

O EMPREGO DE CONCRETOS ESPECIAIS NA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS MUSICAIS

Letícia R. Pimentel¹, Maria T. G. Barbosa^{1,2*} e Iara F. Santiago¹

¹*Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 36036-900, MG, Brasil*

²*Departamento de Construção Civil, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 36036-900, MG, Brasil*

Palavras-chave: Estrada Musical, Asfalto, Concreto.

Resumo. As estradas musicais surgiram na Dinamarca, em 1995, com o intuito de diminuir o número de acidentes de trânsito, visando influenciar os motoristas a dirigirem numa determinada velocidade. A geração da melodia ocorreu através de pequenos dispositivos circulares alocados no asfalto em distâncias previamente calculadas, de modo que a passagem dos pneus numa certa velocidade produzisse uma repetição periódica que emitia sons, ou seja, notas musicais. Salienta-se que técnicas desenvolvidas posteriormente, como a execução de ranhuras no pavimento e a colocação de tiras elevadas no asfalto, produzem o mesmo efeito. Atualmente, existem estradas musicais no Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul, China e Taiwan, cumprindo não apenas a função de segurança no trânsito, mas, incentivando o turismo. Como restrição a esse procedimento, destacam-se os serviços de execução dos detalhes construtivos, que exigem alta precisão, pois erros, mesmo que desprezíveis, alteram a geração sonora e a percepção auditiva. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa entre os diferentes tipos de concreto, desde convencional aos especiais, nomeando vantagens e desvantagens, visto que poderão ser intercalados a outros tipos de pavimentos, como por exemplo os flexíveis (asfalto). Sendo assim, foi efetuada uma extensiva revisão bibliográfica acerca do tema em questão e dos materiais propostos. Finalmente conclui-se que é possível obter uma estrada musical eficiente, durável e com custo acessível com a escolha de materiais adequados.

Endereços de e-mail: leticia.rodrigues@engenharia.ufjf.br, teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br*, iarafsantiago@gmail.com.

THE USE OF SPECIAL CONCRETES IN THE CONSTRUCTION OF MELODY ROADS

Keywords: Musical Road, Asphalt, Concrete.

Abstract. The musical roads were originated in Denmark, in 1995, with the objective of to reducing the number of traffic accidents aiming to influence drivers to drive at a certain speed. The generation of melody occurred through small circular devices placed on the asphalt at previously calculated distances, so that passing the tires at a certain speed produced a periodic repetition that emitted sounds, that is, musical notes. It is noted that techniques developed later, such as the use of grooves and rumble strips on the asphalt, have the same effect. There are currently musical roads in Japan, the United States, South Korea, China and Taiwan, not only fulfilling the role of road safety, but also encouraging tourism. As a restriction to this procedure, it can be highlighted the execution of the constructive details, which requires a high precision, because even minimal errors can alter the sound generation and the auditory perception. In this context, the purpose of this paper is to do a comparative analysis among different types of concrete, from conventional to special, naming advantages and disadvantages, since they can be interspersed with other types of pavements, such as the flexible ones (asphalt). Thus, it was done an extensive literature review about the topic in question and the proposed materials. Finally, it concludes that efficient, durable and affordable musical roads are possible with the employment of appropriate materials.

1 INTRODUÇÃO

A música tem sido utilizada como recurso artístico, didático e até mesmo terapêutico, dada sua capacidade de estimular as pessoas física e psicologicamente. Há diversos estudos que comprovam sua eficácia ao trazer benefícios para a saúde, o corpo e a mente [25]. Nesse contexto, e considerando o crescente número de acidentes de trânsito por todo o mundo, as estradas musicais surgiram com o objetivo de mitigar este índice e estimular os motoristas a dirigirem numa velocidade controlada.

Criadas em 1995 por dois artistas dinamarqueses, Steen Krarup Jensen e Jakob Freud-Magnus, a obra recebeu o nome de “*asphaltophone*”. O princípio baseia-se na modificação do pavimento, por meio de dispositivos que geram pequenas elevações ou ranhuras no asfalto, cujas distâncias uns dos outros são previamente calculadas [14]. A passagem dos veículos numa certa velocidade faz com que o contato entre os pneus e as alterações do pavimento aconteçam em certas frequências, sendo que cada frequência dentro do espectro sonoro corresponde a um som. Os sons gerados na extensão da estrada musical são, propositalmente, notas musicais ordenadas, que formam uma melodia a ser ouvida pelas pessoas que estão dentro e fora do veículo naquele trecho. Assim sendo, estrada musical é o termo utilizado para se referir a trechos de estrada que produzem melodias devido a passagem dos veículos no asfalto a uma determinada velocidade. Também são chamadas de *melody roads*, *musical roads*, *singing roads* ou *highways* e, atualmente, existem em cinco países do mundo, cumprindo não apenas a finalidade inicial de contribuir para uma maior segurança no trânsito, mas também, e principalmente, incentivando o turismo nas cidades em que foram implantadas. Há relatos de uma estrada musical na Holanda que foi retirada devido ao incômodo de moradores próximos e de uma que está sendo feita na Hungria, porém ainda há escassez de dados, informações e pesquisas acerca do tema [14].

Dentre as técnicas empregadas para a construção de estradas musicais podem ser citadas: a execução de cortes diretos no pavimento, formando ranhuras ou *grooves*; a colocação de marcadores de pavimento em relevo, como *bott dots* (não reflexivos e circulares, semelhante ao que se conhece como “tartarugas” ou “tachões”) e *rumble strips* (conhecidos por “avisos sonoros”, feitos com tiras de elevações ou rebaixos no asfalto, ou ainda com faixas de borracha coladas sobre a via). O dimensionamento é feito calculando-se a espessura das ranhuras ou dos dispositivos e as distâncias entre eles. A execução deve seguir rigorosamente o projeto, já que são procedimentos que exigem alto nível de precisão. As distâncias entre uma ranhura e outra podem ser de poucos centímetros e, quando não atendidos, podem acumular erros por um longo trecho e distorcer toda a melodia proposta, como ocorreu na estrada musical de Lancaster, nos Estados Unidos [14].

A fim de se evitar possíveis erros na execução dos detalhes construtivos na construção de estradas musicais, a confecção de placas de concreto em laboratório apresenta-se como uma alternativa viável, já que conterão elevações ou ranhuras, espaçadas de acordo com o cálculo das frequências das notas e serão fixadas no asfalto, no trecho escolhido da estrada, possibilitando, inclusive, a garantia da qualidade dos serviços executados.

No entanto, o desempenho e a durabilidade do concreto podem ser prejudicados devido a sua deterioração, configurando a “perda” de propriedades importantes e possibilitando o surgimento de manifestações patológicas, causadas, por exemplo, por agentes agressivos de natureza química, física e/ou biológica. As causas podem ter origem no material ou erros na fase de planejamento, projeto, execução ou manutenção da obra, e necessitam de intervenções distintas de reparo e recuperação.

Diante do exposto, destacam-se os concretos especiais, que visam corrigir possíveis deficiências do material por meio da aplicação de diferentes procedimentos, adições e

aditivos, em prol do prolongamento de sua vida útil.

Este trabalho pretende realizar uma análise comparativa entre os diferentes tipos de concreto, desde o convencional aos especiais, nomeando suas vantagens e desvantagens, a fim de se avaliar o tipo mais adequado a ser empregado na confecção de placas para estradas musicais, considerando, principalmente, os quesitos de resistência mecânica, durabilidade e custo-benefício. Para atender ao objetivo proposto efetuou-se uma extensiva revisão bibliográfica acerca do tema em questão e dos materiais propostos, em prol da segurança no trânsito e dos seres vivos.

2 CONCRETOS ESPECIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE PLACAS MUSICAIS

O uso da pedra na construção civil é conhecido desde a antiguidade, principalmente pelos egípcios, gregos e romanos, que utilizavam a cal hidráulica e o cimento pozolânico como aglomerante. O cimento Portland foi criado em 1824, na Inglaterra, e a primeira aplicação do “cimento armado” foi a construção de um barco em 1849, por Lambot, na França e, desde então, tem sido cada vez mais utilizado graças ao aprimoramento dos materiais e técnicas construtivas.

O concreto convencional, constituído pela mistura de água, cimento Portland e agregados (miúdo e graúdo) possui ampla utilização devido às suas vantagens como, por exemplo, resistência mecânica, segurança contra incêndio, dentre outras. Em resumo, é um material versátil e apropriado para ser utilizado, inclusive, na fabricação de placas para construção de estradas musicais.

Entretanto, há necessidade de adequar as suas desvantagens, como: a baixa resistência à tração e ductilidade, a ocorrência de fissuras, a transmissão de calor e som, a degradação pela presença de agentes químicos (como: ácidos, sulfatos, água e cloretos, reação álcali-agregado e carbonatação), deterioração biológica (ação de algas, fungos, bactérias, plantas e raízes, líquens, protozoários) e deterioração física (desgaste superficial ou perda de massa devido à abrasão, erosão e cavitação; fissuração devido a variações de temperatura, umidade, pressão, carregamento estrutural ou condições extremas) [11].

Neste contexto, diversos pesquisadores buscam aprimorar algumas propriedades do concreto a fim de combater os agentes de degradação, garantindo um melhor comportamento em busca de melhoria de desempenho e durabilidade em diferentes condições de exposição, possibilitando o surgimento de concretos ditos *especiais*.

Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014 [1], os principais mecanismos de deterioração do concreto são a lixiviação, a expansão (por reações entre sulfatos com a pasta de cimento e entre álcalis do cimento e agregados reativos) e reações deletérias superficiais de agregados provenientes de materiais ferruginosos. A deterioração da armadura pode ocorrer em razão da despassivação por carbonatação ou elevado teor de agentes agressivos, como cloretos; já a deterioração da estrutura pode suceder devido a movimentações de origem térmica, ações cíclicas, retração e fluência.

Cabe mencionar que a associação de aditivos e adições possibilita a criação de concretos especiais, que têm sido alvo de muitas pesquisas nas últimas décadas [4]. Dentre os concretos especiais, aborda-se, nesse trabalho, os que apresentam possibilidade de aplicação na composição de estradas musicais, expondo suas características, vantagens e desvantagens mais relevantes a seguir.

- concreto colorido (CC): formado pela adição de pigmentos inorgânicos à base de óxidos, geralmente na proporção de 2 % a 6 % em relação ao peso do cimento e possui função estética. Paris e Chusid [13] citam como principais vantagens: a durabilidade da cor, a economia em relação ao acabamento e manutenção; porém, exige maior controle na

fabricação a fim de garantir a homogeneidade da mistura e evitar a ocorrência de eflorescência, amarelecimento e desgaste ao longo do tempo. Sessa e Oliveira [17] estudaram a influência do teor de pigmento nas cores verde, vermelho e preto sobre propriedades de resistência à compressão, absorção de água por capilaridade e por imersão e análise colorimétrica após ciclos de molhagem e secagem, sendo que os resultados obtidos não apresentaram diferenças significativas em relação ao concreto de referência;

- concreto auto adensável (CAA): caracterizado pela maior presença de agregados finos, com incorporação de aditivos (superplastificantes) e/ou adições minerais que conferem ao material maior fluidez e estabilidade [18]. Destaca-se pela capacidade de enchimento através de seu próprio peso, sem ocorrer segregação de seus componentes eliminando o uso de vibradores e possuindo baixa permeabilidade e, conseqüentemente, alta durabilidade. Em contrapartida, os custos são elevados em comparação ao tradicional;

- concreto de baixa retração (CBR): formado por adição de macrofibra sintética, aditivos poliméricos surfactantes ou agentes expansivos, que reduzem a retração do concreto e/ou aumentam sua resistência à tração a partir da diminuição da tensão superficial da pasta. Assim sendo, possui como principais vantagens a redução da permeabilidade e dos efeitos de retração; maior ductilidade e melhoria na resistência à tração, ao impacto, à fadiga e à abrasão. Entretanto, necessita maior controle técnico e possui custo elevado [23];

- concreto poroso (CP): também conhecido como concreto sem finos ou concreto *drenante*, é um tipo de concreto leve e sua principal característica é a ausência de agregados miúdos. Dentre as principais vantagens, destacam-se a infiltração da água da chuva no solo; a redução do efeito urbano da ilha de calor e a absorção de ruídos gerados entre os pneus e o pavimento; conferindo maior segurança nas estradas. O alto índice de vazios, porém, reduz sua resistência e durabilidade [12];

- concreto condutor de eletricidade (CCE): é um compósito formado pelo concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) e materiais condutores, como fibras de carbono, fibras de aço, lã de aço e grafite, ou magnetita (neste caso, como substituta dos agregados miúdos). Segundo Arabzadeh et al. [3], a fibra de carbono é o componente mais utilizado para este fim, por ter melhor afinidade com o composto asfáltico, tendo como vantagens a capacidade de aquecimento resistivo do pavimento, que permite realizar o degelo das estradas durante o inverno, atenuando a formação de fissuras e ampliando a vida útil. Em contrapartida, há exigências na determinação da dosagem ótima, pois quanto maior a quantidade de fibras de carbono, maior o índice de vazios, podendo comprometer as propriedades importantes do concreto. Ao mesmo tempo, por ser uma pesquisa recente e ainda em fase de testes, o custo do CCE pode ser até 50 % maior que o CAUQ convencional;

- concreto autolimpante (CAL): formado pela adição de dióxido de titânio (TiO_2) na pasta de cimento. A grande vantagem é seu efeito de autolimpeza e de despoluição, ao entrar em contato apenas com água, oxigênio do ar e luz solar [9]. As principais desvantagens, porém, estão relacionadas ao alto custo, ao desgaste precoce da superfície e à colmatção;

- concreto autocicatrizante (CAC): a capacidade de autocura ocorre através da produção de carbonato de cálcio ($CaCO_3$), composto capaz de preencher os vazios e as fissuras do concreto. Para esse fim, os procedimentos existentes são: cura autógena, encapsulamento de material polimérico e atuação microbiana (biomineralização), sendo este último o mais eficaz [16]. Há redução da porosidade e permeabilidade do concreto, dos custos com manutenção e tratamentos de reparação, além do menor consumo de cimento, que também

contribui para diminuição da emissão de CO₂ na atmosfera. Entretanto, devido à escassez de estudos, os custos são muito elevados;

- concreto modificado com polímeros (CMP): formado pela substituição parcial do cimento por resinas poliméricas (epóxi, poliéster, vinílica, fenólica etc.) sendo possível complementação de aditivos. Segundo Hameed e Hamza [10], as principais vantagens são maior resistência química, à abrasão e a gelo/degelo, melhor resistência à flexão e tração, baixa porosidade e permeabilidade, que resultam em maior durabilidade. Contudo, apresenta alta exigência técnica e sua utilização é limitada no Brasil devido à ausência de normas técnicas e poucas pesquisas relacionadas ao assunto;

- concreto reforçado com fibras (CRF): o reforço do concreto com adição de fibras (de aço, nylon, vidro, polipropileno, etc.) visa o maior controle de fissuração e a melhoria nas propriedades mecânicas do material. Pode ser feita hibridação entre duas ou mais fibras, e os benefícios em geral estão ligados à maior resistência à tração e à flexão, maior ductilidade e durabilidade [21]. Silva e Gaiofatto [20] realizaram testes com adição de fibras de polipropileno em concretos nos teores 1 %, 3 % e 5 %, resultando em perda de resistência à compressão e tração, porém ganho de tenacidade e ductilidade. Foram observadas também dificuldades de adensamento e homogeneização da mistura. As desvantagens, em geral, variam de acordo com o tipo de fibra e dosagem utilizada, relacionando-se principalmente à trabalhabilidade, módulo de elasticidade, carbonatação e retração diferencial;

- microconcreto (MC): formado por agregados graúdos de dimensões inferiores aos concretos convencionais. Os microagregados possuem, no máximo, 6,4 mm e demandam um maior volume da pasta de cimento. Com isso, a mistura possui maior plasticidade e trabalhabilidade, sendo utilizados para reparos, peças de pouca espessura ou densamente armadas. Como desvantagens, possui menor resistência à tração e comportamento global mais frágil. De acordo com Silva et al. [19], ainda há carência em pesquisas sobre várias características importantes do comportamento do MC, relacionadas à carbonatação, fluência e retração, por exemplo;

- concreto de alto desempenho (CAD): possui resistência entre 50 MPa a 120 MPa, a partir da redução do fator água/cimento, uso de aditivos (superplastificantes) e adição mineral (sílica ativa). Suas grandes vantagens são alta resistência, durabilidade, baixa porosidade e permeabilidade. Pode apresentar, porém, retração autógena e fissuração precoce, conforme Wu et al. [22]. É indicado para estruturas mais exigentes e possui custo mais elevado; e

- concreto de ultra alto desempenho (CUAD): O concreto de ultra alto desempenho é caracterizado pela ausência de agregados graúdos e utilização de microfibras, podendo apresentar resistências de 200 MPa a 800 MPa. Utilizado para fins industriais e militares, suas vantagens além da alta resistência à compressão são: maior durabilidade, ductilidade e trabalhabilidade, menor tempo de construção e eliminação do uso de armaduras [24]. Ao mesmo tempo, em razão do baixo teor água/cimento, possui permeabilidade ínfima, além de alta exigência técnica e alto custo.

3 PAVIMENTOS DE CONCRETO

A utilização de concretos em pavimentos tem sido cada vez mais comum, tanto em calçadas, pátios, composição asfáltica, dentre outras aplicações. Os pavimentos de concreto podem ser flexíveis (blocos intertravados) ou rígidos (placas de concreto simples ou armado), cujo atendimento das características quanto à resistência e durabilidade depende também da constituição e execução adequada da camada de base, sub-base e subleito, além das juntas de

dilatação que permitem a transferência de cargas entre os blocos ou placas, trabalhando em conjunto [7].

De acordo com a norma ABNT NBR 9781:2013 [2], as peças de concreto para pavimentação são componentes pré-moldados de concreto, utilizados como material de revestimento em pavimento intertravado, definição que abrange as placas para estradas musicais pretendidas nesta pesquisa, sendo que tais peças devem seguir as especificações e métodos de ensaio presentes nesta norma.

As propriedades mais significativas do concreto para pavimentos são a resistência à compressão, diretamente relacionada ao fator água/cimento; a resistência à tração na flexão, relacionada à interface pasta-agregado, à textura e forma do agregado graúdo. Neste estudo, as duas resistências foram englobadas na propriedade de resistência estática, que deve ser definida de forma a permitir a absorção de movimentações, a acomodação de deformações e a dissipação de tensões, por meio da dosagem correta dos materiais e levando em consideração os aspectos de uso, tais como: abrasão, tráfego de diferentes tipos de veículo e intempéries [6].

Outras propriedades importantes avaliadas foram a resistência à abrasão (ou ao desgaste), relacionada ao fenômeno de exsudação (ascensão da água do concreto, provocando um aumento da porosidade na superfície da placa e reduzindo sua resistência mecânica), ao teor de finos e à trabalhabilidade do concreto; a resistência aos agentes agressivos, sejam de origem química, física ou biológica, que podem provocar a ocorrência de manifestações patológicas no material; a resistência à fadiga, ligada ao processo de degradação progressiva na microestrutura do material sob atuação de carregamento cíclico (no caso do tráfego de veículos, a tensão e frequência do carregamento são altamente variáveis), podendo levar à formação ou propagação de microfissuras e até mesmo à sua ruptura [5]; a retração por secagem (ou retração hidráulica), que é a redução do volume do concreto devido à evaporação da água excedente na mistura, podendo ocasionar fissuração precoce [15].

Além disso, foram analisadas a durabilidade do material, com base nas propriedades citadas anteriormente; a sustentabilidade inserida na escolha dos materiais, nos procedimentos de execução e manutenção ao longo de sua vida útil; e, por fim, o custo estimado de implantação, operação e manutenção dos tipos de concreto escolhidos, que se configura como um dos principais fatores levados em consideração pelos empreendimentos e profissionais do ramo.

4 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA APLICABILIDADE DOS CONCRETOS ESPECIAIS

Considerando a aplicabilidade, versatilidade e durabilidade do concreto na fabricação de pavimentos, ao apresentar-se como um material que proporciona uma superfície destinada à circulação de pessoas, animais e veículos, sendo confeccionado sobre um terreno firme e tornando-se durável frente à presença de cargas, agentes climáticos e efeitos abrasivos do trânsito, elaborou-se uma análise comparativa entre os diversos tipos de concretos especiais passíveis de serem aplicados na construção de estradas musicais, a fim de se avaliar, nas propriedades requeridas ao fim que se destina, qual (is) o(s) mais indicados para este fim.

Nesse contexto, apresenta-se a Tabela 1, onde destacam-se as principais características dos concretos especiais relacionadas à sua aplicabilidade em rodovias.

Salienta-se que na análise das propriedades dos concretos especiais foi adotada sua correlação com as características mínimas necessárias de um sistema de pavimentação para tráfego, admitindo-se uma pontuação apresentada em uma escala comparativa que varia de 1 a 3, onde 1 refere-se a uma propriedade menos favorável, 2 a uma propriedade intermediária e

3 a uma propriedade mais favorável, sempre correlacionando ao concreto convencional. Tal procedimento foi adotado a fim de se efetuar uma análise que possibilitasse definir o tipo de concreto mais adequado ao emprego na confecção das placas musicais.

Tabela 1 - Análise comparativa entre os Concretos Especiais

Propriedades	Tipos de Concreto Especial											
	CC	CAA	CBR	CP	CCE	CAL	CAC	CMP	CRF	MC	CAD	CUAD
Resistência estática	2	2	2	1	2	2	2	3	3	2	3	3
Resistência à abrasão	2	2	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Resistência a agentes agressivos	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	3	3
Resistência à fadiga	2	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Retração por secagem	2	1	3	2	2	2	2	3	3	1	2	2
Durabilidade	2	3	3	1	3	3	3	3	3	2	3	3
Sustentabilidade	2	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3
Custo	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Pontuação total	15	16	20	14	18	17	18	18	22	15	19	19

Analisando, portanto, a Tabela 1, verifica-se que o concreto reforçado com fibras é o mais favorável para a utilização colocada, pois são mais resistentes e apresentam vantagens em sua sustentabilidade e durabilidade sem onerar significativamente o custo. Cabe destacar que o emprego das fibras na fabricação do concreto, independentemente do tipo (metálica, sintética etc.), restringe a propagação das fissuras, reduz a exsudação e, conseqüentemente, incrementa a proteção à penetração de agentes agressivos, logo, aumenta a durabilidade. Esse fato representa, em menor escala, o efeito causado pelo concreto autocicatrizante e de baixa retração [8].

Em contrapartida, os concretos que apresentam resultados adequados são: modificado com polímeros, condutor de eletricidade, autocicatrizante, de baixa retração, de alto e ultra-alto desempenho. Apesar de apresentarem vários benefícios apontados na Tabela 1, sua restrição (desvantagem) está associada ao custo de fabricação, seja pela aquisição dos materiais e/ou pela necessidade de uma equipe técnica altamente qualificada que garanta a adequada produção do produto, já que se enquadram em tecnologias inovadoras para o setor da construção civil, os denominados *concretos de última geração*. Esses produtos atendem as exigências técnicas e ambientais cada vez mais restritivas para o concreto convencional.

No que se refere ao concreto autolimpante, autoadensável, microconcreto, o concreto colorido e o concreto poroso, estes possuem limitações para a aplicabilidade em rodovias. Entretanto, tornar-se-ão adequados desde que monitoradas e/ou controladas suas principais desvantagens, a saber: a retração por secagem, a resistência e a durabilidade.

Deve-se destacar a possibilidade de associação dos diferentes tipos de concreto, que minimizariam, podendo inclusive eliminar, as deficiências de alguns tipos, como exemplo, o CRF + CC, ou melhor, um concreto colorido reforçado com fibras já que permitiria a distinção das placas musicais na rodovia com os benefícios do emprego das fibras na fabricação do produto.

Outra possibilidade vantajosa é o emprego do concreto com fibras associado ao auto cicatrizante; nesse caso, o incremento da vida útil das placas musicais poderia ser considerado infinito e, que ainda poderia ser incremento, com o emprego dos autolimpantes. Entretanto, há

carência de estudos que comprovem essa eficiência.

E, finalmente, no que se refere aos demais concretos (auto adensável, microconcreto, alto desempenho e ultra alto desempenho), destacam-se suas vantagens para confecção de peças densamente armadas e/ou de difícil confecção, como no caso dos detalhes construtivos a serem confeccionados nas placas musicais, que requerem um minucioso e preciso detalhamento. Sendo assim, o alto custo poderá ser minimizado ao longo da vida útil da rodovia, principalmente se considerarmos os benefícios gerados aos usuários e se for assegurado o perfeito comportamento durante a vida útil da rodovia, com a inserção, por exemplo, de fibras ao produto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estradas musicais, que estimulam os motoristas à redução da velocidade através da manutenção de velocidade recomendada pelos órgãos competentes, a qual possibilita a audição da música impressa na pista, visa estimular o condutor a uma direção mais “divertida” e segura, já que a pessoa que passar sobre as ranhuras a uma velocidade acima do permitido escutará a música distorcida.

A utilização de concretos especiais na construção de placas para estradas musicais é uma alternativa viável e benéfica. E, nesse sentido, efetuou-se uma minuciosa análise das principais vantagens e desvantagens dos concretos especiais, destacando-se o concreto reforçado com fibras.

Salienta-se que a associação entre os demais concretos especiais foi analisada buscando minimizar suas deficiências, como, por exemplo, o concreto reforçado com fibras + concreto colorido + autolimpante, que se destaca pela associação de qualidades dos produtos e minimização dos defeitos, necessitando de estudos mais detalhados acerca do emprego desses materiais.

Outras sugestões também podem ser propostas, já que as “combinações” possibilitam a obtenção de algumas melhorias, principalmente com relação ao aumento da resistência e, conseqüentemente, de sua durabilidade.

Agradecimentos

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo n. 303385/2019-7) e à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2014.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2013.
- [3] A. Arabzadeh, M. ali Notani, A. Zadeh, A. Nahvi, A. Sassani e H. Ceylan. Electrically conductive asphalt concrete: An alternative for automating the winter maintenance operations of transportation infrastructure. *Composites Part B:Engineering*, 173, 2019.
- [4] A. Castro e V. Pandolfelli. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. *Cerâmica*,

55(333):18-32, 2009.

- [5] T. C. Cervo. *Estudo da Resistência à Fadiga de Concretos de Cimento Portland para Pavimentação*. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, Brasil, 2004.
- [6] Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT). *NORMA DNIT 090-ES: Patologias do concreto – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2006.
- [7] J. C. Fernandes. *Fabricação e caracterização de compósitos de concreto com adição de fibra de coco para confecção de pisos permeáveis*. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda – RJ, Brasil, 2018.
- [8] A. Figueiredo. Concreto com fibras. In: *Concreto – pesquisa, ensino e realizações*. Ed. G. C. Isaia. IBRACON, 2005.
- [9] A. Folli, C. Pade, T. Hansen, T. de Marco e D. Macphee. TiO₂ photocatalysis in cementitious systems: Insights into self-cleaning and depollution chemistry. *Cement and Concrete Research*, 42:539–548, 2011.
- [10] A. M. Hameed e M. T. Hamza. Characteristics of polymer concrete produced from wasted construction materials. In: *Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability*, 5, EURACA, Athens, 2018.
- [11] G. Isaia. *Concreto: ciência e tecnologia*. IBRACON, 1ª edição, 2011.
- [12] E. E. Martinez, V. A. Valeri, D. J. Espino e J. R. Hernandez. Review of porous concrete as multifunctional and sustainable pavement. *Journal of Building Engineering*, 27, 2019.
- [13] N. Paris e M. Chusid. Color in Concrete: Beauty and Durability. *Concrete International*, 21(1):60–63, 1999.
- [14] L. Rodrigues. *Estradas musicais: origem, aplicação e seus efeitos nas rodovias*. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora – MG, Brasil, 2018.
- [15] P. P. F. Rodrigues, B. M. Faria e J. B. R. da Silva. *Novos critérios para pavimentos industriais de concreto armado*. Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2015.
- [16] M. Seifan, A. Samani e A. Berenjian. Bioconcrete: next generation of self-healing concrete. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100:2591–2602, 2016.
- [17] G. Sessa e A. Oliveira. Influência do teor de pigmentos inorgânicos nas propriedades físico-mecânicas e de durabilidade de concretos de cimento Portland branco. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis*, 13(1):62–77, 2019.
- [18] C. Shi, K. Lv e L. Wu. A review on mixture design methods for self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 84:387–398, 2015.
- [19] R. V. da Silva, E. Bacarji e O. Cascudo. Mapeamento literário sobre o microconcreto. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 15(1):1–16, 2019.
- [20] T. Silva e R. Gaiofatto. Desenvolvimento de concreto de pós reativos (RPC) com fibras sintéticas. *Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis*, 7(1), 2012.
- [21] S. Teng, V. Afroughsabet e C. P. Ostertag. Flexural behavior and durability properties of high performance hybrid-fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 182:504–515, 2018.
- [22] L. Wu, N. Farzadnia, C. Shi, Z. Zhang e H. Wang. Autogenous shrinkage of high performance concrete: a review. *Construction and Building Materials*, 149:62–75, 2017.

- [23] P. Zhan e Z. Hai. Application of shrinkage reducing admixture in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 201:676–690, 2019.
- [24] M. Zhou, W. Lu, J Song e G. C. Lee. Application of Ultra-High Performance Concrete in bridge engineering. *Construction and Building Materials*, 186:1256–1267, 2018.
- [25] P. Zuben, *Música e Tecnologia: o som e seus novos instrumentos*. Irmãos Vitale, 2004.