COMPARAÇÃO ENTRE REVESTIMENTOS DE PAVIMENTOS CONVENCIONAIS E PERMEÁVEIS VISANDO A REDUÇÃO DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES NO MEIO URBANO.

Fernando Arthur de Araújo Moura[1], Daniela da Costa Leite Coelho[2]

*[1] Graduando do Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia, UFERSA, Mossoró - Rio Grande do Norte, Fone (84) 99912-40342. E-mail: nando.arth@gmail.com. Autor(a) apresentador(a) correspondente *.*
[2] Doutora em Manejo de Solo e Água, Professora Adjunta, UFERSA, Mossoró - Rio Grande do Norte, Fone (84) 98830-9726. E-mail: daniela.coelho@ufersa.edu.br.

Resumo: O crescimento desenfreado das cidades sem o devido planejamento acarreta em problemas para a população, como é o caso dos alagamentos e enchentes que são causados pelas precipitações pluviométricas e pela baixa permeabilidade do solo. Esses fenômenos são fruto da impermeabilização dos solos através das construções, sendo uma delas os pavimentos. Os pavimentos mais usuais no Brasil são tidos como quase impermeáveis, sendo assim os pavimentos permeáveis surgem como uma alternativa aos convencionais, com o intuito de permitir o escoamento da água através dele. Tendo isso em mente, este trabalho buscou comparar tecnicamente dois tipos de pavimentos convencionais (concreto e asfáltico) e dois tipos de pavimentos permeáveis (concreto poroso e blocos de concreto intertravados). As comparações foram feitas a partir do levantamento de dados, por meio da literatura, de resistência a compressão, resistência a tração, permeabilidade e vida útil desses tipos de pavimentos. Com base nas análises dos dados levantados, verificou-se que os resultados foram satisfatórios para o pavimento de blocos de concreto intertravados, mostrando-o como uma boa opção de substituição dos pavimentos convencionais. Já o concreto poroso se mostrou pouco resistente, podendo ser utilizado apenas para locais com pouca distribuição de cargas.

Palavras-chave: Concreto poroso. Intertravado. Permeabilidade. Drenagem.

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras crescem aceleradamente desde a década de 60, quando começou o movimento de êxodo rural no Brasil. Desde então o processo de urbanização é continuado e problemático. Ugeda Junior (2004, p.9) [1] definiu a urbanização brasileira como um drama com implicações graves, causado pelo crescimento acelerado e sem o devido respeito com as condições mínimas para o desenvolvimento, como a infraestrutura e o planejamento.

A falha de planejamento no processo de urbanização pode acarretar uma série de problemas, como é o caso das enchentes e dos alagamentos nas cidades. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, mais de 8,2 milhões de pessoas estavam em áreas de riscos naturais, como enchentes, desabamentos, inundações (IBGE, 2018) [2].

As enchentes e alagamentos são inconvenientes vividos no meio urbano que geram danos sérios a população. Esses fenômenos são resultados da falta de planejamento das cidades que continuam se desenvolvendo sem pensar em como contornar esses problemas. “O contínuo desenvolvimento das cidades tende a aumentar as áreas impermeáveis e a diminuir a capacidade de permeabilidade do solo.” (SALES, 2008, p.5) [3].

Como Sales (2008) [3] bem pontuou, enchentes e alagamentos acontecem devido às precipitações e à baixa permeabilidade do solo das cidades. Isso se deve ao fato de que os pavimentos e construções que ocupam os solos das cidades possuem baixa permeabilidade ou até mesmo impermeabilidade total, impedindo assim que a água precipitada através das chuvas possa ser absorvida pelo solo.

Os pavimentos foram definidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) como sendo “a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito.” (BRASIL, 2006) [4]. No Brasil os tipos de pavimentos mais comuns são os de pavimentação asfáltica, sendo seguido então do de pavimentação de concreto, porém a grande maioria se restringe ao primeiro tipo (SILVA et al., 2018) [5].

Além dos pavimentos convencionais não apresentarem permeabilidade suficiente para escoar águas precipitadas e/ou provenientes de enchentes, as cidades têm se mostrado ineficientes quanto a drenagem destas.

"A gestão da drenagem urbana na maioria dos municípios brasileiros ainda não é vislumbrada com a devida importância, dada a ausência de um planejamento específico para o setor." (CRUZ; SOUZA; TUCCI, 2007) [6].

Dado o problema com enchentes e alagamentos vivido pelos brasileiros, surgem métodos que otimizam drenagem urbana com o intuito de minimizar tais problemas. Um desses métodos é a utilização de pavimento permeável. As enchentes, particularmente, são um pouco mais difíceis de serem combatidas porque dependem do nível de água dos rios para acontecer. Porém as inundações, causadas pelas enchentes, e os alagamentos, causados pela chuva, podem ser combatidos ou minimizados com a utilização de pavimentos permeáveis. Isso acontece porque eles irão "auxiliar a redução da velocidade de escoamento superficial" (SALES, 2008, p.5) [3].

Os pavimentos permeáveis foram definidos por Ferguson (2005) [7] como sendo aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura por onde a água pode atravessar. Mais recentemente, Suzuki, Azevedo e Kabbach Júnior (2014) [8] definiu pavimentos permeáveis como sendo aqueles que permitem passagem da água da chuva e do derretimento da neve. Essas conceituações sobre o material possibilitam entender mais claramente como ele pode ser utilizado com o objetivo de evitar problemas com inundações, enchentes e alagamentos, uma vez que ele possui espaços livres na sua estrutura que servirão como caminho para a passagem da água do meio externo para o solo.

Como destaca Monteiro (2010, p. 12) [9], os pavimentos permeáveis incluem asfalto e concretos porosos, blocos vazados e alguns outros materiais. Eles têm como objetivo promover a infiltração, armazenamento e percolação da água recebida através do escoamento superficial. Essa água é armazenada temporariamente no terreno e depois é absorvida de forma gradual pelo substrato do solo.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), com o seu programa Soluções para Cidades de 2013, trouxe informações quanto aos pavimentos permeáveis, como os locais indicados para a aplicação dos mesmos. São eles: áreas industriais, galpões, pátios, ruas com tráfego leve, condomínios e conjuntos habitacionais, praças, calçadas e estacionamentos (ABCP, 2013) [10].

Existem estudos que trazem vantagens de se optar pela utilização do pavimento permeável. O estudo de Pinto (2011) [11] afirma que pavimentos que possuem revestimento de concreto permeável tendem a reduzir o risco dos fenômenos de aquaplanagem, erosão do solo e ruído causado pelo contato entre o pneu e o pavimento. Como o pavimento tende a escoar a água da superfície do revestimento rapidamente, evita-se o surgimento das lâminas de água que resultam na aquaplanagem.

A ABCP (2013) [10] traz, além de vantagens, algumas precauções ao se optar pelo pavimento permeável. Algumas das vantagens proporcionadas por esse tipo de pavimento é a possibilidade de recarga das reservas de água subterrâneas, a redução das dimensões do sistema de drenagem a jusante e a melhoria da qualidade das águas, uma vez que a água seria filtrada no corpo do pavimento. Já as precauções ficam devido ao risco de poluição do lençol freático a partir do material infiltrado e o risco de colmatação[1] (OLIVEIRA, 2017) [12].

Assumindo os vários tipos de pavimentos permeáveis como alternativas aos pavimentos convencionais utilizados no Brasil, esta pesquisa, por meio de revisão de estudos, objetivou, primeiramente, compreender a utilização e eficácia dos pavimentos permeáveis em relação a prevenção de alagamentos e enchentes no meio urbano, e, posteriormente, avaliar, por meio de comparativos, a viabilidade técnica e econômica do material de pavimentos permeáveis (concreto poroso e blocos de concreto intertravados) e de pavimentos convencionais (concreto e asfáltico) para a sua aplicação nas cidades, analisando dados de resistência a compressão, resistência a tração, permeabilidade e vida útil desses tipos de pavimentos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Metodologia

O presente artigo trata-se de uma revisão bibliográfica, de caráter qualitativa, que buscou o seu embasamento em artigos, trabalhos científicos, livros, normas técnicas, pareceres de órgãos públicos e matérias jornalísticas. Os dados coletados nos meios citados foram analisados de forma a estabelecer comparativos entre tipos de pavimentos e então, a partir disso, pode-se construir análises e critérios em relação ao uso do pavimento do tipo permeável.

Foram levantados dados relacionados a quatro tipos de pavimentos, sendo dois deles impermeáveis e dois deles permeáveis. Os pavimentos que tiveram os dados coletados são: pavimentação de concreto com cimento Portland, pavimentação de concreto asfáltico, pavimentação de blocos de concreto intertravados e pavimentação de concreto poroso permeável. Os dois primeiros citados possuem caráter impermeável e os dois últimos, caráter permeável.

A primeira etapa do trabalho, antes de se analisar os dados recolhidos nas referências, consistiu em descrever os tipos de pavimentação que foram comparados. Nessa etapa, pode-se entender melhor a composição de cada tipo de pavimentação, bem como a metodologia utilizada para a sua aplicação. Além disso, também foi possível observar as vantagens e desvantagens de adotar cada um dos tipos dentro do meio urbano.

A partir dos dados levantados referentes aos quatro tipos de pavimentação já citados, traçou-se comparativos entre critérios técnicos dos materiais, como é o caso da resistência mecânica, o índice de permeabilidade e a vida útil, e critérios econômicos dos materiais, onde se considerou possíveis custos de implantação dos tipos de

[1] Se refere ao possível acúmulo de detritos nos poros, diminuindo a permeabilidade.

pavimentos dentro do meio urbano, considerando tanto em relação aos custos dos materiais utilizados quanto aos custos necessários para a sua aplicação.

2.2 Caracterização dos tipos de pavimentação

2.2.1 Pavimentação de concreto com cimento Portland

A pavimentação de concreto já foi utilizada em larga escala no Brasil no período datado entre 1926, ano da primeira utilização, até o início da década de 50, pouco tempo após o fim da segunda guerra mundial. Essa mudança se deu devido ao crescimento do setor de construção civil que passou a utilizar uma enorme quantidade de cimento Portland, fazendo a pavimentação migrar para outro método construtivo. A partir de 1998, o concreto voltou a ser utilizado para construção de rodovias (SILVA et al., 2018) [5].

A caracterização da resistência mecânica do concreto foi realizada a partir do estudo de Zanella (2014) [13] que submeteu um traço de concreto semelhante ao utilizado no pavimento da Universidade de São Paulo (USP) a testes de resistência. Com esse estudo, pode-se obter a resistência média a tração na flexão de 3,97 Mpa, e a resistência a compressão axial igual a 30,85 Mpa. Importante salientar que os dados analisados aqui foram referentes a ruptura do concreto após cura úmida e quando atingiu a idade de 28 dias.

Uma das grandes vantagens do pavimento de concreto é a sua alta durabilidade, bem como a sua pouca necessidade de manutenção. Senço (1997) [14] destaca a informação de que a vida útil de projeto para este tipo de pavimento é de 20 anos, podendo ser estendida caso ele esteja submetido a manutenção periódica. Essa alta durabilidade e baixa necessidade de manutenção são fatores, a longo prazo, que barateiam o custo da sua implantação.

Diferentemente de Senço (1997) [14], que trouxe dados da vida útil de projeto do pavimento de concreto, Ferreira (2015) [15] trouxe a reflexão sobre a grande durabilidade do concreto para um caso prático. A referida autora usou como exemplo uma rodovia construída na serra de Itaipava, em Teresópolis no Rio de Janeiro-RJ. A rodovia em questão foi construída em 1928 e que se mantinha em ótimo estado até a publicação da sua pesquisa. Ela ainda traz na sua pesquisa a grande resistência desse pavimento a óleos, combustíveis e efeitos de frenagem, o que seria favorável a utilização do concreto em pavimentos com grande fluxo.

O pavimento de concreto tem como característica ser pouco, ou quase nada, permeável. Pereira (2011) [16] destaca em seu estudo valores de permeabilidade calculados para alguns tipos de concreto, variando pelo seu tipo de cura e fator água/cimento. No respectivo estudo realizado, o valor adotado como parâmetro para o concreto de pavimento foi o concreto após 365 dias, com cura ambiente, uma vez que sua produção será em larga escala e ao ar livre, e fator água/cimento igual a 0,50, uma vez que o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (BRASIL, 2004) [17] define que este valor tem que ser entre 0,40 e 0,56. O valor encontrado foi de 0,0007088 cm s^{-1}, ou, trazendo o valor para notação científica, 7,088 x 10^{-4} cm s^{-1}.

2.2.2 Pavimentação asfáltica

A pavimentação asfáltica se encaixa dentro dos classificados como pavimentos flexíveis. Eles são definidos pelo DNIT (BRASIL, 2006) [4] como sendo aquele que sofre uma deformação elástica significativa em todas as suas camadas quando submetido a um esforço. Com essa informação, pode-se inferir que esse tipo de pavimento se diferencia do pavimento de concreto devido a sua característica de se deformar quando submetido a esforços, diferente do pavimento de concreto que é considerado rígido.

A pavimentação asfáltica ganha esse nome devido ao material que é utilizado no seu revestimento. Esse revestimento é composto por "uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade [...]" (BERNUCCI et al., 2008) [18].

Bernucci et al. (2008) [18] traz na sua pesquisa a informação de que o concreto asfáltico é o revestimento utilizado na maioria dos pavimentos brasileiros. A Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2017) [19] traz na cartilha (Pavimento rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?) publicada em 2017 a informação de que 99% da malha viária do país é composta por pavimento flexível (asfalto).

A resistência a compressão simples é um dos parâmetros mecânicos a se levar em consideração nas análises dos pavimentos. No caso do pavimento de asfalto, Silva (2014) [20] trouxe em sua pesquisa um ensaio de compressão simples realizado a partir do traço disponibilizado pelo consórcio TransCarioca. Os resultados do ensaio trouxeram uma resistência média a compressão, após 28 dias, de 4,06 MPa. Apesar desse valor ter sido encontrado nos ensaios, o autor traz que a resistência a compressão mínima trabalhada pela TransCarioca é de 5 MPa, sendo assim, para efeito comparativo, esta pesquisa utilizou o valor mínimo adotado.

Outro dado importante é a resistência a tração. Para o caso dos pavimentos flexíveis, essa grandeza é calculada através do ensaio de resistência a tração por compressão diametral. O DNIT (BRASIL, 2006) [4] informa que o valor mínimo adotado para a camada de rolamento do pavimento flexível é de 0,65 MPa. Silva (2014) [20] obteve resultados superiores ao mínimo em seus ensaios, chegando ao valor médio de 1,87 MPa. Para efeito comparativo utilizou-se o valor encontrado na pesquisa.

O pavimento asfáltico possui uma vida útil menor se comparado com o pavimento rígido de concreto. Fransozi (2014) [21] fez uma análise de vida útil de um trecho da BR 386/RS, onde nessa análise a autora apurou que a vida útil de projeto do pavimento era de 10 anos. Porém, ao realizar ensaios e simulações chegou-se a um valor menor que o projetado, sendo este igual a 5,4 anos, com um nível de confiabilidade de 95%. A autora destacou que essa redução de 46% na vida útil se deu principalmente devido ao alto tráfego a qual o pavimento foi submetido. Para efeitos comparativos, utilizou-se o valor de 5,4 anos. Segundo Silva Filho (2011) [22], os pavimentos flexíveis possuem vida útil máxima de 10 anos e requerem manutenção com 5 anos, dessa forma o valor encontrado por Fransozi (2014) [21] é coerente e justifica o seu uso.

O asfalto com o qual é produzido o pavimento tem características de impermeabilidade. Silva (2005) [23] pesquisou sobre a permeabilidade em pavimentos asfálticos de granulação aberta. Na sua pesquisa, o autor citado comparou os valores dos pavimentos asfálticos objeto da sua pesquisa com os valores encontrados para pavimentos de concreto betuminoso usinado a quente, bastante utilizado nos pavimentos brasileiros. Após os ensaios ele traz na pesquisa o valor da permeabilidade para esse tipo de pavimento com média de $9{,}442 \times 10^{-6}$ cm s^{-1}, valor considerado como praticamente impermeável na escala de permeabilidade do asfalto.

2.2.3 Pavimentação de concreto permeável

O concreto permeável (ou poroso) é, segundo Gartland (2008) [24], composto por ligante hidráulico, material britado com graduação uniforme, agregado miúdo em pequena ou nenhuma quantidade, e água. Ele é utilizado como um pavimento permeável devido a sua característica de permitir a passagem da água da sua superfície para o substrato. Outra característica interessante trazida pelo referido autor é a menor temperatura de superfície do concreto poroso se comparado com o convencional ou com o asfáltico.

Uma desvantagem do concreto poroso quando comparado ao convencional é a sua menor resistência a compressão. Monteiro (2010) [9], na sua pesquisa, dosou dois traços diferentes para concreto permeável, onde obteve resultados referentes a resistência a compressão, resistência a tração na flexão, dentre outras propriedades do material.

Para a presente pesquisa será levada em conta a dosagem mais eficiente para a tração na flexão. Essa escolha se deu porque o DNIT (BRASIL, 2005) [25], na segunda edição do seu manual de pavimentos rígidos, diz que o pavimento de concreto deve ter resistência a tração de flexão maior ou igual a 4,5 MPa. Dessa forma a dosagem levada em conta se trata do traço 1:3 com fator água cimento igual a 0,26.

Monteiro (2010) [9] obteve que o valor médio para a resistência a compressão do concreto poroso é de 9,39 MPa, enquanto que o valor médio de resistência a tração na flexão é de 0,90 MPa. A autora em questão não fez testes de permeabilidade, porém fez uma demonstração da ação do concreto permeável quando a passagem de água lhe foi solicitada (Figura 1).



Figura 1. Demonstração de permeabilidade do concreto permeável. Fonte: Monteiro (2010) [9].

De acordo com o que foi dito anteriormente, esse concreto não poderia ser utilizado para parte estrutural da pavimentação, porém, ainda poderia ser utilizado para partes não estruturais, como revestimento de superfícies expostas a movimentação de cargas moderadas.

Alencar (2013) [26] traz na sua pesquisa um outro tipo de concreto permeável, sendo ele preparado a base de argamassa de alta resistência (AAR), que segundo ele é um material pré-fabricado e de emprego ideal para a construção de concreto poroso. Com isso, o autor citado obteve valores consideráveis de resistência a compressão, tendo como média 20,07 MPa, além de permeabilidade média de $1{,}22 \times 10^{-3}$ cm s^{-1}.

O concreto poroso, como foi visto anteriormente, permite a passagem de água em seu interior. Isso acontece devido ao seu índice de permeabilidade. Segundo Azzout et al. (1994) [27], citado por Acioli (2005, p.19) [28], a

permeabilidade para este tipo de concreto deve estar contida em um intervalo que varia de 0,8 a 1,8 cm s^{-1}. Para efeito comparativo será adotado o valor médio do intervalo, ou seja, 1,3 cm s^{-1}.

Comparando-se os valores de resistência mecânica obtidos por Alencar (2013) [26] e Monteiro (2010) [9], pode-se perceber que o concreto do estudo de Alencar (2013) [26] seria mais adequado para a construção de pavimentos. Porém, vale salientar que o valor de permeabilidade de obtido para esse concreto foi mais alto do que o valor indicado por Azzout et al. (1994) [27], citado por Acioli (2005) [28]. Isso acontece porque a impermeabilidade do concreto está diretamente ligada à sua resistência mecânica. Pode-se então deduzir que ambos os concretos podem ser utilizados, porém com fins e funcionalidades diferentes.

A vida útil de um pavimento é um fator que deve sempre ser levado em consideração na escolha do tipo de pavimento ideal para cada ocasião. O concreto poroso possui um diferencial na sua vida útil se comparado com alguns outros métodos construtivos. Isso porque, segundo Araújo et al. (2000) [29], citado por Alencar (2013) [26], ele possui uma vida útil global que varia entre 20 e 40 anos, não necessitando de tantas manutenções, como é o caso do pavimento asfáltico, por exemplo.

2.2.4 Pavimentação com blocos de concreto intertravados

A pavimentação com blocos de concreto intertravados consiste na alocação de maciços de concreto pré-moldados que serão dispostos de maneira intertravada sobre o substrato do pavimento. Segundo Fioriti (2007) [30], o intertravamento é a capacidade que o material tem de resistir aos movimentos e deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação às peças adjacentes. Algumas vantagens desse tipo de pavimentação se dão devido a sua fácil aplicação, sua rápida liberação para o uso, sua praticidade de manutenção, bem como a acessibilidade as redes subterrâneas (WIEBBELLING, 2015) [31].

A estrutura para esse tipo de pavimentação é muito simples, Wiebbelling (2015) [31] traz na sua pesquisa uma ilustração (Figura 2) que representa o esquema construtivo do pavimento com blocos de concreto intertravado desde o seu subleito. Observando a Figura 2, pode-se entender o porquê desse pavimento ser permeável, uma vez que sua estrutura é composta por brita graduada e areia, permitindo assim que a água perpasse entre os blocos de concreto e continue infiltrando-se até encontrar o subleito, onde ela será entregue ao solo.

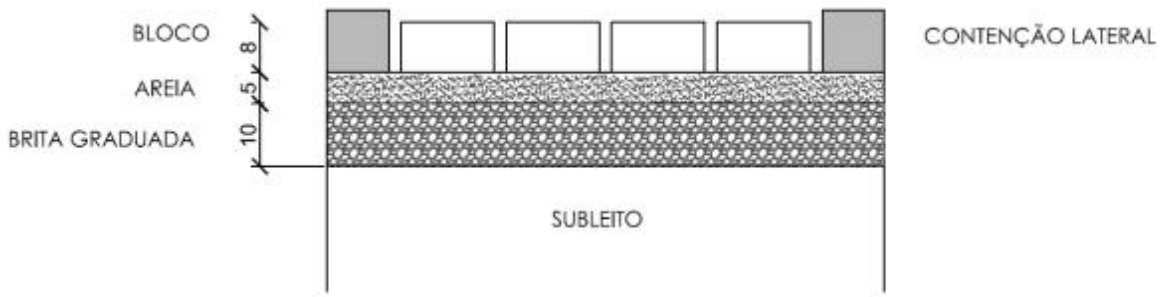


Figura 2. Seção tipo do pavimento com blocos de concreto intertravado. Fonte: Wiebbelling (2015) [31].

Wiebbelling (2015) [31] trouxe na sua pesquisa dados experimentais referentes a resistência a compressão. Esses resultados foram obtidos pela autora através de ensaio para nove (9) blocos de concreto com cura úmida e 24 horas de vida. O valor médio de resistência a compressão encontrado por ela foi de 39,55 MPa, sendo este superior aos 35 MPa, estabelecido pela Norma Brasileira NBR 9.781 de 2013 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT , 2013) [32], que classifica o concreto como indicado para uso por tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha. O dado mostra uma resistência considerável, porém o ensaio foi feito no início da vida do concreto, o ideal seria o ensaio do concreto com 28 dias.

Silva et al. (2017) [33] ensaiaram corpos de prova de concreto com e sem adição de borracha com utilização prevista para pavimentação de intertravados. O ensaio de resistência à compressão foi realizado com o concreto possuindo 7 dias de vida e foi feita uma projeção de resistência para o concreto com 28 dias de vida. O resultado obtido para os 7 dias foi de 45,3 MPa e a projeção para o concreto com 28 dias foi de 60,4 MPa. A resistência obtida classifica o concreto, de acordo com a NBR 9.781 (ABNT, 2013) [32], para uso de tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados. O valor levado em conta para efeito comparativo foi o de 60,4 MPa, uma vez que é o valor para o período mais utilizado na literatura.

Outro parâmetro relacionado a resistência mecânica do material é o de resistência à tração. A autora Santos (2014) [34] realizou ensaio para obtenção da resistência a tração através da flexão e obteve um valor médio de 10,1 MPa. Estabelecendo um comparativo com a resistência a tração mínima para um pavimento rígido de acordo com o DNIT (BRASIL, 2005) [25], o resultado supera com sobras o valor de 4,5 MPa exigido pelo órgão.

O pavimento composto por blocos de concreto intertravados possui faixas de rejunte entre as peças pré-moldadas. Esse rejunte é preenchido por agregados que conferem ao pavimento certa permeabilidade. De acordo com Martins (2014) [35], caso o rejunte e a base de aplicação dos blocos sigam as granulometrias indicadas na

literatura, o pavimento alcançará um coeficiente de permeabilidade de 3,5 x 10^{-3} m s^{-1}. Convertendo o valor para a unidade que foi utilizada para essa pesquisa, o valor chega a 0,35 cm s^{-1}.

Devido aos blocos do pavimento intertravado serem produzidos com concreto, eles possuem vida útil considerável. Fioriti (2007) [28] destaca em suas pesquisas que essa vida útil pode chegar até 25 anos se o pavimento for construído respeitando os requisitos básicos, com uma sub-base bem preparada, blocos de concreto de qualidade e assentamento correto.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de resistência a compressão, resistência a tração, permeabilidade e vida útil, obtidos através dos estudos destacados anteriormente na revisão bibliográfica para os quatro tipos de pavimentos analisados, presentes na Tabela 1, foram comparados entre si e comparados com as normatizações e convenções vigentes no Brasil, com o intuito de discutir possíveis substituições dos pavimentos convencionais por pavimentos permeáveis.

Tabela 1. Valores das propriedades analisadas de diferentes tipos de pavimentos.

Tipos de pavimentos	Resistência a compressão (MPa)	Resistência a Tração (MPa)	Permeabilidade (cm s^{-1})	Vida útil (anos)
Pavimento de concreto	30,85	3,97	7,088 x 10^{-4}	20
Pavimento asfáltico	5	1,87	9,442 x 10^{-5}	5,4
Concreto poroso ou permeável	9,39	0,9	1,3	20,0 à 40,0
Bloco de concreto intertravado	60,4	10,1	0,35	25

Fonte: Adaptado pelo autor.

2.3.1 Resistência a compressão

Ao analisar os valores de resistência a compressão (Tabela 1) obtidos para cada um dos tipos de pavimentos analisados, pode-se perceber que o pavimento de blocos de concreto intertravado foi o que apresentou maior valor, conseguindo se sobressair aos pavimentos impermeáveis de concreto e asfalto.

Já o pavimento de concreto poroso mostrou uma resistência a compressão abaixo dos demais pavimentos rígidos. Pode-se afirmar que essa baixa resistência se deu devido a sua alta porosidade, que por sua vez é inversamente proporcional à resistência a compressão. O pavimento de concreto asfáltico é o único que se encaixa na classificação de pavimentos flexíveis e obteve a menor resistência a compressão. Deve-se salientar que por mais que o valor para o concreto asfáltico tenha sido o segundo menor, o valor usado é o de projeto, ou seja, um valor que atende as necessidades de um pavimento.

Verifica-se que, com relação a essa propriedade, o pavimento de blocos de concreto intertravados mostrou-se uma opção interessante, uma vez que sua resistência a compressão se mostrou maior que a resistência a compressão dos pavimentos convencionais, tendo ainda o diferencial da sua alta permeabilidade.

2.3.2 Resistência a tração

A resistência a tração é uma grandeza que deve ser levada em consideração e possui caráter reprobatório quando assunto é pavimentos. Isso porque o DNIT (BRASIL, 2005) [25] traz a informação de que os pavimentos rígidos devem possuir resistência a tração mínima de 4,5 MPa, enquanto que o DNIT (BRASIL, 2006) [4] traz que a mínima resistência a tração para pavimentos flexíveis é de 0,65 MPa.

Os pavimentos convencionais, sendo eles o de concreto e o de concreto asfáltico, mostraram valores de resistência a tração suficientes para atender as exigências do DNIT.

É possível perceber que novamente o valor referente ao pavimento de concreto poroso é o menor dentre os quatro tipos analisados. O valor de resistência a tração obtido pelos ensaios de Monteiro (2010) [9] impediria que o mesmo fosse utilizado para pavimentação de acordo com o DNIT (BRASIL, 2005) [25]. Já o concreto poroso do estudo de Alencar (2013) [26] seria aprovado de acordo com esse mesmo parâmetro. Vale salientar que o concreto poroso estudado por Monteiro (2010) [9] ainda poderia ser utilizado para outros fins dentro do ambiente urbano, como a construção de passeios, praças, calçadas e áreas comuns que não tivesse tanta solicitação de cargas, contribuindo assim para o alívio da drenagem pluvial da cidade.

O concreto estudado por Alencar (2013) [26] poderia ser mais indicado para local com fluxo de veículos, aumentando um pouco a permeabilidade se comparado com um concreto convencional, enquanto que o concreto do estudo de Monteiro (2010) [9] poderia ser mais indicado para locais sem trânsito de veículos, como foi falado acima.

O pavimento intertravado mostrou resultados satisfatórios, de modo que o seu uso, sendo classificado como pavimento rígido, estaria dentro dos limites fixados pelo DNIT (BRASIL, 2005) [25] para o parâmetro de resistência a tração. Sendo assim, ele se mostra como uma alternativa mais permeável para os pavimentos convencionais.

2.3.3 Permeabilidade

Os pavimentos convencionais possuem característica de pouco permeáveis ou quase impermeáveis, sendo essa a problemática da sua utilização na totalidade da pavimentação no Brasil. O pavimento convencional de concreto obteve valor na casa de 10^{-4} cm s^{-1} e o pavimento de concreto asfáltico apresentou valor na casa de 10^{-5} cm s^{-1}. Esses dois tipos de pavimentos analisados, conforme esperado, apresentaram os menores valores ensaiados dentre as quatro opções estudadas. Ao se comparar, por meio de analogia, seus valores com os coeficientes de permeabilidade dos solos apresentados na Tabela 2, pode-se perceber que eles se encaixam na faixa de permeabilidade média.

Tabela 2. Valores típicos de coeficiente de permeabilidade de solos.

Tipo de solo	Coeficiente de permeabilidade k (m s^{-1})	Grau de permeabilidade
Brita	> 10^{-3}	Alta
Areia de brita, areia limpa, areia fina	10^{-3} a 10^{-5}	Média
Areia, areia suja e silte arenoso	10^{-5} a 10^{-7}	Baixa
Silte, silte argiloso	10^{-7} a 10-9	Muito baixa
Argila	< 10^{-9}	Praticamente Impermeável

Fonte: Adaptado pelo autor de Terzaghi e Peck (1967) [36] citado por Idalgo et al. (2018) [37].

Já o concreto poroso de Alencar (2013) [26] se apresenta com coeficiente de permeabilidade com grandeza aproximada de 10^{-3} cm s^{-1}, estando na zona de transição entre a média e a alta permeabilidade. Mostra-se como uma alternativa que além de atender os parâmetros de resistência mecânica, também possui permeabilidade considerável.

O concreto poroso do estudo de Monteiro (2010) [9] não apresentou valor numérico quanto a permeabilidade. Porém, pode ser utilizado o padrão comentado por Azzout et al. (1994) [27] de 1,3 cm s^{-1} para mostrar o alto nível de permeabilidade de um concreto mais poroso.

O pavimento de blocos de concreto intertravados apresentou uma ótima performance em relação a permeabilidade, uma vez que Martins (2014) [35] apresentou o valor de 0,35 cm s^{-1}. O valor se enquadra como permeabilidade alta e se mostra ser o segundo mais permeável dos quatro pavimentos comparados, ficando atrás apenas do concreto poroso.

2.3.4 Vida útil

Ao se comparar a vida útil de cada um dos pavimentos estudados, pode-se afirmar que o pavimento flexível de concreto asfáltico é o menos indicado para uso, visto que a sua vida útil é curta (5,4 anos) se comparado com os outros três tipos de pavimentos, uma vez que o seu valor é quase quatro vezes menor que os demais, requerendo manutenção mais rapidamente, o que por sua vez pode acabar elevando o custo do produto final.

Os outros três tipos de pavimentos possuem vida útil semelhante, variando de 20 a 40 anos, uma vez que todos eles possuem o concreto como base construtiva. De acordo com os dados levantados no presente estudo, tanto o concreto poroso quanto o piso intertravado se mostraram mais duráveis que o pavimento de concreto, que dentre os convencionais é o de maior vida útil. Nesse caso pode-se então afirmar que há ganho qualitativo na opção pelos pavimentos permeáveis estudados.

2.3.5 Custo

Ao tratar dos custos referentes a adoção de um dos métodos construtivos, deve-se levar em conta tanto o custo inicial, de aplicação do método, quanto o custo diluído referente a manutenções futuras. De posse dessa informação é possível perceber uma relação direta entre vida útil e custo, uma vez que uma baixa vida útil causará um elevado custo de manutenção.

Os dados referentes ao custo dos materiais e mão de obra necessários para a aplicação de cada tipo de pavimentação não se mostraram possíveis de serem discutidos devido a algumas dificuldades encontradas para obtenção dos mesmos.

Na bibliografia consultada não houveram dados representativos e que fossem possíveis de ser comparados. A impossibilidade de comparar os valores encontrados na literatura se deu devido a grande diferença de tempo entre a realização das pesquisas que traziam os dados para cada tipo de pavimento, bem como a distância geográfica das localidades entre os postos de pesquisa.

Em seguida, se cogitou ainda a realização de uma pesquisa de campo, porém, no município de Mossoró-RN, no qual foi realizado esse estudo, não existem empresas que trabalhem com todos os tipos de pavimentos objetos de estudo, impossibilitando o levantamento de todos os dados.

Além disso, houve-se receio quanto a representatividade dos dados levantados em um período de crise econômica, onde os insumos da construção civil mostram-se com grande variação de preços em pequenos espaços de tempo.

3. CONCLUSÃO

Os pavimentos permeáveis são alternativas sustentáveis e viáveis para a prevenção de alagamentos e enchentes no meio urbano. O pavimento de blocos de concreto intertravado, mostrou-se ser o mais satisfatório em relação a resistência mecânica e permeabilidade, tornando-se assim uma alternativa viável para a composição dos pavimentos. Observou-se que o concreto poroso ou permeável é pouco resistente, não sendo dessa forma alternativa para pavimentações de áreas que recebam grandes esforços. Entretanto, pode ser indicado para outras áreas comuns no meio urbano sem necessidade estrutural.

Não se obteve êxito na comparação entre a viabilidade econômica dos pavimentos estudados. Sendo assim, uma das sugestões de trabalhos futuros diz respeito a levantar esses dados de maneira representativa, conseguindo que todos eles tenham como base os mesmos preços para insumos. Para isso fica a sugestão de implantar essa pesquisa em uma localidade que ofereça base para os dados de todos os tipos de pavimentos estudados. Além disso, sugere-se que a comparação leve em conta previsões de custos com manutenção de possíveis patologias.

Uma recomendação para pesquisadores que desejem trabalhar com esse tema e com esses parâmetros é de ensaiar todos eles para todos os tipos de pavimentos, utilizando os mesmos insumos na composição dos pavimentos. Essa atitude dará mais equidade na hora de comparar os resultados.

Uma outra sugestão é que se faça levantamento quanto às patologias enfrentadas pelos quatro tipos de revestimentos de pavimentos, permitindo assim estabelecer relação com a durabilidade dos materiais, bem como com o custo demandado para resolução dessas patologias.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] UGEDA JÚNIOR, J. C. Urbanização brasileira, planejamento urbano e planejamento da paisagem. Presidente Prudente: Faculdade de Ciência e Tecnologia (FCT), Universidade Estadual Paulista, 2004.

[2] IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. População em áreas de risco no brasil. Rio de Janeiro, 2018.

[3] SALES, T. L. de. Pavimento permeável com superfície em blocos de concreto de alta porosidade. Florianópolis: UFSC, 2008.

[4] BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação. 3.ed. – Rio de Janeiro, 2006.

[5] SILVA, L. S. et al. Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema Bus Rapid Transit (BRT) - Belém - PA versus Fortaleza – CE. Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Belém, 2018.

[6] CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. Controle da drenagem urbana no brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2007.

[7] FERGUSON, B. K. Porous Pavements. Integrative Studies in Water Management and Land Development. Florida, 2005.

[8] SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. Drenagem subsuperficial de pavimentos. Conceitos e dimensionamento. Oficina de Textos. São Paulo, 2014. 1º edição.

[9] MONTEIRO, A. C. N. Concreto poroso: dosagem e desempenho. Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2010.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Projeto técnico: pavimento permeável. Brasil, 2013. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf. Acesso em 09/05/2021

[11] PINTO, L. L. C. A. O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano. USP- Biblioteca Digital. São Paulo, SP 2011. Disponível em http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-31082011-160233/pt-br.php. Acesso em 08/04/2021: s.n.

[12] OLIVEIRA, L. C. B. Análise da permeabilidade e da colmatação em concretos permeáveis com agregado reciclado de concreto. Campinas: Pontifícia Universidade Católica de Campinas. 2017

[13] ZANELLA, A. K. Análise das propriedades mecânicas de concretos para pavimentação empregando diferentes processos de cura. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2014.

[14] SENÇO, W. de. Manual de Técnicas de Pavimentação. 1ª Ed. Vol1. São Paulo: Pini, 1997.

[15] FERREIRA, L. A. Estudo sobre a durabilidade, sustentabilidade e competitividade dos pavimentos de concreto utilizados nas estradas de rodagem brasileiras. Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

[16] PEREIRA, V. M. Permeabilidade ao ar do concreto. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2011.

[17] BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Pavimento rígido – Estudos de traços de concreto e ensaios de caracterização de materiais – Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

[18] BERNUCCI, L. B. et al. Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS: ADEBA, 2008.

[19] CNT - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Transporte rodoviário: Por que os pavimentos do Brasil não duram? Brasília, 2017.

[20] SILVA, C. F. S. C. Análise de tensões em pavimentos a partir de modelo físico instrumentado. Rio de Janeiro: COPPE: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

[21] FRANSOZI, C. B. P. Previsão da vida útil de pavimento da BR-386/RS através do método mecanístico empírico. Lajeado: UNIVATES, 2014.

[22] SILVA FILHO, A. L. Estudo Comparativo de Viabilidade Técnica e Econômica Entre Pavimentos Rígido e Flexível Aplicados a Rodovia BR-408/PE. Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP, Caruaru, 2011.

[23] SILVA, C. E. D. B. D. da. Estudo da permeabilidade de misturas asfálticas de graduação aberta. Campinas: Universidade estadual de Campinas, 2005.

[24] GARTLAND, L. Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. 1ª ed. Oficina de textos. São Paulo, 2008.

[25] BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de pavimentos rígidos. 2. Ed – Rio de Janeiro, 2005.

[26] ALENCAR, P. C. D. de. Avaliação experimental do concreto poroso na atenuação do escoamento superficial em parcelas urbanizadas. Brasília: Universidade de Brasília, 2013.

[27] AZZOUT, Y. et al. Techniques alternatives en assainissement pluvial. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier, 1994.

[28] ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

[29] ARAÚJO, P. R. et al. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. Volume 5, n. 3, Jul/Set 2000. 21-29.

[30] FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. São Carlos, 2007.

[31] WIEBBELLING, P. O. G. Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na UNIVATES. Lajeado: UNIVATES, 2015.

[32] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

[33] SILVA, F. M. da. et al. Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.

[34] SANTOS, V. R. F. dos. Análise do desempenho de pisos táteis, intertravados, produzidos com agregados de resíduos de construção civil – RCC e fibras de aço. Limeira, 2014.

[35] MARTINS, R. M. Análise da capacidade de infiltração do pavimento intertravado de concreto. Pato Branco: Universidade Federal do Paraná, 2014.

[36] TERZAGHI, K.; PECK, R. B. Soil mechanics in engineering practice. 2. ed. New York, John Willey & Sons, 1967.

[37] IDALGO, A. N. et al. Determinação do coeficiente de permeabilidade de elementos drenantes de concreto. Revista Eletrônica Organizações e Sociedade, Iturama (MG), v. 7, n. 8, p. 4-13, jul./dez. 2018.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

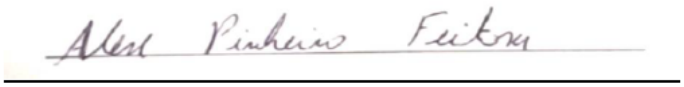
Às quatorze horas (14 horas) do dia vinte e cinco de maio de dois mil e vinte e um, por meio de reunião remota na webconferência utilizando ferramenta do Google Meet (meet.google.com/ztt-ddcd-iih), sob a presidência da Profa. Dra. Daniela da Costa Leite Coelho, conforme estabelecido no art. 1º da Resolução CONSEPE/UFERSA nº 005/2020, de 17 de dezembro de 2020, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de Trabalho de Conclusão de Curso de autoria do aluno **FERNANDO ARTHUR DE ARAÚJO MOURA**, aluno do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2017010930**, com o título ***"COMPARAÇÃO ENTRE REVESTIMENTOS DE PAVIMENTOS CONVENCIONAIS E PERMEÁVEIS VISANDO A REDUÇÃO DE ALAGAMENTOS E ENCHENTES NO MEIO URBANO"***. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Profa. Dra. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, presidente da banca e orientadora do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. ALEX PINHEIRO FEITOSA e o engenheiro civil VINÍCIUS NAVARRO VARELA TINOCO, como membros. Após declarada aberta a sessão, a Senhora Presidente passou a palavra ao discente para a exposição do seu trabalho. Concluída a apresentação, seguiu-se a arguição pelos membros da banca examinadora e respectiva defesa do formando, e as sugestões feitas foram acatadas. Concluídos os trabalhos, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo o aluno obtido as seguintes notas: **9,8**; **9,8**; **9,8**. Apuradas as notas verificou-se que o aluno foi **APROVADO**, por unanimidade, pelos membros da banca examinadora com média geral com média geral **9,8.** O resultado foi então comunicado publicamente ao aluno pela presidente da comissão. Nada mais havendo a tratar, a presidente da banca examinadora deu por encerrado o julgamento. E para constar, eu, DANIELA DA COSTA LEITE COELHO, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, foi assinada por todos.

Mossoró, 25 de maio de 2021.

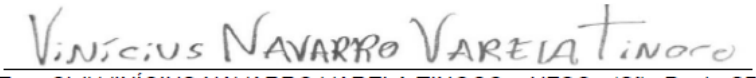
Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Daniela da Costa Leite Coelho

Profa. DRA. DANIELA DA COSTA LEITE COELHO – UFERSA/Mossoró-RN
Presidente e orientadora



Prof. Dr. ALEX PINHEIRO FEITOSA – UFERSA/Pau dos Ferros-RN
Primeiro Membro



Eng. Civil VINÍCIUS NAVARRO VARELA TINOCO – UFSCar/São Paulo-SP
Segundo Membro