

1051 – REGULAÇÃO ECONÔMICA DA DRENAGEM URBANA: COMO A TIPOLOGIA URBANA INFLUENCIA O CONSUMO DO SERVIÇO

Diego da Silva Lima(1)

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela UFAL. Técnico de Laboratório do Instituto Federal de Alagoas (IFAL) – Campus Maceió. Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos na Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (FT / UnB), com período sanduíche na University of Texas at San Antonio (E. Unidos).

Endereço(1): Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. SG12 - Asa Norte, Brasília - DF, CEP: 70910-900. Campus Darcy Ribeiro, Telefone: (61) 3107-0940. E-mail: diego.lima@ifal.edu.br

Conceição de Maria Albuquerque Alves(2)

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos (USP). Doutora em Sistemas Ambientais e de Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Cornell (EUA). Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília e pesquisadora do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos/UnB.

Endereço(1): Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. SG12 - Asa Norte, Brasília - DF, CEP: 70910-900. Campus Darcy Ribeiro, Telefone: (61) 3107-0940. E-mail: calves@unb.br

RESUMO

Nas cidades brasileiras, a drenagem e manejo e águas pluviais urbanas (DMAPU) é considerado o componente de saneamento básico menos regulamentado, especialmente quando comparado aos serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de águas residuais. A falta de regulamentação adequada e mecanismos de financiamento resulta em serviços de DMAPU precários resultante de projetos que não incorporam os princípios de integração ecossistêmica em ambientes urbanos. Uma alternativa para abordar essas questões surge via adoção de Soluções Baseadas na Natureza (SbN). Tais abordagens ainda não encontram o nível adoção desejada nas comunidades, além de sofrerem com incertezas no nível de eficácia, altos custos de implementação e operação, baixo nível de envolvimento da comunidade nas decisões do projeto, além dos padrões técnicos e incentivos econômicos insuficientes para o estímulo à adoção. Neste trabalho, focamos em entender como características urbanas formam tipologias de áreas mais favoráveis à implantação de SbN integradas a DAMPU. Busca-se também, explorar como ferramentas econômicas podem contribuir para a implementação de sistemas SbN eficazes que favoreçam o bem-estar e compartilhem benefícios sociais e ambientais entre famílias e comunidades. A metodologia foi aplicada a áreas urbanas no Distrito Federal do Brasil, que possui diferentes tipologias urbanas marcadas por disparidades econômicas e habitacionais. Resultados preliminares indicam que uma maior densidade demográfica pode desempenhar papéis significativos em como as ferramentas econômicas impactam a colocação de diferentes tipos de SbN. A variedade de características locais de áreas urbanas e municípios requer soluções que combinem aspectos ambientais, socioeconômicos. Argumentamos que a implementação bem-sucedida de SbN para gerenciamento de águas pluviais ainda requer legislação robusta e ferramentas econômicas, dado que os custos e as ações para transformar o paradigma da drenagem urbana permanecem reativos em muitas cidades, apesar dos avanços no gerenciamento de águas pluviais. Neste cenário, delinear as configurações de maior demanda é crucial.

PALAVRAS-CHAVE: *Regulação, Instrumentos Econômicos, Drenagem Urbana, Análise Hierárquica de Processos.*

INTRODUÇÃO

Quantificar, avaliar e monetizar os benefícios das medidas relacionadas ao novo paradigma da drenagem (maior integração da água vis-à-vis o tratamento higienista) são cruciais para obter financiamento adequado do serviço de manejo das águas urbanas (Heijer e Coppens, 2023).

Nas cidades brasileiras, a gestão de águas pluviais urbanas é considerada o serviço de água menos regulamentado e financiado em comparação ao abastecimento de água e coleta e tratamento de águas residuais (IPEA, 2022). Esta lacuna de regulação resulta em serviços de drenagem precários, o que impacta a qualidade da água e frequentemente resulta em inundações, com impactos negativos para a sociedade e o meio ambiente (Novaes e Marques, 2022). Este trabalho visa discutir esta questão a partir da compreensão de que a desejada mudança de paradigma do manejo das águas urbanas pode ser acelerada com uma definição integrada de seus elementos constituintes (caracteres hidrológicos, definições técnicas, fatores socioeconômicos e institucionais, e.g), ainda dispersos e fragmentados na literatura (Vasconcelos et al., 2022).

Ratnadiwakara & Venugopal (2023) demonstraram que as percepções de risco desempenham um papel importante nas decisões das famílias, ao avaliar áreas onde a cobertura securitária de edifícios é requerida para hipotecas subsidiadas em áreas com probabilidade de 1% de inundaçao em determinado ano. Em adição, Tovilla (2020) indica que as políticas hídricas urbanas ainda se concentram especialmente no abastecimento de água e esgoto, deixando a água da chuva em segundo plano e, consequentemente, as políticas relacionadas (Novaes and Marques, 2022). Esta lacuna regulatória, explorada por Jensen et al. (2020), afeta condições como qualidade da água, tratamento dos riscos de inundaçao, bem como insere incertezas quanto à aplicação das melhores técnicas disponíveis. Por exemplo, a má seleção de locais para jardins de chuva pode prejudicar o ecossistema, enquanto a ausência da participação das comunidades locais pode afetar a migração humana (Zhou et al., 2024).

Novaes e Marques (2022) atribuem esta latência à forma de organizar e ofertar o serviço. Em outras palavras, o consumo efetivo é pouco notado, i.e., a demanda é evidente apenas durante períodos chuvosos críticos, quando a infraestrutura está sob estresse. Não raramente os estratos populacionais de menor renda possuem maior exposição quando da ocorrência de eventos críticos. Ao habitarem áreas de maior risco do tecido urbano, quer pelas características fisiográficas (encostas, zonas ribeirinhas), quer por insegurança jurídica acerca do direito de propriedade sobre o terreno (ocupam áreas de forma irregular), as comunidades podem não apresentar disponibilidade de pagamento, pois a renda é comprometida com outros serviços públicos básicos (abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos, fornecimento de energia elétrica, gás).

Uma alternativa de abordagem é a implementação de Soluções Baseadas na Natureza (NbS). Tais abordagens, ainda não encontram o nível adoção desejada nas comunidades, além de sofrerem com incertezas no nível de eficácia, altos custos de implementação e operação, baixo nível de envolvimento da comunidade nas decisões do projeto, além dos padrões técnicos e incentivos econômicos insuficientes para o estímulo à adoção. Neste trabalho, focamos em entender como a tipologia urbana influencia a seleção de sistemas de águas pluviais integrados ao NbS.

A metodologia foi aplicada a áreas urbanas no Distrito Federal do Brasil, marcadas por disparidades sociais e econômicas. Os resultados indicam que uma maior densidade demográfica pode desempenhar papéis significativos em como as ferramentas econômicas impactam a colocação de diferentes tipos de NbS. A variedade de características locais de áreas urbanas e municípios requer soluções que combinem aspectos ambientais, socioeconômicos. A implementação bem-sucedida de NbS para gerenciamento de águas pluviais ainda requer legislação robusta e ferramentas econômicas, dado que os custos e as ações para transformar o paradigma da drenagem urbana permanecem reativos em muitas cidades, apesar dos avanços no gerenciamento de águas pluviais.



33º CONGRESSO DA ABES
Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



METODOLOGIA

Nesta seção, o zoneamento de regulação econômica do serviço de drenagem é definido para o Distrito Federal do Brasil, abordado via aplicação do método Fuzzy-AHP. Diversas técnicas estão disponíveis na literatura para analisar esse tipo de problema. Os autores selecionaram a abordagem MCDM, de modo a incorporar fatores numéricos facilmente determináveis, e incorporando conhecimento de domínio para a atribuição de pesos no Fuzzy-AHP.

O objetivo do estudo é compreender como a tipologia urbana influencia o consumo provável do serviço de drenagem e como agrupar as vizinhanças sob características tipológicas em comum. O estudo emprega software GIS para gerar camadas temáticas a partir de imagens de satélite e dados públicos, como precipitação, declividade do terreno e tipo de solo. As camadas temáticas, distribuídas espacialmente através de rasterização, foram normalizadas através de conjuntos Fuzzy e são agrupadas via análise hierárquica de processos. O produto é então dividido em cinco classes usando o método de quebras naturais (Jenks). Cinco etapas compõem a abordagem:

Etapa 1: Identificar os critérios, coletar e manipular os dados necessários;

Etapa 2: Distribuição espacial dos dados e aplicação dos conjuntos Fuzzy

Etapa 3: Atribuição de Pesos via Análise Hierárquica de Processos e agregação de critérios por GIS para gerar o mapa do zoneamento;

Etapa 4: Otimização com o método de Jenks para estabelecer os limites numéricos de cada zona;

Etapa 5: Verificação dos resultados.

Este estudo foi desenvolvido a partir de 3 fatores, detalhados na tabela abaixo e descritos a seguir.

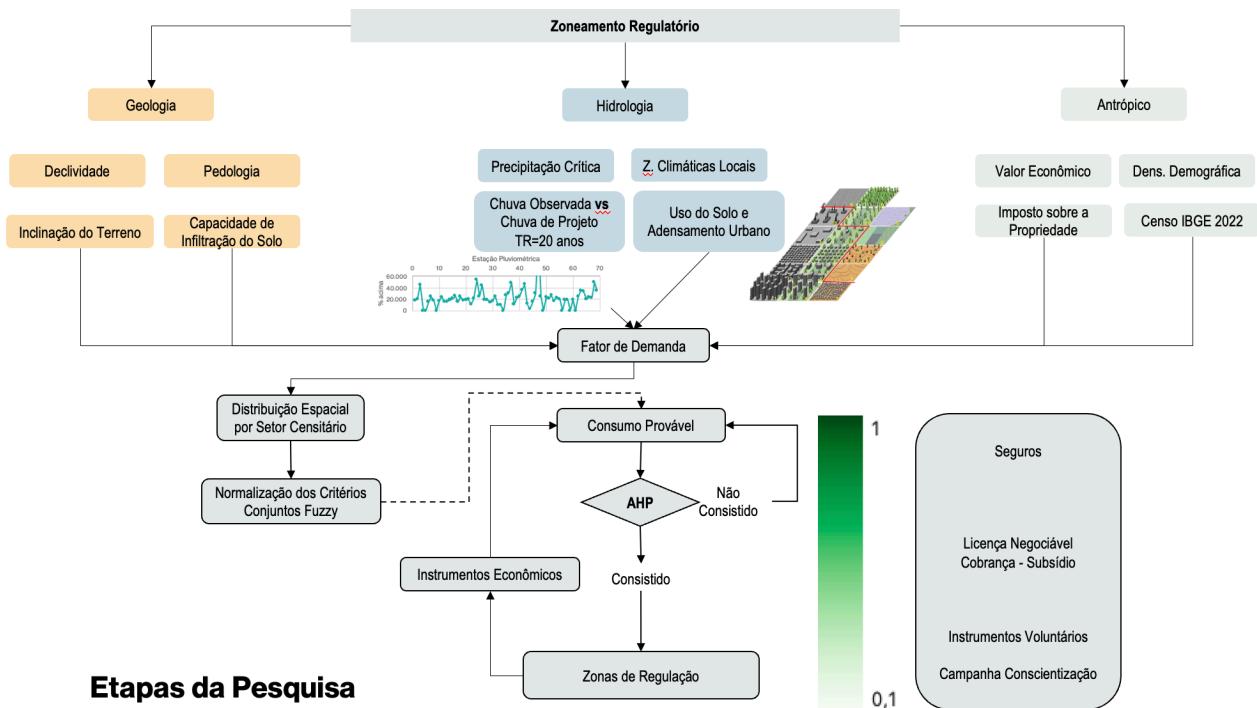


Figura 1 – Resumo das etapas de pesquisa.

Definição do Objeto de Regulação

Para os fins deste estudo, o serviço de drenagem e manejo das águas pluviais é entendido como a instalação e operação de estruturas urbanas, projetadas em nível de risco conhecido e determinado para coletar, direcionar e integrar as águas pluviais dentro do espaço urbano. O atendimento é considerado satisfatório quando, para o nível de risco projetado, as estruturas são capazes de suportar o regime de precipitação sem limitar a mobilidade urbana, a habitação humana e o paisagismo. Deve haver plano de manejo para atender, em caráter emergencial, eventos de precipitação que superem a capacidade projetada. A tipologia de cada cidade influí diretamente na

avaliação de como combinar estruturas cin-zas porventura já existentes (higienistas) e a implantação e ampliação contínua das medidas verdes (baseadas na natureza). Por sua vez, são objeto de regulação do serviço os itens previstos em legislação: a infraestrutura de coleta e transporte das águas pluviais na zona urbana; a detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias; o tratamento e, por fim, a disposição final.

Geologia

O critério de 'geologia' leva em conta as características físicas do ambiente urbano, como topografia, tipo de solo, capacidade de infiltração do solo e presença de espaços verdes e corpos d'água. O critério "socioeconômico" permite que a escolha do dispositivo a ser implantado com base no tipo e nas características do ambiente urbano. Primeiro, classifica de acordo com o tipo de uso da terra, distinguindo entre centros urbanos densos, áreas residenciais, áreas comerciais, estradas e estacionamentos, praças e pátios, parques e jardins e playgrounds ao ar livre. O critério de 'hidrologia' leva em consideração se a água é visível ou não. Permite a classificação de acordo com a forma como é implementado e a modalidade de vegetação. Os dados foram analisados e integrados em quatro passos: 1) coleta de dados e pré-processamento; 2) distribuição espacial dos dados 3) análise hierárquica de processos, e 4) álgebra de mapas via Análise Hierárquica de Processos.

Área do Estudo

Como capital do Brasil, Brasília é a cidade com maior crescimento demográfico do país, com aumento de 10% na população, algo em torno de 247 mil moradores no período entre 2010-2022, o intervalo mais recente entre censos. Com isso, passou a ser a terceira cidade mais populosa no Brasil, uma população de 2,8 milhões e densidade de 489,06 pessoas/km² (IBGE, 2022).

O relevo do Distrito Federal caracteriza-se pelo padrão plano a suave ondulado, com altitude variando entre 750 m e 1350 m, com cinco grandes compartimentos. São eles: Plano Elevado: relevo plano com declividade inferior a 10%. Plano Intermediário: relevo suave ondulado, de declividade inferior a 12%; Rebordo: relevo ondulado com declividades entre 10% e 20%; Vale Dissecado: relevo ondulado a forte ondulado, com declividades superiores a 20% e Rampa Íngreme: relevo forte ondulado a escar-pado, com declividades superiores a 25% (GDF, 2020).

Declividade

O escoamento superficial devido à precipitação pode sofrer influência da declividade do terreno. Em geral, áreas com baixa inclinação têm maior probabilidade de inundação devido a confluência de maiores volumes de água, o que pode demandar maior esforço da infraestrutura de drenagem. Portanto, a inclinação é um fator importante a se considerar na avaliação do consumo do serviço.

Pedologia

A capacidade de infiltração é avaliada a partir da pedologia, ao separar os solos presentes no território do Distrito Federal pela capacidade teórica de infiltração definida pela literatura. De fato, a ocorrência de inundações pode ser influenciada pela variação da geologia local. Este é um fator de condicionamento normalmente atribuído à amplificação da taxa de inundação. Considera-se que unidades litológicas com maior permeabilidade aceleram o processo de infiltração, reduzindo o risco de inundações.

Uso do Solo

A definição do mapeamento das cidades recorre a conceitos da geografia, com destaque para o campo da morfologia urbana. Em linhas gerais, o termo refere-se ao estudo dos arranjos espaciais do tecido urbano e como as pessoas interagem com as formas ao longo do tempo. Aqui podem ser considerados elementos tais como ruas, edifícios de diversos formatos e usos, praças, áreas verdes, dentre outros. Dois métodos foram considerados: as zonas climáticas locais (Huang et al., 2023) e os padrões de estruturas urbanas (Lehner e Blaschke, 2019).

Precipitação Crítica

Uma rotina foi desenvolvida em Python para avaliar a quantidade de eventos críticos, e está alocada no Apêndice A. É comparada a chuva de projeto com observações da série histórica de precipitação diária das estações pluviométricas nos últimos 20 anos, sem o preenchimento de falhas. O valor de referência escolhido advém da curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) definida pela NovaCap (2019) para o Distrito Federal e corresponde a uma precipitação de 58,32 mm, 60 min de duração e tempo de retorno de 10 anos.

São admitidos como eventos críticos aqueles dias nas quais a chuva diária observada foi quantitativamente maior que a chuva de projeto. Estas datas são armazenadas, e, para cada uma, calculada a média e a mediana da ultrapassagem. Isto fornece indício do nível de sobrecarga no sistema, além de fornecer indícios se este fenômeno é pontual ou rotineiro. Para tanto, a mediana é escolhida como a métrica final, em vistas de reduzir



possíveis distorções.

Usuários Afetados

A quantidade de usuários afetados é definida a partir da combinação de duas avaliações: a primeira leva em conta a densidade demográfica por setor censitário do IBGE, no mapeamento para o Censo 2022. A segunda considera o perfil habitacional médio do setor censitário, oriundo do mapa de uso e ocupação do solo. Em áreas com igual densidade, espera-se que as de maior verticalização estariam menos expostas a prejuízos causados por eventos críticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento sugere que o uso e a cobertura do solo são o personagem principal; no entanto, eles respondem a uma parcela como a determinada para o critério de densidade demográfica e eventos críticos de precipitação.

É importante destacar que, juntos, eles respondem por cerca de 78% do consumo provável do serviço de drenagem na área avaliada. A tabela a seguir apresenta um resumo dos dados.

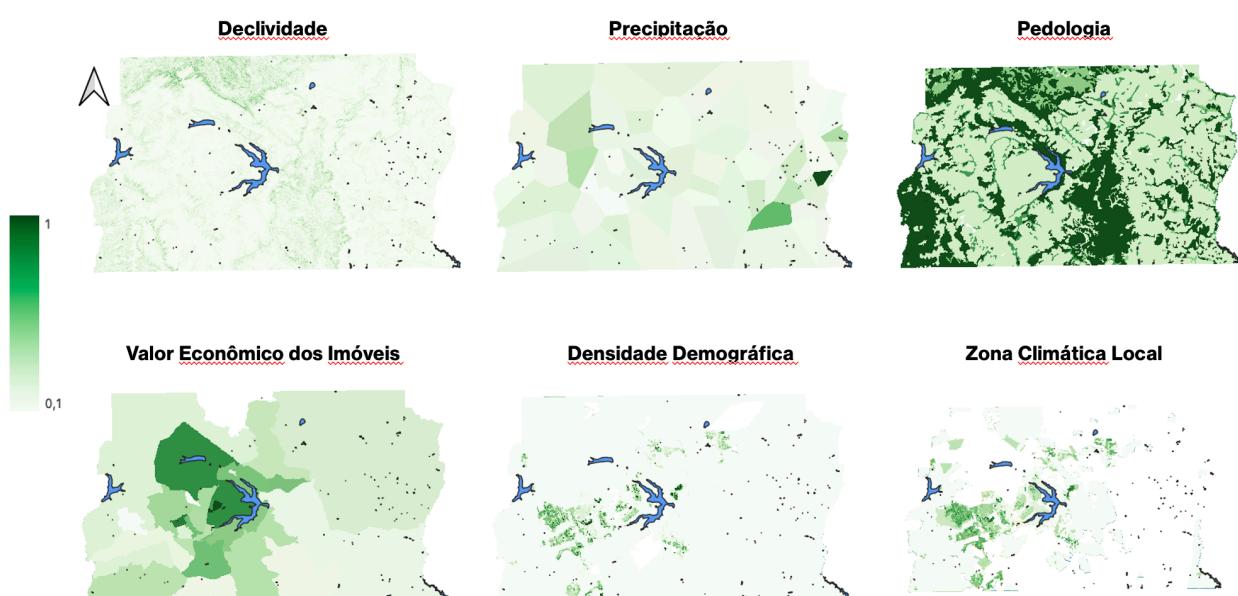


Figura 1 – Mapas individuais de cada critério, onde o verde mais escuro representa os máximos em cada critério (normalizados em valor 1) e as zonas em branco os mínimos (normalizados em 0)

O relevo do Distrito Federal é caracterizado por um padrão plano a suavemente ondulado, com altitudes variando entre 750 m e 1350 m, com cinco grandes compartimentos definidos na Figura 1, conforme o Atlas do Distrito Federal (GDF, 2020). Em relação a precipitação, os valores são semelhantes nas aproximadamente 70 estações analisadas, com um ponto extremo em uma estação na área rural do Distrito Federal.

Dessa forma, pode-se afirmar que há evidências preliminares de que a precipitação mediana seria equivalente, nesse caso, a uma precipitação de 70,6 mm, duração de 60 minutos e 10 anos de tempo de retorno. No caso de precipitação maior que a precipitação projetada, a precipitação mediana observada supera a precipitação projetada (58,32 mm) em 21,06%.

Essa seria uma provável métrica de sobrecarga do sistema, que precisa ser refinada e complementada por outras avaliações subsequentes. Para o levantamento realizado, a Figura 2 indica que os valores são semelhantes nas aproximadamente 70 estações analisadas, com um ponto extremo em uma estação na área rural do Distrito Federal. Dessa forma, poderia-se afirmar que há evidências preliminares de que a precipitação média seria equivalente, nesse caso, a uma precipitação de 70,6 mm, com duração de 60 minutos e 10 anos de tempo de retorno.

tendências mais proeminentes observadas nos outros cinco critérios. Hipoteticamente, pode-se deduzir que a disponibilidade de dados atualizados do censo de 2022, somados à agregação do fator de vulnerabilidade dos usuários (maior ou menor verticalização dos imóveis), ajudarão a corrigir o desvio observado. Variações na configuração das áreas com maior probabilidade de consumo do serviço podem ser entendidas pelo processo de ocupação urbana do Distrito Federal.

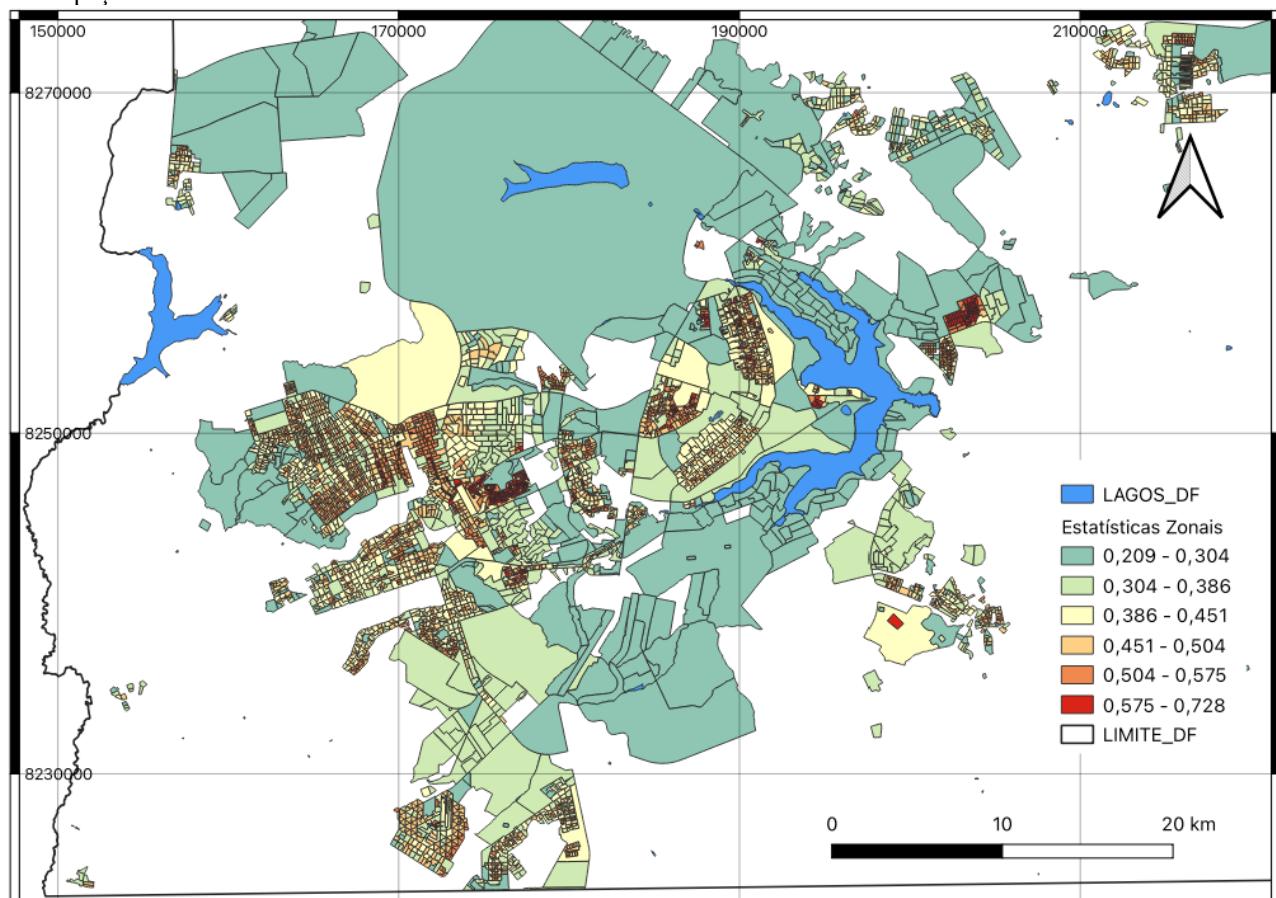


Figura 3 – Mapa de Consumo Provável do serviço de DMAPU no Distrito Federal (DF) segundo seis critérios: uso do solo, usuários afetados, eventos críticos de precipitação, declividade, pedologia e chuva média anual.

As áreas avaliadas de altíssima demanda nos critérios abrangidos abrangem porções significativas das regiões administrativas de Águas Claras, Arnaireiras e Vicente Pires. De fato, dentre as áreas de menor demanda estão parcelas do Plano Piloto, que apresenta maior quantidade de áreas verdes, quer conservadas, quer planejadas. A validação do resultado, como possibilidade para investigações futuras pode ser feita através de levantamento junto a órgãos governamentais, para identificar os pontos com maior ocorrência de alagamentos e cruzar com o mapeamento aqui obtido. A alta contribuição do padrão de ocupação, relativamente denso e verticalizado em Águas Claras, além da impermeabilização e alta expansão habitacional nas demais regiões mencionadas, constitui uma hipótese inicial para explicar o resultado obtido. Entre as áreas com menor demanda estão trechos do Plano Piloto, que possuem maior número de áreas verdes, sejam elas conservadas ou planejadas. A validação do resultado, como possibilidade para futuras investigações, pode ser feitas por meio de pesquisa com órgãos governamentais, para identificar os pontos com maior ocorrência de alagamentos e cruzá-los com o mapeamento obtido.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



CONCLUSÃO

Neste trabalho, a Análise Hierárquica de Processos foi utilizada para destacar os arranjos urbanos mais sensíveis ao serviço de drenagem urbana. A tipologia considerada crítica, para a área de estudo, apresenta maior densidade demográfica e presença de eventos de precipitação que excedem 20% da precipitação do projeto. A abordagem desenvolvida neste estudo foi inicialmente testada para o Distrito Federal do Brasil, uma área essencialmente plana (declividade menor que 5% na área urbana), na região central da América do Sul.

A aplicação da abordagem a outras áreas deve ser testada para entender melhor sua validade e confiabilidade. Trabalhos futuros poderiam se concentrar nas seguintes questões: primeiro: como selecionar benefícios das soluções consideradas adequadas para o escopo definido do serviço e sugerir formas de valorar vantagens não oferecidas por soluções tradicionais; segundo, é possível explorar dados do Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS) para avaliar custos da oferta do serviço? Terceiro, como possibilitar, para os limites do trabalho desenvolvido, a discussão sobre equidade e possíveis impactos da remuneração do serviço em diferentes grupos socioeconômicos.

As evidências sugerem que a análise hierárquica de processos foi capaz de fornecer um produto estatisticamente consistente, relevante para identificar áreas críticas que requerem mais detalhes nas próximas etapas. A principal limitação refere-se aos critérios e ponderações aplicados, que poderiam ser aprimorados para obter respostas ainda mais precisas. Os esforços para reorientar o serviço de drenagem urbana para a expectativa de integrar a água ao espaço urbano são um desafio significativo, dada a natureza multidimensional e a dinâmica dos processos.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Franco-Torres M., Briony C. R. & Robin H. (2021) Articulating the new urban water paradigm, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51:23, 2777-2823, DOI: 10.1080/10643389.2020.1803686

Heijer, C. D. Coppens, T. Paying for green: A scoping review of alternative financing models for nature-based solutions, *Journal of Environmental Management*, Volume 337, 2023, 117754, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117754>.

IPEA. Text for discussion: Drainage and Sustainable Management of Urban Rainwater: What's Left for Brazil to Adopt? Mendes, A. T; Santos, G. R. Rio de Janeiro, 2022. ISSN 1415-4765

Novaes, C. A. F. O.; Marques. R. C. ; Regulation of urban stormwater management is not a matter of choice, but performance. *Water Policy* 1 August 2022; 24 (8): 1325-1342. doi: <https://doi.org/10.2166/wp.2022.097>

Porse, E. Maureen K., Shinneman, J. Kaplan J., Stone S., Mary L. C.; Stormwater utility fees and household affordability of urban water services. *Water Policy* 1 June 2022; 24 (6): 998-1013. doi: <https://doi.org/10.2166/wp.2022.024>

Vasconcelos, A. F.; Barbassa A. P, Santos, M. F. N., Imani, M. A. Barriers to sustainable urban stormwater management in developing countries: The case of Brazil, *Land Use Policy*, Volume 112, 2022, 105821, ISSN 0264-8377, <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105821>.