

INTEGRAÇÃO DE PAVIMENTOS COM SISTEMA DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

¹Andreza Ferreira Silva, ²Rozenilde de Oliveira da Cunha, ³Cimark Guimaraes Sandes Filho

*¹Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Graduanda em Engenharia Civil,
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Bacabal - MA
(andrezafer713@gmail.com)*

*²Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Graduanda em Engenharia Civil,
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Bacabal - MA, Brasil.
(oliveirarozenilde@gmail.com)*

*³Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Doutorando em Engenharia Civil,
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos - SP, Brasil.
(cimasand@gmail.com)*

Resumo: O avanço da urbanização tem levado à maior impermeabilização do solo, aumentando o escoamento superficial e os riscos de inundações em áreas urbanas. Nesse contexto, a integração de pavimentos permeáveis aos sistemas de drenagem urbana apresenta-se como alternativa de infraestrutura sustentável para o manejo de águas pluviais. O estudo analisa os benefícios hidrológicos e ambientais dessa tecnologia, destacando sua contribuição para a redução dos picos de vazão e para a infiltração da água no solo, favorecendo o planejamento urbano sustentável.

Palavras-chave: drenagem urbana; pavimento permeável; infraestrutura sustentável; infiltração; manejo de águas pluviais.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana resulta em uma crescente impermeabilização, o que eleva o escoamento superficial, sobrecarrega as redes de drenagem e provoca alagamentos frequentes. Toscano (2025) mostra que a substituição de terrenos naturais por superfícies impermeáveis modifica diretamente a hidrologia, diminuindo a infiltração e intensificando os picos de vazão. Isso requer métodos de drenagem mais eficazes, alinhados ao planejamento urbano. No campo da pavimentação, Bernucci et al. (2022) apontam que os pavimentos são estruturas multicamadas que precisam resistir ao tráfego e às variações climáticas, com a drenagem sendo crucial para sua estabilidade e operação. Soluções que melhoram a permeabilidade e facilitam o fluxo natural da água ajudam a prolongar a vida útil e a eficiência das ruas. Como alternativa aos métodos convencionais, os pavimentos permeáveis se firmam como uma inovação que apoia a drenagem ecológica. Segundo Toscano (2025), a implementação desses pavimentos pode cortar até 13% no pico de vazão e reduzir em cerca de 17% os gastos com infraestrutura de drenagem, provando sua praticidade técnica e financeira em contextos urbanos.

Diante disso o presente artigo tem por objetivo averiguar a integração dos pavimentos permeáveis juntamente aos sistemas de drenagem sustentável, visando seu funcionamento, benefícios hidrológicos e ambientais, limitações técnicas e potencial aplicação. Para tais fins foi realizada uma revisão bibliográfica com base nos estudos mais recentes sobre pavimentação e drenagem urbana.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em análise bibliográfica e documental. Inicialmente, realizou-se uma revisão conceitual sobre pavimentação e drenagem urbana, utilizando o livro “Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros”, de Bernucci et al. (2022), que oferece bases sobre a composição, operação e resistência mecânica dos pavimentos. Posteriormente, foram examinados dados, ideias e achados do Trabalho de Conclusão de Curso de Toscano (2025), que compara o rendimento de pavimentos tradicionais e permeáveis em contextos de drenagem urbana. Essa avaliação ajudou a destacar aspectos técnicos, hidrológicos e econômicos

essenciais para a integração entre pavimentos e práticas de drenagem ecológica.

As informações foram condensadas e estruturadas de modo a unir engenharia de pavimentos, administração de águas pluviais e ideias de infraestrutura verde, facilitando uma análise crítica sobre o valor dos pavimentos permeáveis como alternativa sustentável.

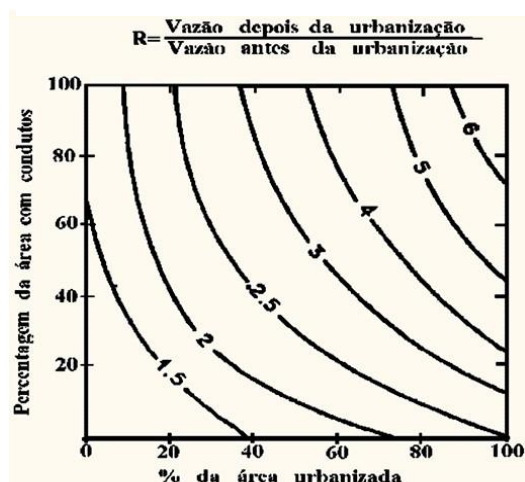
REFERENCIAL TEÓRICO

Relação entre pavimentos convencionais e aumento do escoamento superficial

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma intensa nas últimas décadas, resultando em cidades cada vez mais adensadas e com grande concentração populacional. Esse crescimento desordenado gera impactos diretos sobre os recursos hídricos, resultando na impermeabilização excessiva das áreas públicas e na ocupação de espaços que, naturalmente, serviriam para a infiltração da água (Tucci, 2012).

Com a substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis, como telhados, ruas, calçadas e pátios, a água da chuva que antes infiltrava no solo passa a escoar pela superfície. Como consequência, ocorre o aumento tanto do volume quanto da velocidade do escoamento superficial, elevando a probabilidade de alagamentos e inundações. Tucci e Bertoni (2003) apontam que a vazão máxima média de inundação pode aumentar em até sete vezes em áreas urbanizadas, conforme ilustrado na Figura 1, resultado da impermeabilização do solo associada à implantação de sistemas de drenagem que aceleram o transporte da água.

Figura 1 – Relação entre urbanização, canalização e aumento da vazão média de inundação.



Fonte: Leopold (1968), apud Tucci (2003).

Nesse cenário, os pavimentos urbanos exercem influência direta no comportamento hidrológico das cidades. Do ponto de vista da engenharia rodoviária, os revestimentos asfálticos tradicionais, como o concreto asfáltico denso, são concebidos para serem impermeáveis, com o objetivo de proteger as camadas inferiores do pavimento e garantir desempenho estrutural adequado frente às solicitações do tráfego (Bernucci et al., 2022). Embora essa impermeabilidade seja desejável para a durabilidade da via, ela acaba contribuindo para o agravamento dos problemas de drenagem urbana, pois impede a infiltração da água e direciona rapidamente grandes volumes de escoamento para os sistemas de coleta.

Bernucci et al. (2022) destacam que, apesar da existência de alternativas que permitem a percolação da água, como a Camada Porosa de Atrito (CPA) e os pavimentos permeáveis, a maior parte das vias brasileiras ainda utiliza revestimentos densos e impermeáveis. Os pavimentos permeáveis, que poderiam atuar como reservatórios temporários e auxiliar na redução dos picos de vazão, ainda apresentam uso limitado, geralmente restrito a áreas de tráfego leve, como estacionamentos e pátios, ou exigem a adoção de subcamadas específicas capazes de armazenar temporariamente a água infiltrada (Bernucci et al., 2022).

Limitações da drenagem tradicional

Aliado ao uso predominante de pavimentos impermeáveis, o modelo tradicional de drenagem urbana adotado no Brasil apresenta limitações importantes. Esse modelo tem origem em uma concepção higienista, difundida no início do século XX, cuja principal diretriz é afastar a água da chuva do local de precipitação o mais rapidamente possível (Tucci; Bertoni, 2003).

Entre as principais limitações dessa abordagem, podem ser destacadas:

1. Transferência de impactos: a canalização e a aceleração do escoamento resolvem problemas pontuais, porém acabam transferindo as cheias para áreas situadas a jusante, agravando as inundações em regiões mais baixas da bacia hidrográfica. Conforme destaca Tucci (2012), a canalização de trechos críticos não elimina o problema, apenas o desloca espacialmente.

2. Insustentabilidade econômica: à medida que a urbanização avança, especialmente em áreas a montante, as vazões aumentam progressivamente, tornando as estruturas existentes insuficientes. Isso demanda ampliações constantes ou novas obras de drenagem, geralmente associadas a custos elevados. Segundo Tucci (2012), o custo de correção desses

impactos pode ser significativamente superior ao investimento em medidas preventivas.

3. Degradação ambiental: a drenagem tradicional frequentemente resulta na retificação e canalização de cursos d'água, levando à perda de ambientes naturais e à redução da qualidade ambiental. Além disso, o escoamento superficial urbano transporta sedimentos e poluentes diretamente para os corpos hídricos, comprometendo a qualidade da água (Tucci, 2012).

4. Falta de planejamento integrado: observa-se, de modo recorrente, a falta de articulação entre o planejamento do uso e ocupação do solo e os projetos de drenagem urbana. Em muitos casos, a legislação urbanística não incorpora diretrizes relacionadas à drenagem, e as intervenções são realizadas sem considerar os impactos cumulativos em escala de bacia hidrográfica (Tucci, 2012).

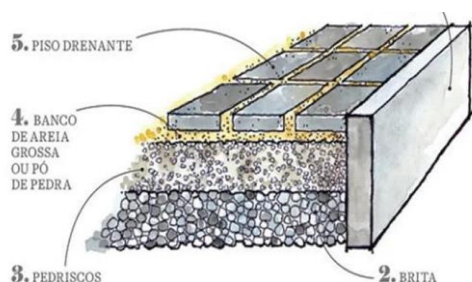
De forma geral, a combinação entre pavimentos impermeáveis e um modelo de drenagem baseado na rápida condução das águas pluviais contribui para a ocorrência frequente de alagamentos, além de gerar elevados custos de manutenção e impactos ambientais relevantes. Diante desse contexto, torna-se evidente a necessidade de uma mudança de abordagem, priorizando estratégias de controle na fonte, como o aumento da infiltração e o amortecimento das vazões, integrando soluções de drenagem sustentável às práticas da engenharia de pavimentos (Tucci, 2012).

Pavimentos permeáveis como técnica de drenagem sustentável

Os pavimentos permeáveis têm sido adotados como uma alternativa técnica capaz de conciliar a função estrutural do pavimento com o controle do escoamento das águas pluviais. Diferentemente dos revestimentos convencionais impermeáveis, esses sistemas permitem que a água da chuva atravesse sua superfície, reduzindo o volume de escoamento superficial e a sobrecarga sobre as redes de drenagem urbana. Dessa forma, enquadram-se como soluções de infraestrutura verde e técnicas compensatórias aplicáveis ao contexto urbano (Toscano, 2025).

Na Figura 2 pode-se observar o esquema de um pavimento permeável.

Figura 2 - Esquema de pavimento permeável



Do ponto de vista conceitual, o pavimento permeável é projetado para atender simultaneamente às exigências mecânicas, suportando o tráfego de veículos ou pedestres, e às exigências hidráulicas, possibilitando a percolação e o armazenamento temporário da água sem comprometer o desempenho estrutural do sistema (Toscano, 2025). No caso do concreto permeável, essa funcionalidade é garantida pela

Fonte: Adaptado de Toscano (2025).

elevada porosidade do material, que permite a passagem da água por sua matriz, em contraste com o concreto convencional, no qual o escoamento ocorre predominantemente na superfície, favorecendo o transporte de poluentes (Silva Garcia; Rodgher; Florian, 2024).

O funcionamento do pavimento permeável baseia-se na entrada da água pelos poros do revestimento ou pelas juntas, no caso de pavimentos intertravados, seguida do armazenamento temporário em camadas granulares de base, geralmente compostas por brita, que atuam como um reservatório. Posteriormente, a água pode infiltrar no solo ou ser conduzida de forma controlada para o sistema de drenagem (Toscano, 2025). Além da redução do escoamento superficial, Silva Garcia, Rodgher e Florian (2024) ressaltam que esse processo contribui para a melhoria da qualidade da água, uma vez que as camadas do pavimento funcionam como um filtro natural, retendo parte dos sedimentos e contaminantes.

A infiltração da água constitui o parâmetro central para a eficiência desses sistemas. Enquanto em áreas urbanas com pavimentação convencional a infiltração é significativamente reduzida, os pavimentos permeáveis buscam restabelecer condições mais próximas às de áreas com cobertura vegetal (Silva Garcia; Rodgher; Florian, 2024). De acordo com Toscano (2025), com base na NBR 16416, o dimensionamento do sistema pode considerar três configurações distintas: infiltração total, quando toda a água percola até o subleito; infiltração parcial, em que parte do volume infiltra no solo e o excedente é coletado por drenos; e sistemas sem infiltração, nos quais o pavimento atua apenas como estrutura de retenção, conduzindo toda a água para a rede pluvial. Para o adequado desempenho hidráulico, recomenda-se que o solo apresente coeficiente de permeabilidade superior a 10⁻⁵ m/s (Toscano, 2025).

No que se refere ao controle do pico de vazão, estudos demonstram que a adoção de pavimentos permeáveis proporciona reduções expressivas na vazão máxima gerada pelos eventos de chuva. Em simulações comparativas realizadas por Toscano (2025), observou-se uma redução de 13,37% na vazão de pico em relação ao sistema convencional



de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). Esse comportamento decorre do efeito de amortecimento promovido pelo armazenamento temporário da água nas camadas do pavimento, que retarda sua liberação e suaviza o hidrograma de cheia. Como consequência, o estudo de caso analisado indicou a possibilidade de redução nos diâmetros das tubulações e na profundidade dos poços de visita, resultando em uma economia aproximada de 17% nos custos de implantação da rede de drenagem (Toscano, 2025).

Pavimento permeável como técnica compensatória

Avanil Martins Alves Neto (2025) demonstra em simulações SWMM que pavimentos permeáveis em estacionamentos de Patos-PB restauram parcialmente condições pré-urbanas, com camadas de concreto (150 mm, porosidade 15%) e armazenamento em brita (400 mm, vazios 40%) infiltrando até 10000 mm/h. Bernucci et al. (2022) reforçam que estruturas multicamadas devem considerar interações climáticas, onde permeabilidade na base granular ($k > 10^{-4}$ cm/s) evita saturação e falhas mecânicas. Essa abordagem alia controle hidrológico local a sistemas coletivos, reduzindo vazão em sub-bacias como S1 em 1,6% para TR de 2-10 anos.

Redução de alagamentos

Alves Neto (2025) registra cortes de 4,5% no escoamento superficial em cenários SCPPS e SCP100, evitando picos que sobrecarregam canais como o Riacho da Palmeira (largura 7,5 m, $n=0,0155$). Bernucci et al. (2022) alertam que drenagem inadequada reduz módulo resiliente do solo em 50% sob saturação, mas pavimentos permeáveis dissipam energia, prolongando vida útil de vias de 15 para 25 anos. Resultados em TR5 anos mostram vazão caindo de 0,998 m³/s (SCA) para 0,986 m³/s (SCP100), comprovando eficácia em eventos moderados.

Benefícios ambientais e urbanos

Simulações de Alves Neto (2025) indicam recarga de aquíferos em solos de alta permeabilidade (VIB 152 mm/h), filtrando poluentes e reduzindo carga em 80% para chuvas anuais. Bernucci et al. (2022) destacam ganhos estruturais com infiltração natural, cortando custos de tubulações em 17% e alinhando a normas como ABGE NBR 107/2024. Urbanamente, diminui ilhas de calor e riscos em áreas vulneráveis, promovendo resiliência com payback em 5 anos via menor manutenção.

Benefícios hidrológicos e naturais

Alves Neto (2025) evidencia reduções de 1,6-1,63% na vazão de pico (TR2-10 anos), restaurando infiltração em 20.617 m² e integrando com LID como trincheiras. Bernucci et al. (2022) apontam resistência a 10⁶ ciclos de carga com bases permeáveis, evitando deformações >12,5 mm e erosão em declividades médias (EMBRAPA, 1979). Filtração de 7090% de sólidos suspensos melhora qualidade pluvial, recarregando lençóis a 3-10 m de profundidade.

Vantagens econômicas e ambientais

Custos iniciais de R\$50-80/m² geram payback em 5 anos por economia em infraestrutura, conforme Toscano (2025) via Bernucci et al. (2022). Alves Neto (2025) projeta viabilidade em tráfego leve (estacionamentos), com regeneração de entupimento em 0 dias e porosidade mantida. Ambientalmente, alinha a desenvolvimento sustentável, reduzindo alagamentos em 79% de áreas impermeáveis e apoiando aquíferos via SIAGAS.

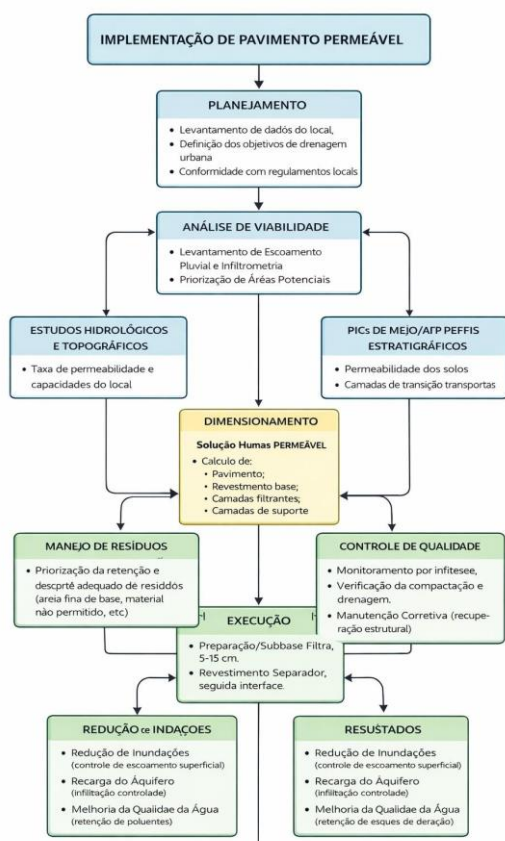
Limitações técnicas e operacionais

Alves Neto (2025) nota que reduções não restauram 100% pré-urbanização (SPU: 0,168 m³/s vs. SCP100: 0,705 m³/s em TR2), exigindo consórcios com telhados verdes. Bernucci et al. (2022) limitam aplicação a tráfego leve, com risco de colapso em cargas pesadas sem camada de solo otimizada (cascalho, porosidade 44%). Manutenção contra entupimento (fator 0 inicial) e solos heterogêneos demandam ensaios como duplo anel (ABGE 107/2024).

Restrições de implementação

Em Patos-PB, declividades variáveis (MDE Copernicus) e uso misto reduzem eficácia isolada, necessitando planejamento municipal integrado. Bernucci et al. (2022) enfatizam adaptação climática semiárida, onde VIB alta (152 mm/h) favorece, mas nítidas freáticas profundas (<10 m) limitam em solos argilosos. Custos de modelagem SWMM e fiscalização elevam barreiras iniciais, recomendando políticas como Lei 11.445/2007.

Figura 3 – Fluxograma de implementação de pavimento permeável.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos apresentados mostra que a urbanização associada ao uso predominante de pavimentos impermeáveis contribui de forma importante para o aumento do escoamento superficial e dos picos de vazão nas áreas urbanas. Em contraponto, os pavimentos permeáveis demonstram desempenho satisfatório como técnica de drenagem sustentável, ao permitir a infiltração e o armazenamento temporário da água pluvial em sua estrutura, reduzindo a carga direcionada à rede de drenagem convencional.

Os resultados discutidos por Toscano (2025) indicam que a aplicação desses pavimentos pode promover reduções relevantes na vazão de pico, além de possibilitar a diminuição dos custos de implantação da infraestrutura de drenagem. Somam-se a esses benefícios os aspectos ambientais, como a retenção de sedimentos e a melhoria da qualidade da água escoada, conforme destacado por Silva Garcia, Rodgher e Florian (2024), reforçando o potencial dos pavimentos permeáveis como solução integrada para o manejo das águas pluviais urbanas.

CONCLUSÃO

Diante do exposto, constata-se que os pavimentos permeáveis representam uma alternativa eficiente e sustentável frente às limitações dos sistemas tradicionais de drenagem urbana. Sua capacidade de reduzir o escoamento superficial, atenuar picos de vazão e contribuir para a melhoria ambiental evidencia a importância de sua adoção no planejamento urbano.

Assim, a incorporação dessa técnica aos projetos de infraestrutura urbana, associada à análise das condições locais e ao correto dimensionamento, mostra-se fundamental para a mitigação dos impactos da urbanização sobre os recursos hídricos e para a promoção de cidades mais resilientes e sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

As autoras expressam seus agradecimentos ao professor orientador Cimark Guimarães Sandes Filho, pela orientação qualificada, pelas contribuições técnicas e científicas, e pelo constante incentivo ao longo do desenvolvimento desta pesquisa. Sua experiência, dedicação e comprometimento foram fundamentais para a condução e conclusão deste trabalho.

Agradecem também à instituição de ensino e ao corpo docente, que contribuíram para sua formação acadêmica e profissional, proporcionando os conhecimentos necessários para a realização deste estudo.

Estendem seus agradecimentos aos familiares e amigos pelo apoio, compreensão e incentivo durante todas as etapas desta jornada, especialmente nos momentos de maior dedicação à pesquisa.

Por fim, agradecem a todos que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a concretização deste trabalho e para o alcance dos objetivos propostos.

REFERÊNCIAS



ALVES NETO, O. **Pavimento permeável como técnica compensatória para a drenagem urbana de Patos-PB.** Research, Society and Development,

Fonte: Elaboração própria (2025).
Vargem Grande Paulista, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2025.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2022.

SILVA GARCIA, M. **Pavimentação permeável:** mitigação de impactos ambientais e melhorias na qualidade de vida urbana. Revista de Ciências Humanas, Sociais e da Saúde, Patos de Minas, v. 7, n. 2, p. 28-36, 2024.

TOSCANO, M. F. **Uso de pavimentos permeáveis como alternativa para um sistema sustentável de drenagem de águas pluviais.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 135-154, jan. 2025.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana.** Brasília: CEPAL: IPEA, 2012.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: ABRH, 2003.