ISSN: 1984-8781 - Anais XVIII ENANPUR 2019. Código verificador: **Uui3IGodWQKd** verificar autenticidade em: http://anpur.org.br/xviiienanpur/anais

ASFALTO CONVENCIONAL OU PERMEÁVEL? Viabilidade técnica na prevenção de enchentes

Autores:
Rodrigo Azevedo Gonçalves Pires - Universidade Nove de Julho - razevedop@yahoo.com.br
Bruna Brandini Carrilho - Universidade Nove de Julho Wilson Levy Braga da Silva Neto - Universidade Nove de Julho Rafael Golin Galvão - Universidade Nove de Julho

Resumo:

A urbanização no Brasil, ocorreu de forma acelerada, desordenada e associado à falta de planejamento, contribuindo para o desequilíbrio hidrológico das bacias hidrográficas. A impermeabilização do solo é fator determinante para a ocorrência de enchentes e inundações, causando prejuízos ambientais, sociais e econômicos. Diante disso, surge a necessidade de buscar soluções para a mitigação do problema, pela utilização de materiais de recobrimento alternativos, como o asfalto permeável. Neste estudo, realizou-se levantamento bibliográfico e documental, para identificar os benefícios e limitações do asfalto permeável em áreas urbanas. Comparou-se os asfaltos permeável e convencional, quanto a permeabilidade e resistência. Os resultados mostraram vantagens no uso do asfalto permeável quanto à capacidade de infiltração e desvantagens, quando comparada sua resistência. Tais conclusões tornam-se superficiais, uma vez que os estudos existentes não contabilizam custos diretos e indiretos das inundações urbanas, quando em asfalto convencional e sistemas de drenagem ineficientes.

ASFALTO CONVENCIONAL OU PERMEÁVEL?

Viabilidade técnica na prevenção de enchentes

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma acelerada e desordenada, o que resultou em cidades que desconsideram as questões ambientais, jurídicas e de inclusão social, afetando o desenvolvimento econômico do país.

O uso do solo sem planejamento racional e a ocupação desordenada das áreas onde naturalmente ocorrem enchentes (tais como as planícies de inundação de canais fluviais), associados à impermeabilização do solo, têm ampliado o quadro de insustentabilidade, prejudicando a infraestrutura das cidades e colocando em risco a vida de milhões de pessoas, sobretudo as que vivem em regiões de várzeas dos rios (TUCCI, 2003).

As enchentes e inundações, especialmente em áreas urbanas, afetam a sustentabilidade das cidades, uma vez que trazem prejuizos sociais, ambientais e econômicos. Somente na cidade de São Paulo, as enchentes e inundações geram prejuízos financeiros significativos ao poder público, à indústria e ao comércio (HADDAD, 2014).

Além disso, a impermeabilização da superfície em áreas urbanas reduz a permeabilidade do solo, contribuindo para a não recarga do lençol freático, podendo acarretar problemas sérios de secas em períodos de grandes estiagens, tal qual se verifica nos últimos anos (TUCCI,2003).

Diante desta realidade, as mais variadas áreas do conhecimento se veem diante do desafio de entender os problemas do processo de urbanização instalado e contribuir para a proposição de soluções alternativas que possibilitem reverter o quadro existente, avançando, dessa forma, na busca por um meio ambiente urbano sustentável.

Entendendo as enchentes e inundações como processos relacionados à construção de ambientes urbanos caracterizados pela insustentabilidade, tornou-se necessário ampliar o estudo de materiais relacionados à construção de um ambiente capaz de minimizar os efeitos negativos decorrentes das inundações.

Desta forma, o presente trabalho tem o objetivo de identificar as vantagens e desvantagens da utilização do asfalto permeável como alternativa à redução ou combate de inundações em áreas urbanas.

REFERENCIAL TEÓRICO

As enchentes são fenômenos de origem natural que ocorrem periodicamente nos cursos d'água devido a chuvas intensas (POMPÊO, 2000). Apesar de serem naturais, a intervenção humana tende a ser a principal responsável pelas ocorrências registradas nas metrópoles (TUCCI, 2003).

De acordo com Canholi (2014), as enchentes podem ser entendidas como o acréscimo de vazão ou descarga d'água, devido ao escoamento superficial das águas provenientes de precipitações, nos canais fluviais. Em períodos de enchentes, as vazões geradas podem atingir magnitude que supere a capacidade de descarga da calha do curso d'água, resultando no extravasamento para áreas marginais ao leito fluvial menor. Tal processo recebe o nome de inundação e a área inundada, aquela que recebe periodicamente os excessos d'água, é denominada planície de inundação.

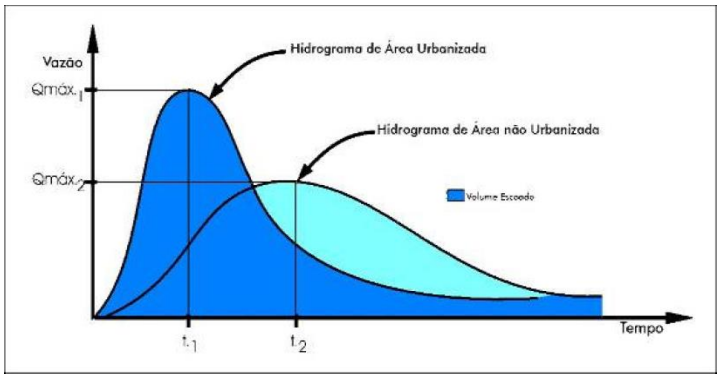
Embora de ocorrência sazonal e natural, tais processos são intensificados pela ação antrópica, por meio do crescimento das áreas urbanizadas, que invadem o espaço das planícies de inundação ou de áreas costeiras e avançam em direção às partes mais elevadas do relevo, haja vista a ligação da população com os corpos hídricos, tanto para produção de alimentos e consumo de água, como também pelas facilidades de transporte e conectividade com outras regiões (POMPÊO, 2000).

A incorporação das várzeas dos rios ao sistema viário das cidades, com o consequente processo de retificação de canais fluviais meandrantes e obras de canalização, intensificaram a impermeabilização das planícies de inundação, com consequente aceleração dos escoamentos superficiais e aumento dos picos de vazão e de ocorrência de inundações (POMPÊO, 2000).

A impermeabilização do solo se agrava com a construção de edifícios com calçadas impermeáveis, interligados por vias asfaltadas e planas, construídas com materiais impermeáveis, tais como o concreto asfáltico e o cimento Portland. Tais alterações do meio físico reduzem a infiltração e aumentam os volumes do escoamento superficial das águas da chuva, desafiando as redes de drenagem pluviais e sobrecarregando os corpos d'água que cortam as cidades, ampliando os picos de cheia (HOLTZ, 2011).

Pode-se verificar que os picos de cheias depois da urbanização passam a ocorrer mais cedo e com mais severidade do que antes do desenvolvimento, quando as características de uso e ocupação favoreciam a infiltração.

Figura 1: Efeitos da urbanização sobre o hidrograma da bacia



Fonte: (adaptado NETTO,1994 *apud* VIRGILLIS, 2009)

Nas grandes metrópoles, especialmente de países em desenvolvimento, o crescimento das áreas urbanas ocorreu de forma acelerada e, com exceção de algumas poucas áreas, a maioria não recebeu atenção suficiente em relação à drenagem urbana, por parte de órgãos ligados ao planejamento (CANHOLI, 2014).

Além do excessivo parcelamento do solo, da impermeabilização de grandes superfícies, da ocupação de áreas ribeirinhas, da obstrução de canalizações por detritos e sedimentos e também das obras de drenagem inadequadas, vale destacar o papel do planejamento que se apoia fortemente na execução de obras para o combate às enchentes, que segundo Pompêo (2000), é ineficiente por não prever o esgotamento futuro de recursos financeiros e o aumento da complexidade dos problemas em função da dinâmica social nas áreas urbanas.

O processo de urbanização das cidades brasileiras não se diferencia desta realidade, gerando impactos negativos ao meio ambiente e à população, principalmente em relação à deterioração da qualidade de vida desta população, tendo em vista o aumento da frequência e volume de inundações, queda na qualidade da água e aumento da presença de materiais sólidos nos corpos d'água receptores (SUDERHSA, 2002).

A falta de saneamento básico transformou os principais córregos das cidades brasileiras em esgotos a céu aberto. O transbordamento destes rios provoca doenças na população que entra em contato direto com a água contaminada à exemplo da leptospirose, febre tifoide e hepatite. Assim, de acordo com Canholi (2014), só na cidade de São Paulo, nos períodos de chuvas mais intensas, associadas ao verão, são registrados centenas os casos de leptospirose, com taxas de até de 20% de mortalidade.

De acordo com Suderhsa (2002), a rede de condutos pluviais, ao lado dos aterros sanitários e de sistemas de coleta de esgoto inadequados, constitui um dos principais agentes de contaminação de aquíferos urbanos, tendo em vista que as perdas de volume do transporte e o entupimento de trechos da rede permitem o extravasamento das águas contaminadas para fora dos condutos.

Santos e Haddad (2014), estudando a influência das mudanças climáticas nas inundações da cidade de São Paulo, observaram que o acelerado processo de expansão urbana vivenciado pela cidade, sem o devido acompanhamento da criação de infraestrutura adequada, com ocupação ilegal de áreas ambientais protegidas, tais como áreas de várzeas e encostas e com o rápido crescimento do percentual de áreas impermeabilizadas na bacia do Alto Tietê, fez aumentar a frequência de alagamentos e desastres naturais, tornando os assentamentos humanos cada vez mais vulneráveis às alterações do clima.

As preocupações para com a gestão das águas pluviais têm início desde que o Homem começa a se organizar em núcleos urbanos. Entretanto, com o crescimento das áreas urbanas, e com o consequente aumento do volume de águas pluviais, estas preocupações tornam-se maiores, exigindo a construção de sistemas de drenagem cada vez mais complexos, a fim de facilitar o escoamento superficial para áreas a jusante das bacias hidrográficas (HOLTZ, 2011).

No planejamento de sistemas de drenagem de áreas urbanas, a tendência adotada tradicionalmente se baseia na filosofia de aceleração do escoamento da água precipitada para fora da área projetada. Tal conjunto de práticas resultam no incremento das vazões máximas, bem como da frequência e do nível de inundações em áreas a jusante (SUDERHSA, 2002). Canholi (2014) também observa que essas soluções de caráter localizado reduzem o prejuízo das áreas afetadas, mas causam inundações nas áreas de jusante, devido a transferência de vazões.

Diante da ineficiência destas medidas técnicas e da transferência dos problemas para outras áreas e para o futuro, a partir da década de 1960, muitos países passaram a questionar a drenagem urbana realizada nos moldes desta prática tradicional (POMPÊO, 2000).

Deste modo, nas últimas décadas, destacaram-se os estudos e aplicações de soluções com vias a adequação dos sistemas existentes e ao aumento da eficiência hidráulica dos sistemas de drenagem, objetivando retardar o escoamento superficial no local de precipitação, por meio da retenção em reservatórios, contribuindo para o aumento do tempo de concentração e para com a redução das vazões máximas, amortecendo picos e reduzindo os volumes e ocorrências de enchentes (CANHOLI, 2014).

Apesar dos avanços técnicos, a adoção de novas medidas esbarra em dificuldades financeiras, de fiscalização e de comprometimento por parte dos cidadãos. Além disso, tais medidas não dispensam o papel da rede de galerias, que deve possuir capacidade de vazão e estar preparada para atuar independentemente, mesmo que em situações emergenciais, bem como a incorporação de novas tecnologias no desenvolvimento de materiais de pavimentação (POMPÊO, 2000).

Diferentemente dos países desenvolvidos, onde as práticas de controle das inundações encontram-se adiantadas, no Brasil, há pouca preocupação com a qualidade da água coletada, cuja atenção está relacionada aos aspectos de controle quantitativo das enchentes (CANHOLI, 2014).

De acordo com Suderhsa (2002), para transformar esse modelo, torna-se necessária a adoção de princípios de controle de enchentes que considerem as seguintes diretrizes: a) o

incremento de vazão em determinado local não deve ser transferido para áreas localizadas à jusante; b) a avaliação de impactos devidos à instalação de novos empreendimentos deve ser realizada no âmbito da bacia hidrográfica como um todo; c) o horizonte de avaliação não deve se limitar ao estado presente, mas sim às possíveis futuras formas de ocupações urbanas; d) a ocupação de áreas ribeirinhas só pode ocorrer dentro de um zoneamento que contemple condições de enchentes; e) o controle das enchentes deve se basear, preferencialmente, em medidas não estruturais.

Os problemas de drenagem urbana nas grandes cidades do Brasil requerem soluções alternativas estruturais e não estruturais, que se baseiem em conhecimentos da dinâmica ambiental, climatológica e hidrológica, além de componentes sociais e políticos-institucionais que contemplem planejamento de drenagem, obras de infraestrutura e de planejamento urbano, analisados de forma integrada nos planos diretores de drenagem (CANHOLI, 2014).

Segundo Suderhsa (2002), as medidas de controle de inundações podem ser classificadas como estruturais e não estruturais. As primeiras são medidas que buscam reduzir o risco de ocorrência de enchentes, pela implantação de obras para conter, reter ou melhorar a condução dos escoamentos. Trata-se de obras de engenharia implementadas para fins de redução de enchentes. Como exemplo, temos a construção de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, dentre outras.

Tais medidas podem ser intensivas, com atuação em escala espacial menor, o aumento da capacidade de descarga e retificações, ampliação de seção, desvios para fins de retardamento e infiltração, bem como o uso de dispositivos de infiltração no solo, ou extensivas, que agem no contexto global da bacia, com vias a modificar as relações entre precipitação e vazão, à exemplo da alteração da cobertura vegetal do solo. As medidas não estruturais referem-se a ações que visam a convivência com as enchentes ou ao estabelecimento de diretrizes para a reversão ou minimização do problema, tais como zoneamento de áreas de inundações, associado ao Plano Diretor Urbano, revisão de cheia, seguro de inundação, dentre outras.

As medidas de controle estrutural de escoamento podem ser classificadas de acordo com sua abrangência de ação em: a) na fonte, ou aquelas que visam o controle sobre lotes, praças e passeios; b) na microdrenagem, tratando-se de medidas que atuam sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos; c) e na macrodrenagem, constituindo-se em medidas de controle estruturais aplicadas aos principais rios urbanos (SUDERHSA, 2002).

Tais medidas, de acordo com a sua ação sobre o hidrograma, podem ser nomeadas como: a) de infiltração e percolação, quando visam aumentar a infiltração e percolação da água no solo, com vias a retardar o escoamento superficial; b) de armazenamento, com auxílio da construção de reservatórios, desde residenciais até estruturas de grande porte, inerentes a macrodrenagem urbana; c) de aumento de eficiência do escoamento, geradas pela construção de condutos e canais, com vias a drenar áreas inundadas; d) de diques e estações de bombeamento, tratando-se de soluções tradicionais de controle localizado de enchentes em áreas que não possuem espaço para amortecer as inundações (SUDERHSA, 2002).

Ainda de acordo com Suderhsa (2002), dentre os principais dispositivos para criar maior infiltração, os pavimentos permeáveis, de concreto ou de asfalto, podem ser utilizados em vias de pequeno tráfego, como de passeio, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. O uso destes dispositivos não é indicado em vias de grande tráfego, pois estes pavimentos podem ser deformados ou entupidos, tornando-se impermeáveis.

ASFALTO CONVENCIONAL

O pavimento é uma estrutura construída sobre o leito, após os serviços de terraplanagem, por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade, cuja principal função é fornecer a segurança e conforto ao usuário (SOUZA, 1980; SANTANA 1993).

As larguras das camadas de um pavimento são divididas em regiões plana, ondulada, montanhosa e escarpada levando em consideração o tráfego, a importância e a função da rodovia e são classificadas da seguinte forma: Classe especial para tráfego acima de 2000 veículos/dia, Classe I de 1000 a 2000 veículo/dia, Classe II de 500 a 1000 veículo/dia e a Classe III até 500 veículo/dia.

Tabela 1: Largura das camadas

Classe	Região											
	Plana			Ondula			Montanhosa			Escarpada		
	Rev.	Base	Sub-base ou reg.	Rev.	Base	Sub-base ou reg.	Rev.	Base	Sub-base ou reg.	Rev.	Base	Sub-base ou reg.
Especial	7,50	9,00	11,00	7,50	9,00	10,00	7,50	9,00	9,50	7,50	9,00	9,00
I	7,00	9,00	12,00	7,00	9,00	11,00	7,00	9,00	10,00	7,00	9,00	9,40
II e III	6,00 a 7,00	8,00 a 9,00	10,00 a 11,00	6,00 a 7,00	8,00 a 9,00	9,00 a 10,00	6,00 a 7,00	8,00 a 9,00	8,40 a 9,40	6,00 a 7,00	8,00 a 9,00	8,00 a 9,00

Fonte: (SENÇO, 1997)

Todas as camadas sofrem deformação elástica, sob um carregamento aplicado, e a carga é distribuída em parcelas equivalentes entre suas camadas (PINTO, & PREUSSLER, 2002).

Subleito: É o terreno de fundação do pavimento. No caso mais comum, estradas já em tráfego há algum tempo, e a qual se pretende pavimentar, apresenta-se como superfície irregular, exigindo a regularização (SENÇO, 1997).

Figura 2: Subleito

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

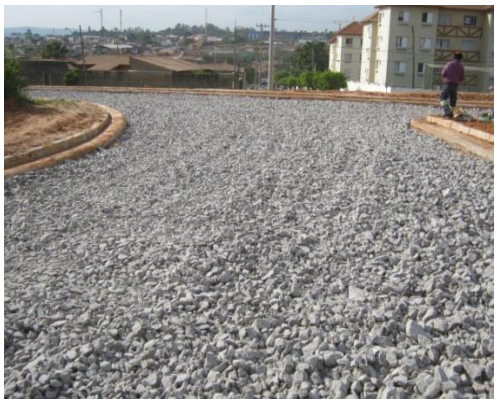
Figura 3: Regularização

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Regularização: É a camada de espessura irregular, construída sobre o subleito e destinada a conformá-lo, transversalmente e longitudinalmente, com o projeto. Deve ser executada sempre em aterro (SENÇO, 1997).

Reforço do subleito: Camada estabilizada granulometricamente executada sobre o subleito compactado e regularizado, utilizada quando é necessário reduzir a espessura da sub-base originada pela baixa capacidade de suporte do subleito (SENÇO, 1997). As áreas, cujo grau de compactação for inferior ao limite necessário, deverão ser reconstruídas antes da execução da camada de reforço de Solo-Brita de Granulometria Descontínua (PMSP ESP-03/92).

Figura 4: Reforço do Rachão



Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Figura 5: Sub-base

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Sub-base: Segundo Senço (1997) é a camada que complementará a base quando não for aconselhável construir em cima da regularização ou do subleito por orientação de projeto.

Base: Camada destinada a receber os esforços devidos ao tráfego de veículos. O pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito (SENÇO, 1997).

Imprimação impermeabilizante: É a aplicação de uma película de material betuminoso sobre a base, com o objetivo de aumentar a coesão da superfície imprimada, impermeabiliza a camada anterior e aumenta a aderência com a camada superior (SENÇO, 1997).

Figura 6: Imprimação impermeabilizante

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Figura 7: Binder

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Camada de Ligação: A camada de ligação conhecida também como "*Binder*" é a mistura utilizada abaixo da camada de rolamento, geralmente apresenta maior porcentagem de vazios e menor consumo de ligante em relação à camada de rolamento (SENÇO,1997).

Imprimação ligante: É uma pintura asfáltica executada sobre a camada de ligação com o intuito de promover a coesão à superfície da camada pela penetração, dando maior aderência aos vazios promovidos pelos agregados (SENÇO, 1997).

Figura 8: Imprimação Ligante

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

Figura 9: Capa

Fonte: Arquivo de projetos executados pela empresa consultada

ASFALTO PERMEÁVEL

Conforme Baptista & Nascimento (2005), *apud* Virgillis (2009), a utilização da técnica de concreto asfáltico poroso é relativamente recente, tendo em vista que a concepção tradicional de pavimentos preconizava sua impermeabilização. A partir do final dos anos 1970, na Europa e na América do Norte, a combinação dos aspectos de segurança na circulação viária e a possibilidade de respostas aos problemas hidrológicos acarretados pelo intenso desenvolvimento urbano, motivaram estudos experimentais, levando, a partir dos anos 1980 à sua utilização operacional.

Segundo Tomaz (2009), o pavimento poroso consiste de um pavimento de asfalto onde não existem os agregados finos, isto é, partículas menores que 600µm (peneira número 30). O asfalto tem agregados com vazios de 40%.

Virgillis (2009) comenta que os processos de construção do revestimento poroso não apresentam diferenças expressivas em relação ao concreto betuminoso convencional, a exceção de algumas particularidades. Este tipo de pavimento pode ser aplicado a partir do leito ou ser executado em cima do pavimento existente. Antes da aplicação, realiza-se a impermeabilização e regularização da superfície, que não pode ter depressões com profundidade maior que 1 cm, para evitar a formação de bacias que propiciam o acúmulo de água entre o revestimento e o pavimento existente. A regularização deve propiciar uma declividade transversal adequada ao escoamento da água. Deve ser previsto, também, dispositivos que permitam que a saída da água do interior seja rápida, podendo-se usar os acostamentos para implantar drenos (VIRGILLIS, 2009).

Segundo Acioli (2005) antes da aplicação do pavimento poroso é necessário uma série de estudos, como:

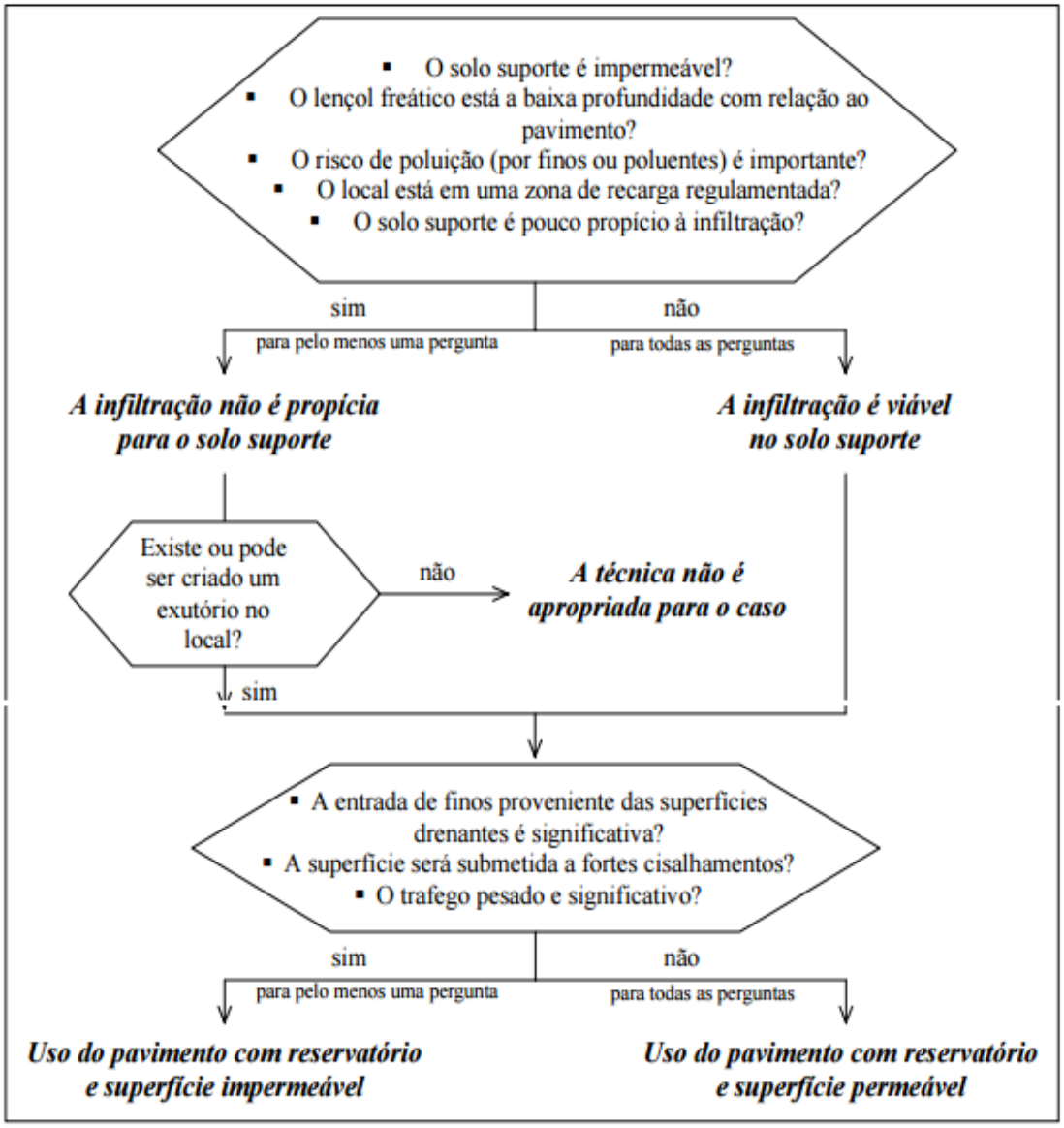
✓ **Características do local de implantação:** áreas a serem drenadas, existência de vegetação, topografia, existência de redes de água e esgoto, o tráfego ao qual será submetido, dentre outros.

✓ **Características do solo subjacente:** Taxa de infiltração, capacidade de carga e comportamento.

✓ **Estudos hidro geológicos:** Este estudo irá identificar as características do lençol freático, como flutuações sazonais, cota do lençol, vulnerabilidade e propriedades qualitativas.

✓ **Estudos hidrológicos:** irá identificar a vazão máxima permitida, características pluviométricas, localização do exutório, possíveis áreas de armazenamento d'água e coeficiente de escoamento.

Figura 10: Fluxograma para análise de viabilidade



Fonte: (ACIOLI, 2005)

Virgillis (2009) ressalta que poucos pavimentos possuem todos os componentes listados, cada pavimento tem uma combinação especifica que atenda às necessidades, conforme tabela 2.

Tabela 2: Componentes geralmente utilizados em pavimentos porosos

Terminologia	Definição
Camada de Base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumenta a espessura do pavimento. Pode ser simplesmente chamada de Base.
Camada	Espaço ocupado entre dois tipos de materiais na estrutura do pavimento.
Camada Filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizada em sistemas impermeabilizantes.
Geotextil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.
Pavimento	Qualquer tratamento ou cobertura na superfície que suporte qualquer tipo de tráfego.
Sobrecamada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente
Estrutura do Pavimento	Combinação de camadas de materiais colocadas sobre o subleito que possibilitam o suporte mecânico do pavimento.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem o condutividade de água. O reservatório pode ser sobreposto ou combinado com outras camadas do pavimento. Também chamado de Reservatório de Base, Camada Drenante ou Colchão drenante.
Sub-base	Camada colocada abaixo da Base a fim de aumentar a espessura do pavimento.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento, responsável pela absorção em última instância dos carregamentos.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga de tráfego.

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Figura 11: Abertura e preparo de caixa

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Abertura da caixa e subleito: Deverá ser feita uma escavação até a cota determinada em projeto.

Terraplenagem: O serviço de terraplenagem tem como objetivo a conformação do relevo terrestre, podendo ser necessário a utilização de solo de jazida (CASTRO, 2013).

Figura 12: Terraplanagem - preparação para o aterro

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Reforço do subleito: Camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito (DNER-ES 300/97).

Figura 13: Espalhamento e nivelamento de solo para reforço

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Manta impermeável: A aplicação da manta somente é feita se o projeto for para fins de infiltração ou armazenamento e detenção. Essa manta é feita de PEAD (polietileno de alta densidade) e também é conhecida como geomembrana. Para não danificar a geomembrana é necessário que seja aplicada uma camada de areia fina que servirá de filtro e depois uma camada pó de pedra compacta para que fique isento de qualquer material cortante ou pontiagudo (VIRGILLIS, 2009).

Figura 14: Assentamento de geomembrana

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Sub-base: O conceito da sub-base para pavimentos porosos é o mesmo do convencional, porém com a granulometria mais aberta (VIRGILLIS, 2009). Segundo Tomaz (2009) a camada que é considerada o reservatório deverá ter pedras com diâmetros com 40 mm a 75 mm (pedra brita nº 3 e nº 4), isso servirá para congelamento do solo a profundidades que pode variar de 0,61m a 1,22m e o reservatório deverá drenar em 24h a 72h o volume d'água.

Se o pavimento for voltado para armazenamento, deverá ser executada uma camada macadame hidráulico que irá servir como reservatório e camada de BGS (brita graduada simples), porém antes da camada de BGS é necessário que seja executado o salgamento com pó de pedra (VIRGILLIS, 2009).

Figura 15: Espalhamento de macadame hidráulico (pedra 3)

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Base: A base neste caso é uma camada de macadame betuminoso, porém podem ser utilizados outros materiais. Esta camada servirá de suporte para o revestimento com macadame betuminoso travado estruturalmente com britas de graduação inferior como a perda nº 1 e pedrisco que foram compactados com rolo liso vibratório (VIRGILLIS, 2009).

Figura 16: Execução da camada de macadame betuminoso

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Imprimação ligante: Tem o mesmo conceito do pavimento convencional, mas diluido em maior proporção sendo de tipo CM-30 na proporção de 0,8 litros/m². A aplicação é feita à quente de maneira rápida, para dar aderência aos grão fazendo com que eles se unam, porém sem diminuir significativamente o teor de vazios, e mantendo a porosidade. Essa camada deve ter gradação aberta, porém deve ter resistência suficiente aos esforços imposto pelo tráfego, além de conferir boa resistência ao cisalhamento, para dar suporte a camada de CPA (VIRGILLIS, 2009).

Figura 17: Aplicação de imprimação

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Revestimento: Esta é a camada final que no asfalto convencional é chamada de camada de rolamento, mas no caso de revestimento poroso é denominada de CPA (concreto asfáltico poroso) é a parte mais importante do pavimento, então deve-se ter alguns cuidados com produção, transporte e aplicação. Os procedimentos de implementação do asfalto permeável requerem mão de obra qualificada para obter máximo desempenho de permeabilidade (VIRGILLIS, 2009).

Figura 18: Execução do revestimento

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

METODOLOGIA

Adotou-se na pesquisa a análise bibliográfica e documental, como estratégias de investigação. De acordo com Martins e Theóphilo (2009), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir da anotação impressa e pesquisa anterior, tais como teses, artigos, revistas, etc., baseando-se em categorias (teóricos ou dados) que foram trabalhados por outros pesquisadores e devidamente registrado.

Para o levantamento bibliográfico, foram consultadas as bases de dados *SciELO, Web of Science* e *Scopus*, utilizando a combinação dos seguintes termos: "asfalto permeável"; "*permeable asphalt*"; "*conventional asphalt*"; "drenagem urbana" e "*urban drainage*".

A comparação das variáveis resistência e permeabilidade, foi realizada por meio de análise documental, com base nos resultados de ensaios realizados por equipe do Centro Tecnológico de Hidráulica da Universidade de São Paulo.

De acordo com Cooper e Schindler (2008), estudos exploratórios produzem estruturas soltas com o objetivo de descobrir trabalhos de futuras investigações. O principal objetivo da exploração é tornar claros os conceitos e delinear o problema de pesquisa, para desenvolver hipóteses para pesquisas futuras. Para Gil (1999) a pesquisa exploratória pode ser desenvolvida, a fim de fornecer uma visão geral sobre determinado fato. A informação é geralmente originada por estudos bibliográficos e de coleta de dados.

A comparação dos custos foi por meio de orçamentos junto às empresas do ramo de pavimentação, concentrando-se apenas nos valores de custos materiais. Deste modo, foram dispensados os custos relacionados à mão de obra.

COMPARAÇÃO DE PERMEABILIDADE ENTRE ASFALTO CONVENCIONAL E ASFALTO PERMEÁVEL

O uso do asfalto permeável como medida mitigadora no combate a enchentes e inundações abrange benefícios ao meio ambiente com a recarga de lençol freático, aumento na umidade nas áreas verdes urbanas e na melhora da qualidade da água infiltrada pelo dispositivo, retendo impurezas (TUCCI, 2003).

As principais diferenças entre o asfalto convencional e o asfalto permeável é o elevado índice de vazios do asfalto permeável devido ao aumento de tamanho granulométrico, constituído para drenar de modo eficiente a água superficial. O asfalto convencional é impermeabilizado em suas camadas mais superficiais afim de conferir maior resistência mecânica. O traço do asfalto vai variar de acordo com a resistência que se busca, quanto maior a resistência, menor a capacidade de permeabilidade. Segundo Virgillis (2009), o asfalto permeável possui índices de vazios na ordem de no máximo 25% enquanto o asfalto convencional possui apenas 4% de vazios.

Uma das principais alegações contra o uso do asfalto permeável é que sua aplicação é onerosa e seu retorno financeiro é abaixo do esperado. Novas tecnologias tendem a ser mais onerosas e o asfalto permeável tende a se pagar com o tempo, sobretudo pela diminuição da necessidade de construção de obras de drenagem. Polastre e Santos (2006), mencionam que, para permitir a percolação de grande quantidade de águas pluviais é preciso que o asfalto possua alto índice de vazios interligados, com presença de areia, quase nula, em sua composição.

Enquanto o asfalto convencional é empregado como pavimento para tráfego, o asfalto permeável, para seu maior desempenho possui algumas restrições e uma delas é a declividade. Conforme estudo de Virgillis (2009), quanto maior for a declividade da pista de asfalto permeável menor será a taxa de infiltração da água.

COMPARATIVO DE RESISTÊNCIA ENTRE O ASFALTO PERMEÁVEL E ASFALTO CONVENCIONAL

Alguns fatores reduzem a vida útil nos pavimentos asfálticos, isso ocorre por diversos motivos como erros na execução, sobrecarga, e algumas vezes até mesmo quando a misturas asfálticas atendem as especificações vigentes. Os principais problemas estão relacionados com a resistência a fadiga e ao acumulo de deformação permanente nas trilhas das rodas, sendo que a fadiga representa uma das mais importantes características de perda de desempenho das camadas asfálticas no Brasil (VIRGILLIS, 2009).

Obter maior resistência do asfalto poroso depende da escolha do material ligante, que pode ser identificado por meio de ensaios realizados com ligantes convencionais e ligantes modificados por polímeros (GONÇALVES et al, 2000). O uso de ligantes especiais é justificado, por conferirem maior resistência à oxidação (as misturas porosas, pelo seu alto índice de vazios, estão sujeitas a esse tipo de fenômeno) e proporcionam pontos de ligação mais fortes entre as partículas do agregado (GONÇALVES et al, 2000).

Em locais onde há esforços tangenciais o pavimento é mais vulnerável a sofrer trincas e desagregações quando utilizado ligantes convencionais. No caso dos ligantes modificados por polímeros (que envolve os agregados) o resultado é um asfalto mais flexível e dúctil devido a coesão das partículas, quando comparado ao asfalto convencional.

DESVANTAGENS DO ASFALTO PERMEÁVEL

O alto teor de vazios pode favorecer o dano por ação da água, com desprendimento de agregado no caso de má adesão entre o agregado e o ligante. Esse efeito pode ser combatido por meio do aumento da espessura da película de ligante, recobrindo os agregados do asfalto modificado por polímeros (CASTRO, 2013).

Quanto maior a resistência que se procura, menor será a permeabilidade. Para se obter maior permeabilidade é preciso maior volume de vazios e, consequentemente, haverá menos resistência. Por isso, há limitações na aplicação do sistema de drenagem com concreto permeável, que é mais indicado para locais com menor solicitação de carga, onde a resistência é menos exigida, locais de tráfego leve (FEBESTRAL, 2005). Fatores que influenciam na durabilidade dos pavimentos permeáveis são rotina de limpeza e controle de sedimentos (SCHUELER et al, 1992).

Entupimentos em geral provocados por terras adjacentes, óleos ou areia, obstruindo as interligações do asfalto, contudo, é possível minimizar esse problema com a manutenção periódica para o desentupimento dos vazios, por meio de aspiração.

Em regiões de clima frio pode ocorrer entupimento e trincas, causados pela neve; em regiões áridas a amplitude térmica e a possibilidade de contaminação de aquíferos podem

impor restrições ao uso (ACIOLI, 2005). Epa (1999) inclui nos desafios à implementação do asfalto permeável a pouca pericia de engenheiros com relação à tecnologia e a colmatagem ou má construção.

COMPARATIVO DE CUSTO DE MATERIAIS ENTRE O ASFALTO PERMEÁVEL E O CONVENCIONAL

O comparativo de custo deu-se na quantificação dos materiais em volume de cada camada constituinte de ambas as estruturas por m², deste modo, foi realizada a pesquisa no mercado para precificar cada item. Não foram pesquisadas empresas para execução de mão-de-obra para composição de custo.

Figura 19: Composição da estrutura e espessuras de cada material

Tráfego Leve - Pavimento Convencional		
CAUQ	3,50 cm	← Imprimação
BINDER DENSO	4,00 cm	← Imprimação Ligante +
BGS	10,00 cm	← Bica Corrida = 12,00cm
RACHÃO	40,00 cm	
SUBLEITO CBR 3%		

Tráfego Leve - Pavimento Permeável		
CONCRETO ASFÁLTICO PERMEÁVEL	3,50 cm	← Imprimação
MACADAME BETUMINOSO	5,00 cm	
BGS	10,00 cm	
RACHÃO	40,00 cm	← Geomembrana
SUBLEITO CBR 3%		

Fonte: Fornecido por empresa de pavimentação atuante em São Paulo

Recorrendo a empresa tradicional do ramo de pavimentação há mais de 40 anos, atuante principalmente no estado de São Paulo, profissionais do setor de orçamentos forneceram dois modelos de planilhas contendo as quantidades de camadas necessárias de cada estrutura. Para a pesquisa de preços dos materiais constituintes da tabela, foi utilizado pesquisa na internet, em fornecedores indicados e por solicitação de orçamentos por e-mail e telefone, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Descritivo de materiais do asfalto convencional

Fundação de rachão	m^3	119,51	0,40	47,80
Base de binder denso (sem transporte)	m^3	379,96	0,04	15,20
Imprimação betuminosa ligante	m^2	2,02	2,00	4,04
Imprimação betuminosa impermeabilizante	m^2	4,05	1,00	4,05
Revestimento de concreto asfáltico (sem transporte)	m^3	476,92	0,035	16,69
Base de bica corrida	m^3	106,57	0,12	12,79
Base de brita graduada	m^3	113,07	0,10	11,31
TOTAL - Tráfego Leve Pavimento Convencional (/m^2)				**R$ 111,88**

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4: Descritivo de materiais do asfalto permeável

Fundação de rachão	m^3	119,51	0,40	47,80
Base de macadame betuminoso	m^3	310,34	0,05	15,52
Imprimação betuminosa ligante	m^2	2,02	1,00	2,02
Revestimento de concreto asfáltico permeável + usinagem	m^3	196,00	0,035	6,86
Base de brita graduada	m^3	113,07	0,10	11,31
Base de macadame hidráulico	m^3	165,00	0,25	41,25
Fornecimento e aplicação de geomembrana de Pead - 1mm de espessura	m^2	16,35	1,00	16,35
TOTAL - Tráfego Leve Pavimento Permeável (/m^2)				**R$ 141,11**

Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma, é possível verificar que o custo do pavimento permeável é mais elevado que o convencional, na ordem de 30%, ratificando as literaturas pesquisadas, isso porque a manutenção do asfalto permeável é diferenciada e constante, encarecendo a sua implementação. Devido a ser um pavimento drenante, gasta-se menos com obras complexas de drenagem, que representa custo significativo e, além de mitigar as enchentes e inundações, também serve como reservatório sendo possível o reaproveitamento das águas pluviais (ACIOLI, 2005).

COMPARATIVO DE PERMEABILIDADE ENTRE ASFALTO PERMEÁVEL E CONVENCIONAL

O uso do asfalto permeável como medida mitigatória no combate a enchentes e inundações é uma medida atestada e abrange benefícios ao meio ambiente com a recarga de lençol freático e aumento na umidade nas áreas verdes urbanas e melhora na qualidade da água infiltrada pelo dispositivo retendo impurezas. Ainda assim, há necessidade de comparativo direto com o asfalto convencional, pois um substitui o outro (TUCCI, 2003).

A principal diferença entre os dois tipos de asfalto está no elevado índice de vazios do asfalto permeável, devido ao aumento da granulometria e também no seu processo construtivo. Enquanto o convencional é impermeabilizado em suas camadas mais superficiais, afim de conferir maior resistência mecânica, o asfalto permeável é constituído para drenar de modo eficiente a água superficial. Virgillis (2009) na pista experimental de um estacionamento na Universidade de São Paulo observa que o asfalto permeável possui índices de vazios na ordem de no máximo 25% enquanto o asfalto convencional possui apenas 4% de vazios.

O traço do asfalto vai variar de acordo com a resistência que se busca, quanto maior a resistência, menor a capacidade de permeabilidade. Uma das principais resistências acerca da utilização do asfalto permeável é que a sua aplicação é bastante onerosa e seu retorno financeiro é abaixo do esperado. Novas tecnologias tendem a ser mais onerosas e no caso do asfalto permeável se paga com o passar dos anos, sobretudo pela diminuição da necessidade de construção de obras de drenagem. Para garantir maior permeabilidade, Polastre e Santos (2006), mencionam que para permitir a percolação de grande quantidade de águas pluviais é preciso o asfalto deve possuir um alto índice de vazios interligados, com quase nula presença de areia em sua composição.

Por meio de testes e ensaios Araújo (2000) constatou que a taxa de escoamento superficial do asfalto permeável é muito baixa, sendo 3% do volume escoado. Em ensaio semelhante, realizado por Godenfum (1990) o resultado do asfalto convencional é completamente inverso, sua taxa de escoamento superficial ultrapassa os 90%.

Os ensaios de permeabilidade desenvolvidos por Campos (1998) foram aproveitados por Virgillis (2009) em seu experimento. O ensaio constitui em retirar corpos de prova do revestimento e colocados em um tubo para garantir que a água passe somente pelas suas faces, logo em seguida uma parcela de água constante é imposta ao corpo e mede se a vazão da outra face. Conforme Figura 20:

Figura 20: Corpo de prova para avaliação de permeabilidade

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Os resultados foram registrados em intervalos não iguais e as vazões registradas de modo que se tenha a vazão media em cm^3/s. Os calculos utilizados foram:

Amostra cilindrica de diametro de 100 mm.
Area da superficie da amostra = 78,54 cm^2
Vazão (carga constante) = 31,42 cm^3/s
P = 31,42 = 0,4001 cm/s ou 40.10^{-2} cm/s

Tabela 5: Ensaio de permeabilidade de carga constante para a mistura de CPA

Ensaio	1	2	3	4	5	6	7	8
Tempo (em segundos)	32,12	32,03	31,98	31,91	31,81	31,72	31,63	31,49
Vazão (cm^3/s)	31,13	31,22	31,27	31,34	31,44	31,53	31,62	31,77
Vazão média (cm^3/s)	31,42							

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Enquanto o asfalto convencional é empregado somente como pavimento para trafego, o asfalto permeável para seu maior desempenho possui algumas restrições e uma delas seria a declividade, conforme estudo de Virgillis (2009) quanto maior for a declividade da pista de asfalto permeável menor será a taxa de infiltração da água, a declividade possível é de aproximadamente 25%.

RESULTADOS DE ENSAIO CÂNTABRO

Os ensaios de desempenho de permeabilidade do asfalto permeável em comparação com o asfalto convencional constataram enorme eficiência para o qual foi desenvolvido, portanto a taxa de permeabilidade do asfalto permeável é a sua característica mais importante.

Tabela 6: Perda de agregados no ensaio cântabro (%).

Tipo de ligante	teor de 4%	teor de 4,5%	teor de 5%
60/70	14,8	9,4	7,5
80/100	17,7	6,4	4,1
controle + 4% EVA	11,2	10,3	7,6
controle + 4% SBR	17,3	14,7	11,4
controle + 4% SBS	9,3	6,9	5,3

Fonte: (VIRGILLIS, 2009)

Quanto aos ensaios à fadiga indicaram que existem um acréscimo de vida à fadiga pela modificação do ligante por polímeros (GONÇALVES et al., 2005), conforme Tabela 7:

Tabela 7: Vida a fadiga de diversas misturas porosas modificadas por polímeros.

Tipo de ligante	80/100 (n.º de Ciclos)	+4%EVA (n.º de Ciclos)	+4%SBR (n.º de Ciclos)	+4%SBS (n.º de Ciclos)
Mistura 1 vazios 23%	31.500 (ciclos)	29.200 (ciclos)	117.600 (ciclos)	111.500 (ciclos)
Mistura 2 vazios 17%	58.400 (ciclos)	1.066.000 (ciclos)	132.100 (ciclos)	130.800 (ciclos)

Fonte: (GONÇALVES et al 2005 apud VIRGILLIS, 2009)

A avaliação do fator envelhecimento e oxidação dos ligantes modificados por polímeros foi feita por ensaios (GONÇALVES et al, 2005), em corpo de prova, com a mesma granulometria e diferentes ligantes (convencional e modificado por vários polímeros), que foram submetidos a condições de intemperismo acelerado e, posteriormente, ensaiados para determinação de vida à fadiga, cujos resultados são apresentados a seguir. As condições de intempéries submetida as amostras a 2 dias, a 60° e a 5 dias, 107° em estufa.

Tabela 8: Valores de vida à fadiga (repetições) para misturas novas e envelhecidas.

Tipo de ligante	Mistura Nova (repetições)	Mistura Envelhecida (repetições)
80/100	58.400 (ciclos)	35.500 (ciclos)
+4%SBR	132.100 (ciclos)	115.000 (ciclos)
+4%SBS	130.800 (ciclos)	89.900 (ciclos)

Fonte: (GONÇALVES et al 2005 apud VIRGILLIS, 2009)

Assim como no asfalto poroso os ligantes modificados apresentam melhores desempenho quando comparado com ligantes utilizados no asfalto convencional, conforme segue:

- Quando realizado avaliação das condições de envelhecimento o módulo de resiliência apresentou um comportamento similar a resistência a tração sendo que os maiores valores foram obtidos com ligantes modificados por polímeros.
- Nos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática foi observado que o asfalto modificado por polímeros obteve taxas maiores de recuperação elástica.
- Quanto aos ensaios de fluência por compressão uniaxial dinâmica foi observado a melhor resistência à deformação permanente com ligantes modificados por polímeros.
- Os resultados de análise mecânica, novamente, demonstraram capacidade superior na vida útil de fadiga para o asfalto modificado por polímero em todas as condições de envelhecimento submetidas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acelerado processo de urbanização e a consequente impermeabilização dos solos em áreas urbanas, associados à falta de planejamento, geraram consequências negativas ao meio ambiente e à sociedade. Dentre as novas proposições pode-se destacar a utilização de materiais alternativos, que contribuem para a redução do escoamento superficial e para o aumento da capacidade de infiltração da superfície.

O asfalto permeável se caracteriza pela multifuncionalidade. É capaz de promover a infiltração da água precipitada; recarregar o lençol freático, com melhora na qualidade da água percolada; possibilidade de armazenagem da água infiltrada, em reservatórios, para diversos fins; garantir a segurança rodoviária, devido a capacidade elevada de drenagem e dispersão de água da superfície.

Com relação ao aspecto mecânico, em especial o critério de resistência, o pavimento de asfalto permeável possui desvantagens em relação ao asfalto convencional, uma vez que oferece menor resistência à tração exigida pelo trafego pesado de veículos comerciais e à fadiga dos seus componentes ligantes, provocando a desagregação. Porém, observa-se que novas formulações estão sendo estudadas e aplicadas, melhorando seu desempenho em ensaios, como cântabro e outros.

Dentre estas novas proposições podem ser destacadas a utilização de materiais alternativos, que contribuem para com a redução do escoamento superficial e para o aumento da capacidade de infiltração da superfície.

Com relação aos custos, com base nos dados analisados, o asfalto permeável apresentou-se 30% mais oneroso do que o convencional, considerando apenas os materiais para implementação, sem contabilizar o custo de manutenção adicional e mão de obra especializada, o que poderia torna-lo ainda mais desvantajoso. Porém, cabe destacar que, na análise comparativa, não foram incluídos custos diretos e indiretos provocados pelas enchentes e inundações, o que poderia modificar tais conclusões.

Esta conta desigual tem desmotivado, ou servido como discurso, ao poder público para a não implementação do uso do asfalto permeável em grande escala, apesar de seu potencial em contribuir para o gerenciamento baseado no controle do escoamento na fonte geradora ter sido bastante discutida pela bibliografia analisada.

Diante de tais informações, destaca-se a necessidade de futuros estudos mais abrangentes que incluam, na análise de custos, os gastos públicos e privados, diretos e indiretos, relacionados ao problema das enchentes ocasionado pela impermeabilização do solo, devida a utilização do asfalto convencional. Tendo em vista as limitações em relação à variável resistência, destaca-se também a necessidade de novos estudos que permitam identificar vias e locais que favoreçam o uso e desempenho do asfalto permeável, como aquelas apontadas pelas bibliografias consultadas, a exemplo de áreas privadas de estacionamentos, pátios, grandes empreendimentos imobiliários e vias de tráfego local.

REFERÊNCIAS

ACIOLI, L. A. Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte, 2005.

CANHOLI, A. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. Oficina de Textos, 2014.

CASTRO, L. R., ARCE, M., ELIZONDO, F., & JIMÉNEZ, M. Mezclas Drenantes. In *13º Congreso Ibero-Americano Del Asfalto*, 2013.

COOPER, D. R., & SCHINDLER, P. S. *Métodos de Pesquisa em Administração-7ª Edição*. McGraw Hill Brasil, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico - IPR - Divisão de Capacitação Tecnológica, Pavimentação – reforço do subleito - ES300/97, Rio de Janeiro, 1997.

EPA. Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement. EPA 832-F-99-023 *Office of Water*, Washington, D.C., 1999.

FEBESTRAL. Les Revetements Drainants. en paves de beton. 2005. Adaptado de: http://www. febestral.be. Acesso em 27 outubro, 2017,

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. *São Paulo*, *5*(61), 16-17, 1999.

GONÇALVES, F. P.; CERARTI, J. A.; & SOMACAL, L. Investigação do desempenho de misturas asfálticas convencionais e modificadas com polímeros: proposição de um estudo envolvendo ensaios acelerados de pavimentos com um simulador linear de tráfego. *Anais do Simpósio Internacional de Manutenção e Restauração de Pavimentos e Controle Tecnológico*, 2000.

HADDAD, E. A.; & TEIXEIRA, E. Economic impacts of natural disasters in megacities: the case of floods in São Paulo, Brazil. *Habitat International*, v. 45, p. 106-113, 2014.

HÖLTZ, F. C. Uso de concreto permeável na drenagem urbana: análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental. Porto Alegre. *Dissertação*. 119f, 2011.

MARTINS, G. D. A., & THEÓPHILO, C. R. Metodologia da Investigação Cientifica. *São Paulo: Atlas*, 2009.

PINTO, S., & PREUSSLER, E. Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. *Rio de Janeiro, S. Pinto, 259p*, 2002.

POLASTRE, B. & SANTOS, L. D. Concreto permeável. *Faculdade de Arquitetura e Urbanismo-USP. São Paulo,* 2006.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, *5*(1), 15-23, 2000.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - PMSP. Camada de reforço do Subleito de solo-brita de granulometria descontínua PMSP ES-03- *Secretaria de Vias Publicas*. 1992.

SANTANA, H. Mecânica dos pavimentos de baixo custo. 27ª Reunião Anual de Pavimentação. *ABPv, Teresina, PI,* v. 1, p. 489-521, 1993.

SENÇO, W. *Manual de técnicas de pavimentação*. Pini, 1997.

SOUZA, M. L. D. Pavimentação rodoviária. *Livros técnicos e científicos, 2ª edição. Rio de Janeiro*, 1980.

SCHUELER, T. R.; KUMBLE, P. A.; & HERATY, M. A. A current assessment of urban best management practices. *Washington, DC: Metropolitan Washington Council of Governments (MWCOG),* 1992.

SUDERHSA, CH2M Hill do Brasil. Manual de drenagem urbana–Região metropolitana de Curitiba/PR-versão 1.0. *SUDERHSA–Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.* 2016.

TOMAZ, P., & TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. *Oceania*, *65*(4), 5, 2009.

TUCCI, C. E., & BERTONI, J. C. *Inundações urbanas na América do Sul*. Ed. dos Autores, 2003.

VIRGILLIS, A. L. Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias. *Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo,* 2009.