphalt on flexible pavements. Such technology has a great appeal to sustainability, because mainly due to the use of temperature reducing additives, during the machining process it is possible to work with a temperature of at least 30°C less when compared to hot mix asphalt. The additives have surfactant properties that tend to decrease the viscosity of the asphalt binder, thereby improving the coating of the stone aggregates, even at lower temperatures. WMA is a less rigid material and is therefore more susceptible to sinking wheel tracks, yet it is also more fatigue resistant, which can extend pavement life. As the source of energy used to heat the raw material is usually a fossil fuel, we also have a decrease in the emission of polluting gases. With this, he perceived a number of favorable factors, both sustainable and technical, to the use of warm mix asphalt in the context of flexible pavements.

Keywords: Warm mix asphalt ; Flexible flooring; Sustainability

1. Introdução

O tema escolhido surge do interesse em buscar novas soluções para o déficit de pavimentação vivenciado pelo país. O transporte desencadeia uma importância fundamental nos países em desenvolvimento. Independentemente dos diferentes pontos de vista econômico, político ou social, para muitos cidadãos, o transporte é a mais importante indústria no mundo.

Um sistema de transporte inadequado afeta diretamente o setor agrícola, reduz a integração nacional, compromete a segurança, retarda o crescimento, etc. Deste modo, a performance do sistema de transporte está diretamente ligada ao desempenho da economia. Este sistema é apontado como um fator determinante na melhoria no desenvolvimento econômico de um determinado local (PIRES, 2016).

No Brasil, o concreto asfáltico (CA) é material de uso mais disseminado, constituindo cerca de 98% dos revestimentos dos pavimentos nacionais. Na constituição de diferentes tipos de pavimentos, o revestimento asfáltico tem sido utilizado, perante diferentes solicitações: em rodovias com fluxo baixo de tráfego de veículos dentre outras com tráfego intenso e pesado. Autoestradas, corredores de ônibus entre outras aplicações são exemplificações desta aplicação (BERNUCCI, et al 2008).

Nos últimos anos, devido ao crescente número de tráfego de veículos e excesso de cargas, os pavimentos asfálticos brasileiros tem seu desempenho comprometido, desencadeando degradação precipitada. A falta de balanças para fiscalização de circulação de excessos de cargas, e o aumento do número de veículos pesados, fazem com que os pavimentos tenham suas vidas úteis, significativamente, reduzidas.

A carência de manutenção e o alto crescimento do tráfego comercial rodoviário contribuem para aumento do desafio de melhorar a vida útil dos pavimentos, adicionada a degradação dos mesmos, pois os pavimentos são concebidos para resistir a uma determinada condição de tráfego por um determinado período de tempo. Novas técnicas e novas matérias têm sido estudados nos principais centros de pesquisa, com objetivo de melhorar a qualidade das misturas e minorar a problemática de degradação precoce dos revestimentos. Além disso, estudos também visam diminuir a emissão de poluentes e o consumo de combustíveis durante o processo de fabricação das misturas asfálticas (PIRES, 2016).

As misturas asfálticas são classificadas principalmente pela da temperatura de produção e aplicação, sendo elas: misturas à frio (0° à 20°C), misturas semimornas (60° à 100°C), misturas mornas (100° à 150°C) e misturas quentes (150° à 180°C) (BERNUCCI, et al 2008).

Dentre as várias alternativas utilizadas na incorporação de misturas asfálticas é a adição de aditivo redutor de temperatura como agente melhorador de desempenho de concretos asfálticos. A inclusão de aditivo redutor de temperatura tem demonstrado melhora do desempenho das misturas asfálticas de várias maneiras, isso a partir de investigações de campo e investigações laboratoriais.

Após todo o exposto, esta pesquisa propõe-se, então, a analisar as características técnicas das misturas asfálticas mornas (WMA), bem como a implicação ambiental de sua utilização.

2. Metodologia

O presente trabalho limita-se a uma revisão bibliográfica sobre o uso de misturas asfálticas mornas (WMA) em pavimentos flexíveis. Os resultados aqui apresentados foram analisados de forma qualitativa e quantitativa e também são baseados em dados bibliográficos.

3. Revisão Bibliográfica

A seguir serão apresentados assuntos pertinentes ao entendimento do trabalho e sua relevância no meio técnico e acadêmico.

3.1. Malha rodoviária brasileira

Dados publicados, segundo o Sistema Nacional de Viação (SNV), apresentados no gráfico 1, indicam que 12,24% da malha rodoviária nacional é constituída de rodovias pavimentadas, 9,16% de rodovias planejadas e 78,60% de rodovias não pavimentadas (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT, 2015).

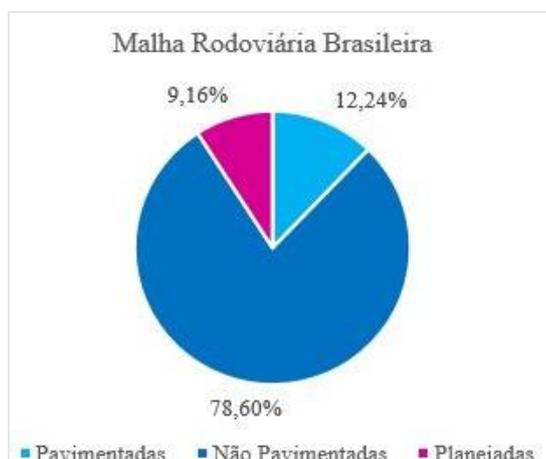


Gráfico 1 – Malha Rodoviária Brasileira. Fonte: DNIT (2015).

A precariedade da malha rodoviária brasileira apresentada no gráfico 1 é reforçada pelo Fórum Econômico Mundial (2017), no qual o Brasil situa-se na 103ª posição dentre os 137 países avaliados. Nesse quesito o Brasil recebeu a nota de 3,1 em um índice que varia de 1 (pior situação) a 7 (melhor situação).

Tais dados são a reflexão do que os usuários das rodovias brasileiras encontram diariamente. Segundo a Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2017) o uso de técnicas e principalmente materiais inadequados são causa disso.

3.2. Pavimentos Asfálticos

De acordo com Bernucci et al. (2008) pavimento é definido como estrutura de múltiplas camadas com espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem. Desenvolvida para suportar diferentes cargas aplicadas oriundas do tráfego de veículos e do clima, e a proporcionar aos usuários melhoria nas condições de rodagem, como segurança, conforto e economia.

Da mesma forma Papagiannakis e Masad (2008) afirmam que um pavimento pode ser definido como um sistema de multicamadas para o semi-infinito: distribuir forças verticais e horizontais originárias do trânsito, protegendo camadas inferiores do tempo e a fornecer aos usuários uma superfície regular e segura de modo a permitir que deslocamento seguro e econômico.

A pavimentação possui composição estrutural não perene, constituída por camadas sobrepostas de materiais compactados de diferentes constituições desde o subleito do corpo estradal. Este, apropriado a atender operacional e estruturalmente ao tráfego (resistir à ação), ao mínimo custo admissível e com durabilidade, considerados distintas maneiras para serviços de reabilitação, corretiva e de manutenção preventiva. Além disso, em questões estruturais, a estrutura é arquitetada para receber e transmitir esforços de forma atenuada, suavizando as pressões perante camadas mais inferiores, conseqüentemente, com resistência inferior (BALBO; 2007, p.35).

3.2.1. Tipos de Pavimentos

Segundo os autores Papagiannakis e Masad (2008), os pavimentos são divididos em três tipos gerais, designados pelos nomes de flexível, rígido e composto. Os pavimentos flexíveis consistem, normalmente, de concreto asfáltico posicionado acima de camadas de base e/ou sub-base granulares sustentadas pelo solo compactado, nomeado leito. Os pavimentos rígidos são constituídos de camadas de cimento Portland estruturado acima da camada do leito, com ou sem camada de base intermediária. Já pavimentos compostos são o resultado de reabilitação dos pavimentos, por meio do qual o concreto Portland é utilizado para revestir concreto asfáltico danificado, sendo então ação recíproca.

3.2.1.1. Pavimento Flexível

A definição dada por Yoder & Witczak (1975) e Pinto (2003) é de que o pavimento flexível (asfáltico) é uma estrutura de múltiplas camadas de agregados e presença de ligante asfáltico no revestimento, o que desencadeia uma das principais diferenças quando comparado ao pavimento rígido. As camadas de pavimentos flexíveis são executadas por diferentes materiais, não rígidos e que disseminam e transmitem os esforços às camadas abaixo, minorando as pressões que atuam na fundação do pavimento.

As camadas de composição do pavimento são distribuídas acima do subleito do terreno na maior parte das vezes, porém existem casos que nem todas as camadas são executadas, pelo motivo de desempenho de determinado material ou ao volume e intensidade de tráfego, assim ocasionando a dispensa de determinada camada. (Bernucci et al., 2008).

3.3. Misturas Asfálticas

Segundo as Especificações Gerais do DAER-RS (1998), a mistura asfáltica é uma mistura de agregados, fíler e cimento asfáltico, que dosados de forma exata desencadeiam benefícios ao revestimento quanto a resistência ao trincamento e à fadiga, impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade e durabilidade.

A fabricação e o tipo de ligante deste material de revestimento pode ser de duas formas, segundo a explicação que pode ser lida em Bernucci et al. (2008, p 158):

O material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são também identificados quanto ao tipo de ligante: a quente com o uso de CAP, ou a frio com o uso de EAP. As misturas usinadas podem ser separadas quanto à distribuição granulométrica em: densas, abertas, contínuas e descontínuas [...]. (BERUCCI et al., 2008, p 158).

De acordo com Motta (2011), misturas asfálticas baseiam-se, essencialmente, na combinação de materiais asfálticos com agregados pétreos, realizada em usina. A classificação dos diferentes tipos de misturas asfálticas poder ser de acordo com a temperatura de usinagem, a resultar em misturas asfálticas a quente, misturas asfálticas mornas, misturas asfálticas semimornas e misturas asfálticas a frio (MOTTA, 2011). A figura 1 ilustra os limites de temperaturas em que se estabelece as produções dos diferentes tipos de misturas asfálticas (frias, mornas e quentes), através no qual se obtém o consumo de combustível indispensável para sua usinagem.

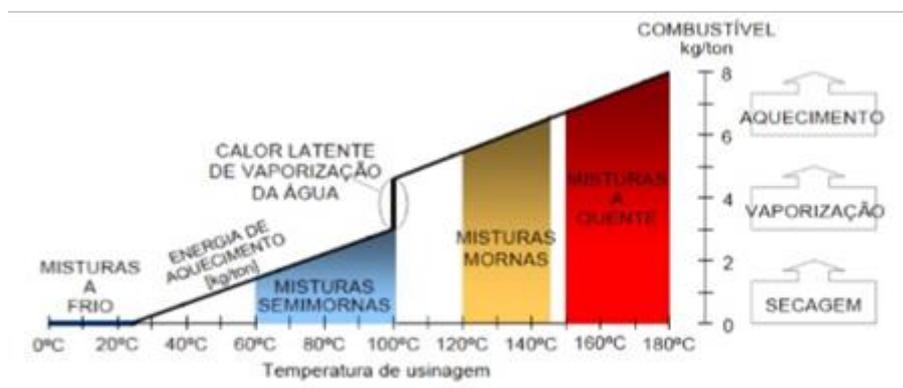


Figura 1 – classificação das misturas asfálticas em função da temperatura de produção (usinagem).

Fonte: Motta, Bernucci e Faria; 2012.

A figura 1 elucida o que antes foi descrito sobre a classificação das misturas asfálticas perante suas temperaturas de produção:

- Misturas à frio – 0° à 20°C;
- Misturas semimornas – 60° à 100°C;
- Misturas mornas – 100° à 150°C;
- Misturas quentes – 150° à 180°C.

Dentre a intermediariedade de temperaturas entre misturas à quente e misturas a frio, se situa as misturas mornas e semimornas, vindo a ser elaboradas por aquecimento parcial dos agregados e com utilização de emulsão ou de ligante asfáltico, tendo relação imediata com

a técnica a ser empregada. A diferenciação destes dois tipos de mistura está relacionada com a temperatura de usinagem, quando a temperatura for inferior a 100°C ela é classificada como semimorna, e quando superior é classificada como morna (D'ANGELO et al., 2008).

3.3.1. Misturas asfálticas mornas

As misturas asfálticas mornas (WMA) são misturas de concreto asfáltico (CA) originadas a partir de temperaturas inferiores, de pelo menos 30°C abaixo, quando comparadas a temperaturas tipicamente utilizadas na usinagem de misturas asfálticas quentes (NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2011).

Segundo Motta et al. (2013), na indústria da pavimentação, as misturas asfálticas mornas, veem ganhando seu espaço, através no qual a redução das emissões de poluentes e do consumo de energia aludindo a imagem de mistura asfáltica sustentável pelo motivo de redução de temperatura de produção e compactação no campo.

Nos Estados Unidos, a maior parte da indústria de asfalto estabelece a tecnologia de misturas asfálticas como um material, basicamente, com as mesmas propriedades de desempenho e composta de mesma mistura volumétrica básica em comparação as misturas convencionais à quente (HARRIGAN, 2012), porém está em uma escala menor em relação a temperatura de produção, com diminuição da proporção de temperatura de 28°C ou mais (BONAQUIST, 2011).

Futuramente, pode-se constatar que a produção de misturas asfálticas mornas substituíram as misturas asfálticas convencionais, mas, no Brasil, esse método ainda não é muito usado. O motivo do uso ainda não ser frequente, dar-se-á pela não existência de normatização de WMA, assim sendo, a utilização de misturas convencionais é optada por muitos engenheiros, mesmo tendo os conhecimentos dos resultados que as misturas poderiam ocasionar.

3.3.1.1. Comportamento Mecânico

A justificar a utilização dessa mistura, as WMA necessitam ter durabilidade, resistência e, também, propriedades de desempenho equivalente às misturas asfálticas a quente, empregando temperaturas de fabricação substancialmente restritas. As escalas de diminuição de temperatura tendem a ter variedade alta, conforme a tecnologia a ser usada e, também, das condições em que a mistura asfáltica será aplicada.

Baumgardner, Reinke, Brown (2012), Hanz e Bahia (2013) comentam que em pesquisas, algumas técnicas de WMA diminuíam a viscosidade do ligante asfáltico de maneira a melhorar o cobrimento dos agregados em temperaturas baixas, porém, tem-se constatado que a diminuição da viscosidade não é o mecanismo elementar da tecnologia, mas as características do ligante asfáltico que permitem a diminuição de temperatura na pavimentação. Baumgardner, Reinke, Brown (2012) desempenharam ensaios tribológicos ligante asfáltico tipo PG64-16 e PG64-22 e agentes surfactantes a aditivos orgânicos. A característica do ligante modificado é desencadeada pelo tipo de aditivo usado.

As vulnerabilidades das características das misturas mornas estão relacionadas a diversos fatores, por exemplo, a incorporação de diferentes tipos de aditivos, podendo atingir as

propriedades mecânicas da mistura, além da temperatura de cura que o agregado é submetido podendo afetar a resistência a danos ocasionados por umidade (AUSTROADS, 2012). Além disso, o estudo relata que, a longo prazo, a durabilidade do pavimento é influenciada pela variação de temperaturas na mistura do ligante asfáltico, como seu desempenho e tecnologia, como espuma asfalto, precisam de alterações nas especificações da usina de asfalto a contribuir para o aumento do custo da obra.

A deficiência de evaporação da água presente nos agregados é um receio quanto a redução de temperatura de produção, aumentando o potencial de dano na mistura por umidade retida, assim ocasionando carência na adesão entre o ligante e o agregado (ASCHENBERNER; SCHIEBEL; WEST, 2011; SEBBALY; HAJJ; HITTI, 2012). Aschenberner, Schiebel e West (2011) declaram perante análise da conclusão realizada pelo National Center of Asphalt Technology (NCAT) que as misturas asfálticas mornas tendem a diminuir levemente à resistência a tração indireta, essa desencadeada pela suscetibilidade a avaria por umidade removida do agregado. Segundo os mesmos autores, um ligante menos rígido poderia resultar com a diminuição da temperatura, partindo do princípio que a oxidação seja menor, desencadeando uma menor resistência perante o desenvolvimento de trilhas de roda e baixa resistência a tração, apesar disso, uma mistura com redizes menor pode apresentar maior resistência a fadiga, ampliando a vida útil do pavimento.

3.3.1.2. Redução da emissão de poluente e do consumo energético

A ideia da produção de misturas asfálticas com uma temperatura mais baixas originou a partir do processo de diminuição dos gases poluentes emitimos no meio ambiente, à saúde dos operários envolvidos no processo de execução da pavimentação, e ainda, procedimentos que compreendessem em um todo conceitos de sustentabilidade, desencadeando a utilização dos recursos disponíveis mais racional. Ainda, estudos realizados apontaram melhorias quanto ao desempenho mecânico destas misturas.

Segundo Motta (2011), durante a produção da mistura asfáltica, geram-se vapores (chamados de fumos de asfalto) que se condensam à medida que são resfriados. Nos fumos de asfalto existe a presença de substâncias que contribuem para o efeito estufa, como dióxido de carbono, dióxido sulfúrico, compostos orgânicos voláteis, monóxido de carbono e oxido nitrosos. Há também a presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) que são considerados substâncias cancerígenas. Quanto menor a temperatura de produção da mistura asfáltica, menor é a concentração desses poluentes, podendo esse ser considerado o maior benefício ambiental que as WMA podem oferece.

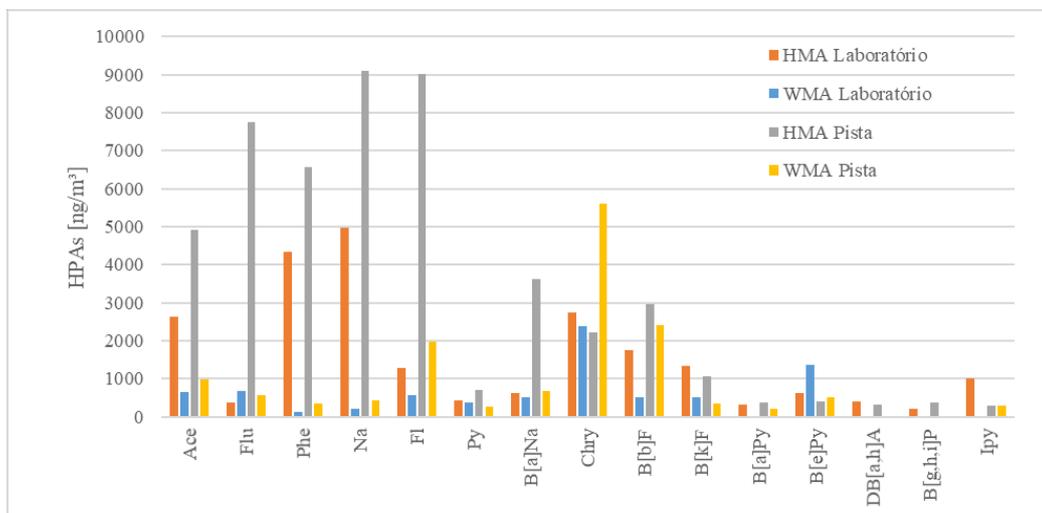


Gráfico 2 – Concentração de diferentes tipos de HPAs no fumo asfáltico (adaptado). Fonte: Motta; 2011.

No gráfico acima, Motta (2011) expõem poluentes do tipo hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), encontrados durante o processo de produção (em laboratório) e durante a aplicação na pista de misturas asfálticas quentes (HMA - usinagem a 180°C) e mornas (WMA - usinagem a 145°C). É possível perceber que as misturas do tipo HMA expõem muito mais poluentes, na ordem do 219% a mais para medições aferidas durante o processo de produção em laboratório e de 339% para pista. Esse grande aumento para as medições na pista pode ser atribuído a poluição pré-existente no ar. É importante salientar que tais poluentes podem variar com o tipo de material empregado no processo de usinagem, bem como o combustível utilizado.

De acordo com Frank et al. (2011) não pode haver mais dúvida que a usinagem de misturas asfálticas concebidas em temperaturas mais baixas economizará combustível, sendo assim, diminuirá as emissões oriundas da queima de asfalto. A diminuição de carbono é uma consequência das tecnologias de WMA que podem ser observadas como benefícios ambientais gerados, que em média ficam entre 10% a 15%. Porém, no estudo realizado pelo autor, as emissões provenientes do carregamento e descarregamento da usina não foram medidas, apenas relatado que eram visivelmente inferiores com WMA.

A diferença dessa usinagem, na geração de fumaça nociva, em que a mistura WMA apresenta é muito considerável na emanção de gases durante a usinagem em função da temperatura. Além desta diminuição de emissão na atmosfera, segundo Frank et al. (2011), constatou-se, também, uma economia a cerca de 35% de combustível.

4. Conclusões

No Brasil, o modal rodoviário possui utilização mais intensa (62,70%) se comparado com outros modais existentes. (ILOS, 2010). Porém, pelo seu maior uso no meio nacional torna sua importância incontestável, uma vez que mais da metade dos carregamentos são destinadas através das estradas. Em conformidade com Medina e Motta (2015), no Brasil, as rodovias transportam 96% e dos passageiros e 60% das cargas, ou seja, o uso dos pavimentos

é constante. O ideal seria possuir uma matriz de transporte balanceada, não utilizando com tanta intensidade as rodovias, assim preservando-as e tornando-as mais duradouras.

Em concordância com Balbo (2007, p. 15), a adequação das estradas são fundamentais para o País sair da área do espectro das nações desenvolvidas, assim oferecer maior acesso aos bens para seus habitantes e ainda:

A questão é de cidadania, muito mais grave e delicada que uma questão meramente econômica ou subordinada a interesses privados; é de interesse público. Sim, porque estradas servem para dar acesso: à educação e à saúde [...]; à cultura e ao lazer [...]; ao convívio social [...]; ao trabalho. No entanto, não se trata de privilégios de alguns grupos, pois suas gritantes deficiências [...] afetam todos, sem distinção de classe social, cor, credo e ideologia. (BALBO, 2007, p. 15).

A complementar seu raciocínio:

Pavimentar uma via de circulação de veículos é obra civil que enseja, antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (melhor conforto no deslocamento do veículo), uma superfície mais aderente (garantia de mais segurança em condições de pista úmida ou molhada), uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais), seja qual for a melhoria física oferecida. (BALBO, 2007, p. 15).

Esses fragmentos do autor permitem fazer uma relação com a Confederação Nacional do Transporte – CNT (2012), quando enfatiza que o aumento do consumo de combustível está diretamente relacionado a rodovias que apresentam algum tipo de comprometimento do pavimento, conseqüentemente, colaborando com uma maior emissão de poluentes. Indicações gerais mostram que 46% das rodovias do país estão classificadas como: regulares, ruins ou péssimas. Se o pavimento de todas as rodovias tivesse classificação boa ou ótima em 2012, seria possível uma economia de 616 milhões de litros de óleo diesel, ou seja, R\$ 1,29 bilhão e uma redução da emissão de 1,6 megatonelada de CO₂, principal gás de efeito estufa (CNT, 2012).

Além dos veículos emitirem menos poluente por transitar em pavimentos de boa qualidade, as misturas mornas (WMA) por utilizar menos combustível no seu processo de fabricação também acabam por contribuir com a redução na poluição. Há também que se considerar o benefício a saúde do trabalhador que atua nos processos de usinagem, espalhamento, compactação da mistura asfáltica, etc., pois há uma enorme redução de poluentes presentes no fumo de asfalto, ao qual ele está diretamente submetido.

O temor da utilização de uma diferente tecnologia da que se está comumente acostumado, pode ser entendido como um problema a ser superado para se ter uma maior utilização de misturas mornas em nosso país. O incentivo e suporte de agências e instituições e, ainda, constituição de parcerias entre os centros acadêmicos e a indústria podem avançar no emprego destas tecnologias. (D'ANGELO et al., 2008).

Referências

ASCHENBERNER, T; SCHIEBEL, B; WEST, R. Three-year of de Colorado Department of Transportation's warm mix asphalt experimental feature on I-70 in Silverthone, Colorado. National Center of Asphalt Technology, Auburn, Alabama. 2011.

AUSTROADS. Review of overseas trials of warm mix asphalt pavements and current usage by Austroads members. Austroads. Sydney, 2012.

BALBO, Jose Tadeu. Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558p.

BALBO, J. T. Terminologia de Materiais e Pavimentos. Notas de aula, 2002.

BAUMGARDNER, G. L., REINKE, G. R., BROWN, J. Lubricity properties of asphalt binders used in hot-mixer and warm-mixer asphalt pavements. 5th E&E Congress EUROASPHALT & EUROBETUME CONGRESS. 2012. Disponível em: <<http://www.eecongress2012.org/?s=home>>. Acesso em out. 2017.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 1ª ed. (3ª reimpr.) Rio de Janeiro: PETROBRÁS, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO, 2008 (reimpr. 2010), 504 p.

BONAQUIST, R. Mix design practices for warm mix Asphalt. NCHRP report 691. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. Washington D.C., 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES - CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial. Brasília, 2017. 403p. Disponível em: <[http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20\(2017\)%20-%20BAIXA.pdf](http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/Pesquisa%20CNT%20(2017)%20-%20BAIXA.pdf)>. Acesso em: 16 jan. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT. Pesquisa CNT de rodovias 2017: relatório gerencial. Brasília, 2012. 408p. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/Documents/Arquivos%202012/resumo_pd_2410.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

D'ANGELO, J. D.; HARM, E.; BARTOSZEK, J.; BAUMGARDNER, G.; CORRIGAN, M.; COWSERT, J.; HARMAN, T.; JAMSHIDI, M.; JONES, W.; NEWCOMB, D.; PROWELL, B.; SINES, R.; YEATON, B. Warm-mix asphalt: european practice. International Technology Scanning Program. Virginia: FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2008.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO RIO GRANDE DO SUL – DAER-RS. Especificações gerais. Porto Alegre, 1998. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/upload/arquivos/201607/27150257-especificacoes-gerais-1998.pdf>>. Acesso em 05 mar. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. SNV 2015 completo. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/sistemanacional-de-viacao/sistema-nacional-de-viacao>>, Acesso em: 08 out. 2017.

ECHEVERRIA, José Antônio Santana. Notas de aula da disciplina de Rodovias II. – UNIJUÍ – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2017.

FRANK, B.; PROWELL, B. D.; HURLEY, G. C.; WEST, R. C. Warm mix asphalt (WMA) emission reductions and energy savings. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, 2011.

HANZ, A. J., BAHIA, H. U., Asphalt Binder Contribution to Mixture Workability and Application of Asphalt Lubricity Test to Estimate Compactability Temperatures for Warm Mix Asphalt. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2371. p. 87-95. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2013.

HARRIGAN, E. T. Research Results Digest 374: A proposed technology evaluation program for warm mix asphalt. Transportation Research Board of the National Academies. Washington D.C., 2012.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura M. G. Mecânica dos Pavimentos. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005. 574 p.

MOTTA, R. dos S. Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e consumo energético. 2011. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. Mix design practices for warm mix asphalt. Washington D. C.: Transportation Research Board, 2011. Report 691.

PAPAGIANNAKIS, A. T., MASAD, E. Pavement design and materials. Hoboken, N.J., John Wiley, 2008. 544 p.

PIRES, G. M. **Sustainable asphalt for surface courses:** maximising recycling by minimising the impact. 2015. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – School of Civil Engineering, The University of Nottingham, Nottingham. 2015.

SEBBALY, P. E.; HAJJ, E. Y.; HITTI, E. Performance of recycled rubber modified binders in warm mix Asphalt mixtures. Asphalt Rubber Conference 2012 Munich. Munich, Alemanha, 2012.

WORLD ECONOMIC FORUM. The Global Competitiveness Report 2017-2018. Geneva, Switzerland. Disponível em: <<http://reports.weforum.org/global-competitivenessindex-2017-2018/countryeconomy-profiles/#economy=BRA>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

YODER, E. J., WITCZAK, M. W. (1975). Principles of Pavement Design. 2. New York, John Wiley & Sons Inc., 1975.