



O uso de pavimentos permeáveis como mitigação de alagamentos em grandes centros urbanos

The use of porous pavements to mitigate flooding in large urban centers

El uso de pavimentos permeables para mitigar inundaciones en los grandes núcleos urbanos

José Mário Torres Antonino

Engenheiro Civil, POLI-UPE, Brasil.
jmta@poli.br

Yêda Vieira Póvoas

Professora Doutora, POLI-UPE, Brasil.
yvp@poli.br

Micaella Raíssa Falcão de Moura

Professora Doutora, POLI-UPE, Brasil.
micaella.raissa@upe.br



RESUMO

A crescente urbanização tem desafiado as cidades a enfrentar problemas ambientais complexos, como enchentes urbanas, degradação dos recursos hídricos, bem como incremento da geração e má gestão de resíduos sólidos urbanos. Nesse contexto, a busca por alternativas sustentáveis na construção civil tornou-se uma prioridade para enfrentar essas questões de forma eficaz. Uma solução inovadora e promissora é o pavimento permeável, que permite a passagem de água através de sua estrutura, minimizando o impacto negativo do desenvolvimento urbano no meio ambiente. Sendo assim, a presente pesquisa teve como objetivo propor a implantação de pavimento permeável com uso dos Resíduos de Construção e Demolição-RCD em praças na Cidade do Recife-PE, com foco na mitigação de alagamentos. Foram cruzados dados de praças, parques e áreas verdes do Recife com os pontos críticos de alagamento, identificando áreas passíveis de utilização desta tecnologia. Este trabalho também indica a substituição do agregado convencional, a brita, por RCD, tornando uma alternativa ainda mais sustentável e técnica/economicamente viável. Essa proposição visa mitigar os efeitos dos alagamentos causados por eventos climáticos extremos. Os resultados apontam uma área passível de utilização como pavimento permeável de 8.897,72m² em 15 praças da Cidade. Desse modo, obteve-se volume útil disponível para reserva de 1.761.748,56 litros de água, auxiliando na mitigação do problema com alagamentos na capital pernambucana.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos Permeáveis. RCD. Alagamentos.

SUMMARY

Increasing urbanization has challenged cities to face complex environmental problems, such as urban flooding, degradation of water resources, as well as increased generation and poor management of urban solid waste. In this context, the search for sustainable alternatives in civil construction has become a priority to effectively address these issues. An innovative and promising solution is permeable pavement, which allows water to pass through its structure, minimizing the negative impact of urban development on the environment. Therefore, the present research aimed to propose the implementation of permeable pavement using RCD in squares in the City of Recife-PE, with a focus on sustainable urban drainage. Data from squares, parks and green areas in Recife were compared with critical flooding points, identifying areas that could be used for this technology. This work also indicates the replacement of conventional aggregate, gravel, with construction and demolition waste, making an alternative even more sustainable and technically/economically viable. This proposition aims to mitigate the effects of flooding caused by extreme weather events. The results indicate an area capable of being used as permeable pavement of 8,897.72 m² in 15 squares in the city. In this way, a useful volume available for reservation of 1,761,748.56 liters of water was obtained, helping to mitigate the problem with flooding in Pernambuco's capital.

KEYWORDS: Permeable pavement; RCD; Flood.

RESUMEN

La creciente urbanización ha desafiado a las ciudades a enfrentar complejos problemas ambientales, como inundaciones urbanas, degradación de los recursos hídricos, así como una mayor generación y mala gestión de residuos sólidos urbanos. En este contexto, la búsqueda de alternativas sustentables en la construcción civil se ha convertido en una prioridad para abordar de manera efectiva estos temas. Una solución innovadora y prometedora es el pavimento permeable, que permite el paso del agua a través de su estructura, minimizando el impacto negativo del desarrollo urbano en el medio ambiente. Por lo tanto, la presente investigación tuvo como objetivo proponer la implementación de pavimento permeable utilizando Residuos de Construcción y Demolição-RCD en plazas de la ciudad de Recife-PE, con enfoque en la mitigación de inundaciones. Se compararon datos de plazas, parques y áreas verdes de Recife con puntos críticos de inundación, identificando áreas que podrían ser utilizadas para esa tecnología. Este trabajo también indica la sustitución del árido convencional, la grava, por RCD, haciendo una alternativa aún más sostenible y técnica/económicamente viable. Esta propuesta tiene como objetivo mitigar los efectos de las inundaciones provocadas por fenómenos meteorológicos extremos. Los resultados indican un área susceptible de ser utilizada como pavimento permeable de 8.897,72 m² en 15 plazas de la ciudad. De esta forma, se obtuvo un volumen útil disponible para reserva de 1.761.748,56 litros de agua, ayudando a mitigar el problema de las inundaciones en la capital de Pernambuco.

PALABRAS CLAVE: Pavimentos permeables. RCD. Inundación.



1 INTRODUÇÃO

O aumento do grau de urbanização, da impermeabilização das superfícies, da geração de resíduos sólidos urbanos e da recorrência de eventos climáticos extremos são fatores que trazem como consequência um elevado número de alagamentos e risco às áreas de regiões ribeirinhas, morros e encostas. Adicionalmente, o crescimento desordenado da população, bem como a falta de gestão integrada no planejamento urbano e a insuficiência das instalações de sistemas de esgotos sanitário e pluvial trazem sérios problemas para as cidades, as quais, na sua maioria, ainda não dispõem de Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano. Diante desse cenário, nota-se que as áreas urbanas ficam cada vez mais impermeabilizadas, o que contribui com o aumento dos volumes e da velocidade do escoamento superficial (COUTINHO, 2011).

Uma outra problemática associada à urbanização intensa diz respeito à geração de Resíduo Sólido Urbano (RSU). Cabe salientar que parte desses resíduos não são separados e destinados de forma correta, sendo esta uma das causas de obstrução dos sistemas de drenagem urbana (BRASIL, 2022a). No que se refere ao contexto nacional, na Cidade do Recife, estado de Pernambuco, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontam que a quantidade de entulho, caliça ou metralha coletada no ano de referência pela Prefeitura Municipal ou empresa contratada por ela foi de 144.391,00 t/ano em 2019.

Quase em sua totalidade, esses resíduos são destinados para aterros sanitários e outra parte é descartada indevidamente em vias públicas, parques, praças, margens de rios e canais, onerando o sistema público de limpeza urbana. Considerando o contexto apresentado, uma das possíveis formas de aproveitamento desses resíduos consiste no projeto do pavimento permeável com substituição parcial do agregado brita por agregado oriundo de resíduos da construção e demolição. Tal projeto visa a reutilização e reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) na tentativa de reduzir os impactos gerados pela indústria da Construção Civil (CC) e setores envolvidos no processo. É um processo que reduz as áreas de extração dos agregados naturais e preserva os recursos naturais (MATAR; BARHOUN, 2020).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o município do Recife-PE ocupa a 16ª posição no ranking das cidades mais vulneráveis à mudança do clima no mundo. Os efeitos do clima em mudança podem provocar impactos significativos no sistema de drenagem dos centros urbanos. Tal situação torna-se ainda mais grave nas planícies urbanas costeiras, como é o caso da capital pernambucana, que tem urbanização desordenada, pluviosidade elevada e uma infraestrutura de drenagem bastante vulnerável à variabilidade diária das marés (SILVA JUNIOR et al., 2020).

Com base nesse panorama, então, por que não utilizar áreas existentes em todos os grandes centros urbanos como equipamentos que visem contribuir com a drenagem urbana? As praças desempenham um papel vital como espaços públicos de convívio e lazer. Embora a conexão entre praças e drenagem não seja frequentemente discutida, elas podem desempenhar um papel fundamental na gestão eficiente das águas pluviais nas cidades. O pavimento permeável ainda é bastante descredibilizado e pouco utilizado nas obras de infraestrutura executadas em todo território nacional. É por esta razão que o objeto de estudo deste trabalho

está voltado à busca de soluções e alternativas para o seu uso como técnica mitigadora na drenagem urbana, agregando a temática da sustentabilidade com incorporação do material reciclado do Resíduo de Construção e Demolição-RCD.

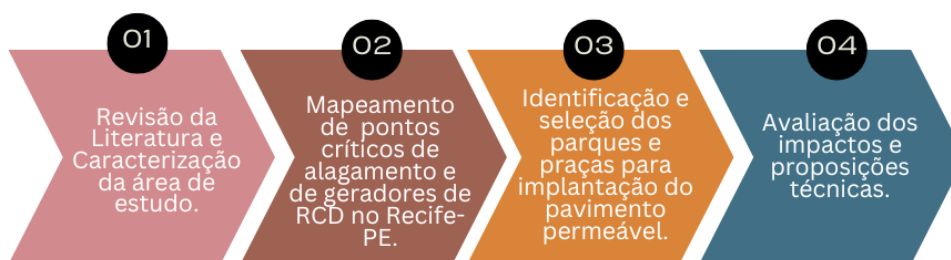
2 OBJETIVO

Avaliar a implantação de pavimento permeável, com uso do RCD, em praças da Cidade do Recife-PE com vistas à mitigação de alagamentos na Cidade.

3 METODOLOGIA

No que se refere à abordagem metodológica, a presente pesquisa se caracteriza como mista, qualitativa-quantitativa, com caráter descritivo-exploratório e adotando-se como estudo de caso a Cidade do Recife-PE. De acordo com Yin (2001), os estudos de caso não são apenas uma estratégia exploratória, mas se caracterizam como forma distintiva de investigação empírica. As etapas metodológicas são apresentadas na Figura 1.

Figura 1- Etapas metodológicas



Fonte: Os autores (2024)

3.1 Caracterização da área de estudo

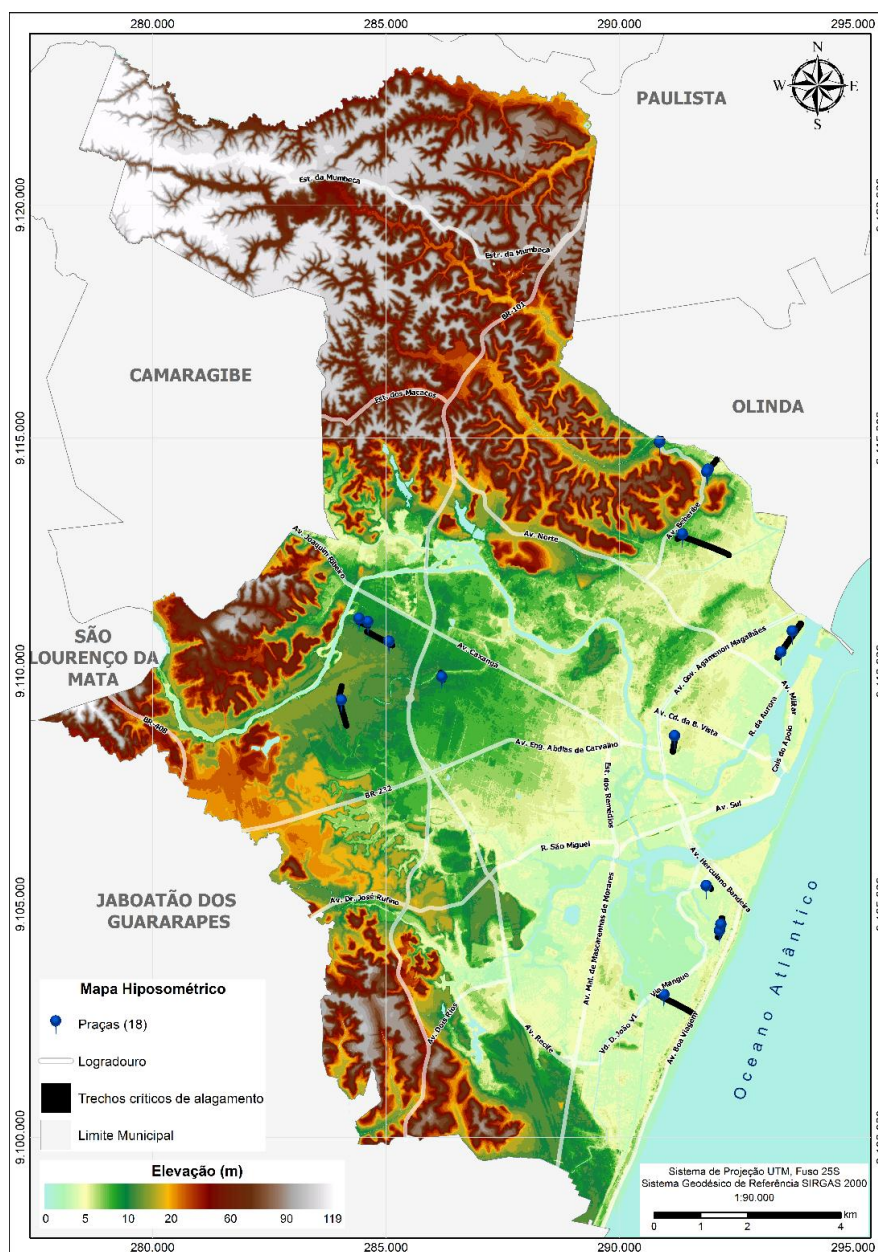
Para caracterização da área de estudo, foi realizada uma consulta à Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana da Cidade do Recife – Emlurb, a fim de identificar a localização das praças, parques e largos da capital pernambucana. A identificação desses equipamentos públicos foi trivial para o alcance dos objetivos propostos neste artigo, tendo em vista que eles, em geral, são áreas com significativo potencial de implantação dos pavimentos permeáveis.

Realizou-se ainda uma consulta ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para coletar dados referentes à população, área, densidade demográfica e número de domicílios, verificando-se que o Recife possui uma área de 218,843 km² e abriga uma população de 1.488.920 habitantes (IBGE, 2022).

3.2 Mapeamento de pontos críticos e seleção de praças

Após a caracterização da Cidade do Recife, foram encontrados 525 equipamentos públicos distribuídos entre largos, praças e parques. Desse total, 16 foram selecionados para verificação a possível implantação de uma medida compensatória para a drenagem urbana. A partir das 525 praças, parques e largos identificados, foram definidos raios de influência dos pontos críticos de alagamentos de 10 a 100 metros. Após os resultados obtidos, optou-se por usar o raio de 20m, abrangendo 15 praças, e os resultados estão apresentados na Figura 2.

Figura 2- Praças x Pontos Críticos de Alagamentos x 20m de influência



Fonte: Os autores (2024)



Para o processo de escolha dos equipamentos públicos foi utilizado um levantamento planialtimétrico disponível no portal Pernambuco Tridimensional - PE3D. Salienta-se também que as praças localizadas a montante nas bacias ou sub-bacias têm um papel relevante na amortização do escoamento superficial para os pontos de jusante. Ainda nesta etapa, foi realizada consulta ao cadastro dos pontos de descarte irregular de resíduos sólidos mapeados pela fiscalização da Emlurb. Além disso, levou-se em consideração a necessidade de cadastramento e monitoramento das empresas de transporte de resíduos da construção civil, conforme preconizado no Código de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do Município do Recife, mapeando os grandes geradores de resíduos de construção e demolição.

Reforça-se que, para os pequenos geradores, até 1,00m³, estão disponíveis as ecoestações para o descarte correto do RCD, havendo nesses locais uma disposição e espaço adequados apropriado para recebimento desses resíduos.

3.3 Avaliação dos impactos e proposições técnicas

Nesta etapa procedeu-se com um levantamento in-loco nas 15 praças que se encontravam em um raio de 20 metros de distância dos pontos críticos de alagamento. Este levantamento teve o propósito de definir uma área de implantação do pavimento permeável (em m²) em cada uma das praças, medir nível d'água e realizar registro fotográfico.

Por fim, a partir de uma seção transversal tipo pré-definida, foi quantificado o volume de água a ser absorvido nos equipamentos públicos. Reforça-se ainda que as áreas escolhidas para implantação são exclusivamente em locais de tráfego de pedestre, possibilitando a construção, sem maiores preocupações, em relação à capacidade de suporte.

Conforme preconiza a ABNT NBR 16416 (2015), nesse sistema a água precipitada fica temporariamente armazenada na estrutura do pavimento e não infiltra no subleito, sendo depois removida pelo dreno. Para quantificação do volume de água a ser absorvida/retida, aplicou-se a Equação 1.

$$V = A \times h \times n \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

V = volume útil de água absorvida/retida (m³);

A = Área do pavimento permeável (m²);

h = Altura da camada drenante do pavimento com brita 25 (comercial) de RCD (m);

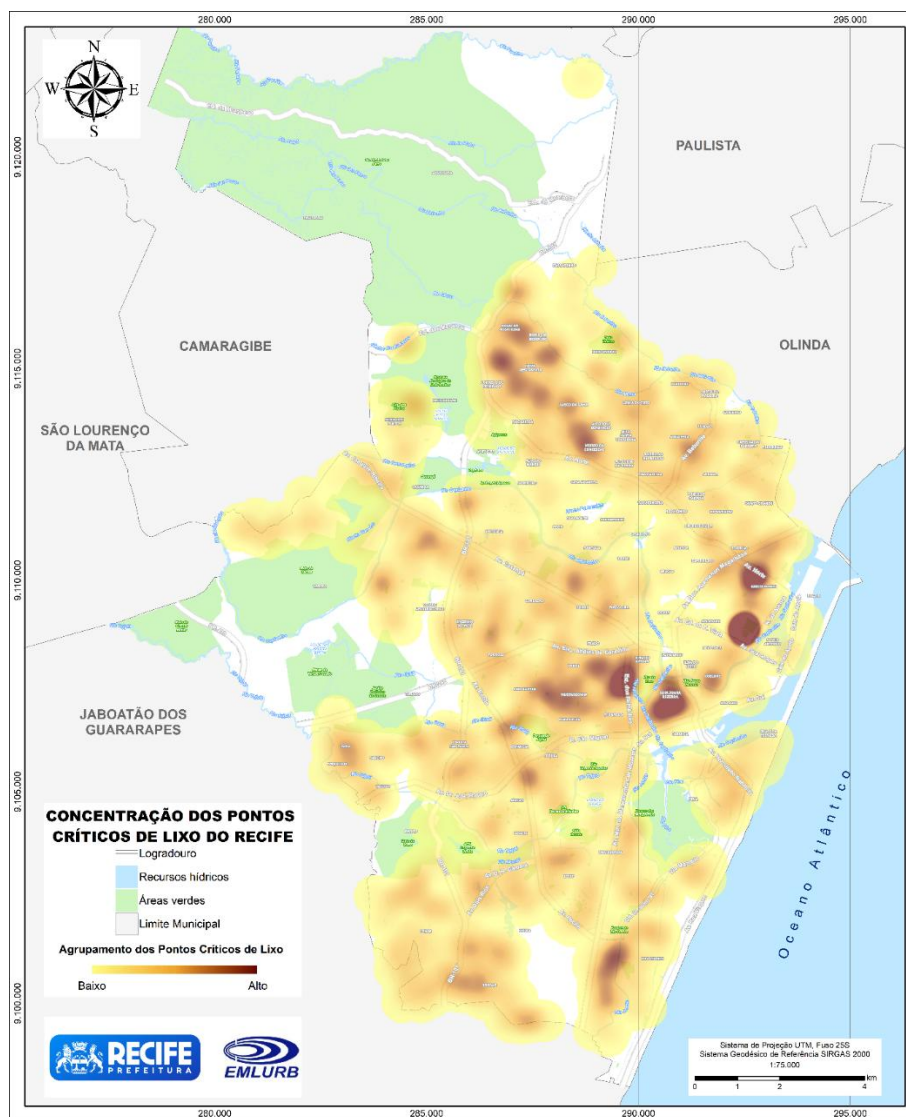
n = porosidade da brita 25 (comercial) (%).

4 RESULTADOS

A Figura 3 apresenta um mapa com o cadastro dos pontos críticos de descarte irregular de resíduos sólidos, composto em grande parte por RCD. Pela figura é possível ver que os pontos de descarte irregular de resíduos sólidos estão espalhados por toda cidade de acordo com suas Regiões Político Administrativas (RPA). Bairros como Santo Amaro, Ilha do Leite, Ilha do Retiro-

RPA 01; Vasco da gama, Nova Descoberta, Brejo de Beberibe; RPA 02 e Boa Viagem, RPA 06 são os mais destacados no mapa de calor. Todavia, não quer dizer que a população desse bairro descarta mais resíduos de forma irregular. Geralmente esse ato é cometido por geradores que contratam operadores para transportar seus resíduos e não se atentam para a correta destinação.

Figura 3-Cadastro dos pontos críticos de descarte irregular de RSU



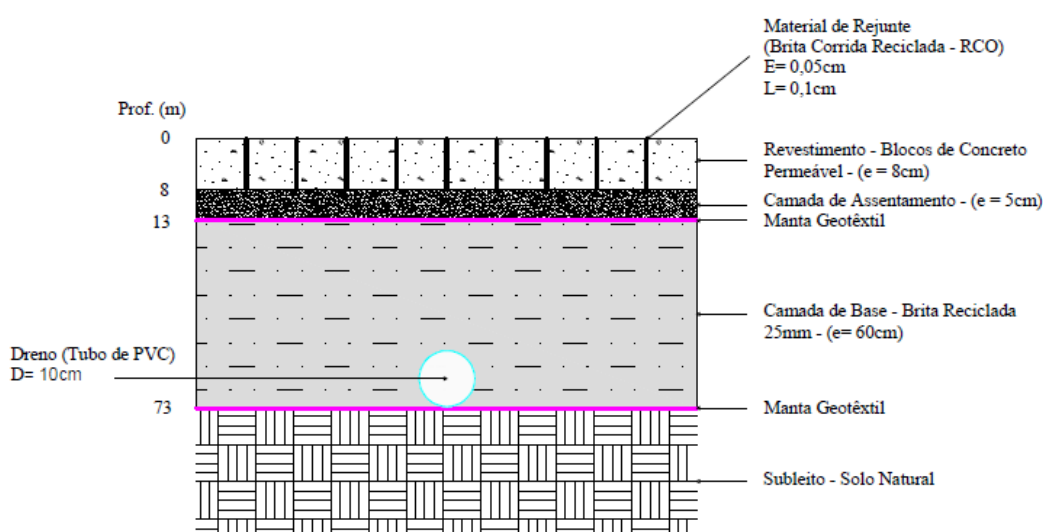
Fonte: Emlurb (2023)

Diante da metodologia apresentada, verificou-se a possibilidade de usar áreas públicas para mitigar os efeitos de alagamentos. A utilização de pavimentos permeáveis com o uso de RCD em áreas de parques, praças e largos constitui uma solução eficiente e sustentável.

É importante ressaltar que, nos últimos anos, a Cidade do Recife tem enfrentado desafios relacionados às mudanças climáticas e ao aumento de ocorrência de chuvas extremas.

Eventos de chuvas intensas e enchentes têm se tornado mais frequentes em todo o mundo, o que evidencia a necessidade de medidas de adaptação e mitigação para lidar com esses impactos. Na Figura 4 é apresentada a seção transversal tipo proposta para implantação. Importante ressaltar que os materiais granulares propostos são todos reciclados de resíduos de construção civil.

Figura 4-Seção transversal tipo proposta para implantação nos equipamentos públicos selecionados para este estudo



Fonte: Os Autores (2024) adaptado de Menezes (2023)

O resultado dos estudos da brita 25 indicou um índice de vazios de 52,8% com o ensaio realizado como material no estado solto e 49,8%, no estado compactado. Sendo assim, foi obtida a porosidade da brita escolhida no estado compactado em 33% e no estado solto, em 35%. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre o quantitativo do índice de vazios e a porosidade do material.

Tabela 1- Índice de vazios x Porosidade

Brita 25	Compactado	Solto
Base Drenante	%	%
Índice de vazios	49%	53%
Porosidade	33%	35%

Fonte: Os Autores (2024)

Vale pontuar que o objetivo do trabalho não foi dimensionar uma estrutura permeável, senão seriam necessários diversos outros ensaios geotécnicos, calcular curva IDF relacionando intensidade, duração e frequência para determinar as chuvas máximas em um

determinado local, tempos de recorrência, entre outros. O trabalho teve como objetivo mostrar a possibilidade do uso de determinados espaços públicos como reservatórios ou estruturas drenantes para absorver águas que usualmente escoam pelas superfícies impermeabilizadas de grandes centros urbanos.

A Figura 5 mostra um exemplo de relatório fotográfico feito nas praças escolhidas nesse estudo, ilustrando o equipamento escolhido, bem como a rede de drenagem existente, ponto crítico de alagamento dentro do raio de influência e o nível d'água encontrado.

Figura 5-Praça Arão Botler – Localização e relatório fotográfico



Fonte: Os Autores (2024)



Na Tabela 2 é apresentada a proposta de área passível de utilização como pavimento permeável em cada uma das 15 praças, parques e largos estudados neste trabalho. Das 15 praças selecionadas para este estudo, duas foram excluídas. A praça da Travessa José Leite apresentou o nível d'água em uma profundidade de 0,62m, impossibilitando a sua utilização, visto que o fundo da camada drenante do pavimento permeável tipo está a uma profundidade de 0,73m. Desse modo a camada drenante já estaria parcialmente comprometida. Também foi excluída a praça Professora Antônia Galvão pois o trado somente conseguiu perfurar 30cm de profundidade, impossibilitando verificar o nível d'água.

Tabela 2-Área permeável por praça

Nome	Área da praça (m ²)	Área permeável (m ²)	RPA	Bairro	Prof. Furo (m)	Nível d'água (m)
Praça Arão Botler	229,72	91,89	RPA 02	Porto da Madeira	1,50	*NE
Praça Bom Pastor	5.969,55	1.193,91	RPA 04	Iputinga	1,52	*NE
Praça Brasilit	1.259,28	251,86	RPA 04	Várzea	1,18	0,86
Praça Chora Menino	2.372,24	474,45	RPA 01	Paissandu	1,52	*NE
Praça Coliseu B	418,26	209,13	RPA 04	Várzea	1,42	1,34
Praça da Convenção	2.822,59	564,52	RPA 02	Beberibe	1,52	1,47
Praça da Rua Nelson Hungria	297,88	89,36	RPA 06	Boa Viagem	1,32	1,14
Praça da Travessa José Leite	94,73	-	RPA 06	Pina	0,67	0,62
Praça Dr Alberto Wanderley	232,30	69,69	RPA 02	Porto Da Madeira	1,50	*NE
Praça General Carlos Pinto/Largo dos Casados	3.250,89	975,27	RPA 01	Santo Amaro	1,32	1,26
Praça João Francisco Lisboa	250,34	50,07	RPA 04	Várzea	1,50	*NE
Praça Jornalista Otávio Sarmiento Cardoso/Coliseu A	246,08	123,04	RPA 04	Várzea	1,15	1,05
Praça Onze de Junho - A	9.271,83	2.781,55	RPA 01	Santo Amaro	0,95	0,86
Praça Professora Antônia Galvão	269,06	-	RPA 02	Água Fria	0,30	*NE
Praça Profeta Joseph Smith/da Santa	6.743,25	2.022,98	RPA 06	Pina	1,50	*NE

Fonte: Os Autores (2024)

Para finalizar a seção transversal tipo escolhida, foi proposto um revestimento composto por blocos intertravados drenantes com dimensões de 20,0 cm x 10,0 cm de comprimento e largura, respectivamente, e 8,0 cm de espessura, e sua resistência média à compressão é de 41,5 MPa. O intertravado é assentado em uma camada de areia grossa de 5,0 cm.

Por fim, foi calculado o volume útil disponível para reservação, admitindo que o sistema escolhido foi o sem infiltração. Para esse cálculo foi aplicada a Equação 1 apresentada na metodologia, utilizando-se a porosidade da brita 25 no estado compactado de 33%. A Tabela



3 mostra um resumo da área total passível de implantação do pavimento permeável x volume útil disponível para reservação.

Tabela 3-Resumo da área total x volume útil disponível para reservação

	Área total (m ²)	Espessura da camada drenante (m)	Porosidade (n)	Volume útil (m ³)	Volume útil (L)
Instalação de pavimentos permeáveis	8.897,72	0,60	33%	1.761,75	1.761.748,56

Fonte: Os Autores (2024)

5 CONCLUSÃO

O pavimento permeável representa uma alternativa sustentável e eficiente para lidar com os desafios urbanos enfrentados pelas cidades contemporâneas. Ao adotar essa tecnologia, pode-se atenuar os impactos negativos da urbanização no meio ambiente, promover a gestão responsável das águas pluviais e dos resíduos sólidos urbanos, e ao mesmo tempo, preservar a qualidade de vida das comunidades urbanas.

Diante do exposto, fica evidenciado que com a implantação do pavimento permeável nas 15 praças do estudo, com área total de 8.897,72m², consegue-se o volume útil disponível para reservação de 1.761.748,56 litros de água, mitigando o problema com alagamentos na Cidade do Recife. Importante reforçar que a seção do pavimento permeável deste trabalho foi a mesma para todas as praças, com o intuito de exemplificar a quantidade de um equipamento deste pode reter e não mais estar escoando superficialmente nas vias.

O trabalho espera contribuir para difundir o uso e estimular novas pesquisas, intervenções e propostas de implantação de pavimentos permeáveis com RCD em parques, praças e largos na Cidade do Recife-PE, de modo a reduzir escoamento superficial e fomentar técnicas de drenagem urbana sustentável.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Planares 2022**. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf. Acesso em: 30 ago. 2022.

COUTINHO, Artur Paiva. **Pavimento Permeável como Técnica Compensatória na Drenagem Urbana da Cidade do Recife**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

IBGE. Censo demográfico. Brasília: IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022.

MATAR, Pierre; BARHOUN, Jean. **Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete**. Journal of Building Engineering, v. 32, p. 101521, 2020.



Edição em Português e Inglês / Edition in Portuguese and English - Vol. 12, N. 38, 2024

MENEZES, Lucas Amorim Amaral. **Utilização de pavimento permeável como alternativa compensatória para drenagem urbana.** 2023. Dissertação de mestrado. Universidade de Pernambuco.

SILVA JUNIOR, Marcos Antonio Barbosa et al. **Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE.** Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 5, n. 3, p. 302-318, 2020.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos** / Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi - 2.ed. -Porto Alegre : Bookman, 2001.