



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

NÚCLEO DE TECNOLOGIA

RELATÓRIO FINAL

MÉTODOS COMPUTACIONAIS APLICADOS À SUSTENTABILIDADE DA ÁGUA EM MEIO URBANO

Nº do processo: ARC-0605-3.01/22

SAULO DE TARSO MARQUES BEZERRA

Caruaru-PE, abril de 2023

1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA

Título do curso de extensão:

Métodos computacionais aplicados à sustentabilidade da água em meio urbano.

Identificação do coordenador:

Saulo de Tarso Marques Bezerra.

Identificação da Instituição Executora:

Campus do Agreste / Universidade Federal de Pernambuco.

Identificação da empresa parceira:

Habite-se Engenharia e Empreendimentos Ltda.

Lócus de inovação:

Integração entre Tecnologias Sociais e Agricultura de Sequeiro para Racionalização do Uso da Água – Processo Nº APQ-0169-3.01/22, coordenado pelo Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho.

2. INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria da população mundial está localizada em áreas urbanas. Com isto, atender às necessidades de abastecimento de água, águas residuais e controle de enchentes, ao mesmo tempo em que protegemos nossos recursos naturais, representa um imenso desafio. Dados apresentados pelas Nações Unidas indicam que a população mundial triplicou entre 1950 e 2017 e a estimativa é que deva atingir 9,8 bilhões de habitantes até 2050 (NAÇÕES UNIDAS, 2018). Metade dessa população estará concentrada em áreas urbanas. Logo, aumentar a resiliência da cidade se torna um dos principais desafios para tomadores de decisão, planejadores urbanos e profissionais de engenharia em todo o mundo (HAMMOND et al., 2015; KIM et al., 2017; WANG et al. 2019).

À medida que as cidades crescem, a infraestrutura para gerenciar o ciclo da água no meio urbanos evolui para sistemas cada vez mais complexos. Para atender a demanda de água potável, as grandes cidades frequentemente importam água de fontes distantes sem levar em conta o balanço hídrico natural das bacias hidrográficas. Para o gerenciamento de águas pluviais, muitas cidades dependem fortemente, se não inteiramente, de sistemas projetados para coletar e transportar o escoamento para as águas receptoras próximas. O impacto e as limitações inerentes a estas abordagens são agora amplamente reconhecidos devido ao estado de degradação dos nossos recursos.

As cidades sofrem do dilema de oferta e demanda desequilibrada de recursos hídricos, danos à qualidade da água, capacidade limitada de transporte do ambiente hídrico e capacidade insuficiente de prevenção e mitigação de desastres (PENG et al., 2016; Silva Junior et al., 2017). Vários pesquisadores enfatizam a importância da proteção da segurança hídrica urbana e destacam a necessidade de estudos de segurança hídrica em nível da cidade (ROMERO-LANKAO & GNATZ, 2016; NAÇÕES UNIDAS, 2018; ZHU & CHANG, 2020). Cada vez mais, nossas cidades precisam ser projetadas para adaptabilidade e resiliência aos impactos do crescimento populacional, adensamento urbano e/ou mudanças climáticas.

Responder a essas mudanças requer uma mudança fundamental na maneira como projetamos e construímos a infraestrutura de nossas cidades e gerenciamos nossos recursos hídricos.

Hoje, a maioria dos gestores enfrenta o problema de reparar sistemas antigos versus implantar novos. O fato de muitos sistemas implantados possuírem dezenas de anos e continuarem a funcionar hoje é um legado notável dos excelentes engenheiros do início do final do século 20. No entanto, o tempo cobrou seu preço, e esses sistemas estão se deteriorando e falhando gradualmente, enquanto as populações nas áreas que atendem continuam a crescer e a exigir mais deles. Cada vez mais, a maioria das cidades está procurando substituir sistemas antigos por uma abordagem mais integrada para atingir vários objetivos no abastecimento de água e gestão de águas residuais, ao mesmo tempo em que obtém benefícios de custo. Isso está relacionado à requalificação de locais previamente desenvolvidos, às vezes com contaminação que deve ser remediada.

Além da infraestrutura envelhecida, as mudanças climáticas globais que estão causando aquecimento global e mudanças nos padrões de precipitação significam problemas dramáticos para o abastecimento de água em muitas áreas. Espera-se que as cheias e secas se tornem mais frequentes nas diversas áreas do mundo. Em suma, a resposta dos sistemas de abastecimento de água e proteção contra inundações das cidades às mudanças climáticas pode ser o maior desafio até agora. As inundações em áreas urbanizadas são consideradas uma ameaça emergente, tanto para a economia quanto para a sociedade (EEA, 2012; XIE et al., 2017). Essas são responsáveis por um terço das perdas econômicas e por mais da metade de todas as mortes relacionadas a desastres naturais (WHITE, 2000).

A abordagem tradicional de desenho urbano e gestão do ciclo da água está sendo lentamente reformulada com foco na resiliência, sustentabilidade de longo prazo e custo-benefício. A mudança é quase sempre instigada pela necessidade. Neste caso, o planejamento urbano está se redefinindo de uma forma em que o projeto e o meio ambiente estão se integrando para atender a objetivos comuns. Isso às vezes é definido em seu sentido mais estrito como o esverdeamento da paisagem urbana, ou seja, protegendo e expandindo o espaço aberto e restabelecendo as conexões entre os espaços verdes. Em seu sentido mais amplo, o planejamento urbano sustentável é mais abrangente e considera a totalidade do ciclo da água, sistemas energéticos, ecologia natural, estética, uso e reaproveitamento de materiais e insumos sociológicos e econômicos a serem integrados ao tecido urbano (DONOFRIO et al., 2009).

O aumento da superfície impermeável tem sido amplamente reconhecido como um dos principais impactos negativos da urbanização sobre os processos hidrológicos em bacias hidrográficas (SHUSTER et al., 2005). A substituição de paisagens naturais por prédios, estradas e outras superfícies pavimentadas diminui a área disponível para infiltração, aumenta o volume de escoamento e acelera o fluxo de águas pluviais para locais de descarga (JACOBSON, 2011; OBROPTA & MONACO, 2018). Combinados, esses efeitos amplificam as vazões máximas, mesmo para eventos frequentes de chuva, aumentando a vulnerabilidade das bacias urbanas às inundações (BURNS et al., 2012; SOHN et al., 2017).

A gestão de águas pluviais na fonte engloba as metodologias de desenvolvimento de baixo impacto (*low impact development*), melhores práticas de gestão (*best management practices*), projeto urbano sensível à água (*water sensitive urban design*) e sistemas de drenagem urbana sustentável (*sustainable urban drainage systems*). Essas ganharam popularidade em todo o mundo, a fim de mitigar os efeitos adversos do desenvolvimento urbano e níveis crescentes de impermeabilização. Além dos benefícios

hidrológicos e hidráulicos amplamente reconhecidos, esses sistemas, e especialmente dispositivos baseados em solo ou meios, oferecem perspectivas interessantes para a interceptação de fluxos difusos de contaminantes em ambientes urbanos (PAUS et al., 2014; DIERKES et al., 2015).

A infraestrutura verde é a medida técnica mais crítica relacionada às estratégias da “cidade-esponja” (WANG et al., 2020). A gestão sustentável de águas usando infraestrutura verde é considerada um modelo de gestão resiliente. O princípio por trás dessa abordagem envolve a simulação do ciclo natural da água para promover a acumulação, infiltração e purificação das águas pluviais urbanas, produzindo assim um ciclo hidrológico urbano sustentável (GOULDEN et al., 2018). A infraestrutura verde inclui biorretenções, jardins pluviais, calçadas permeáveis, telhados verdes, valas de grama e pântanos de águas pluviais, sendo frequentemente chamados de instalações de controle na fonte. A maioria dos estudos em cidades esponjosas se concentra na análise do efeito da infraestrutura verde nos projetos (LI et al., 2019; YANG & CHUI, 2018), com poucas informações sobre as respostas das cidades esponjosas à precipitação excessiva.

Os sistemas sustentáveis de drenagem urbana foram amplamente introduzidos a fim de combinar os sistemas convencionais de drenagem de esgoto subterrâneo como uma solução híbrida para resolver problemas de fluxo e qualidade da água de superfície (O'DONNELL et al., 2017). Da mesma forma, outras abordagens estão usando soluções de drenagem sustentáveis verdes para remover, armazenar, desviar e atrasar o escoamento da água de superfície, a fim de aliviar a pressão sobre a capacidade de drenagem urbana durante as tempestades, mas também permitir a geração de múltiplos benefícios (Coutinho et al., 2020). Estas abordagens se tornaram populares e comuns em todo o mundo nas últimas décadas. Essas incluem: Melhores Práticas de Gestão, iniciadas na década de 1970 (SCHUELER, 1987), Desenvolvimentos de Baixo Impacto nos EUA e Canadá, e o Projeto Urbano Sensível à Água na Austrália (WHELANS et al., 1994; MOURITZ, 1996; WONG, 2006). Na China, o conceito de cidade esponja foi proposto pelo presidente Xi Jinping em 2013. Nas cidades chinesas selecionadas pelo Programa Sponge City foram implementadas estruturas para armazenar o excesso de água da precipitação e inundações de rios, que é utilizado durante os períodos de seca prolongada (TANG et al., 2018).

A comunidade global tem como agenda principal ao longo dessas últimas décadas as relações entre as atividades antrópicas e as mudanças climáticas, ou seja, o aquecimento do planeta devido às emissões de gases de efeito estufa. O Acordo de Paris, firmado em dezembro de 2015 na 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, estabeleceu o compromisso de 197 países em controlar o aquecimento do planeta não permitindo que a temperatura média do planeta aumente em 2°C em relação às temperaturas anteriores à revolução industrial (LIMA et al., 2020). Também, em 2015, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas articulam uma estratégia internacional negociada para apoiar o bem-estar ambiental e humano. Os ODS reconhecem três pilares interligados de sustentabilidade: sociedade, economia e biosfera. Os ODS são compostos por 17 objetivos divididos em 169 metas. Entre esses estão o ODS 13: Ação contra a mudança global do clima e o ODS 15: Vida terrestre (assegurar a conservação, recuperação e o uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce e seus serviços) que estão diretamente relacionados com a gestão sustentável dos recursos hídricos.

Diante do exposto, observa-se a necessidade de uma abordagem integrada das águas urbanas, analisando-se os diversos aspectos hidrológicos e do saneamento das cidades que atuam simultaneamente e que interferem e sofrem interferências dos outros elementos. Da mesma forma, fica também evidenciada a necessidade de incorporar, de maneira orgânica, aspectos ligados à comunicação e educação ambiental, que permitam a divulgação científica, o compartilhamento de informações e a construção de conhecimentos sobre a temática em espaços de educação formal e não formal, com vistas a discutir o assunto numa perspectiva crítica e que contribua para pensar a resiliência da cidade. Compreender a forma como a temática das águas urbanas é percebida e tratada na dimensão da educação formal e das mídias, assim como buscar caminhos que permitam tratar o assunto numa perspectiva crítica e com vistas à resiliência da cidade aos cenários de incremento de eventos extremos de chuva é um caminho fundamental para melhorar capacidades adaptativas e diminuir vulnerabilidades.

3. OBJETIVOS DO CURSO

Objetivos Gerais

Fornecer aos participantes do curso de extensão tecnológica fundamentos teóricos e práticos para a aplicação de conceitos relacionados ao ciclo da água no meio urbano.

Objetivos Específicos

Desenvolver pensamento crítico no tocante as estratégias de educação hidroambiental para tratar a temática das águas urbanas em todos os níveis da sociedade, na perspectiva da dinâmica social e ecológica.

Proporcionar ao estudante uma visão integrada da gestão da água em sistemas urbanos sustentáveis, destacando a importância para o planejamento urbano das cidades, a segurança ambiental e o conforto humano.

Apresentar ao estudante modelos computacionais direcionados à otimização de sistemas de abastecimento de água e drenagem urbana.

4. RESULTADOS ALCANÇADOS

O projeto de extensão tecnológica “Métodos Computacionais Aplicados à Sustentabilidade da Água em Meio Urbano” – PET Águas Urbanas alcançou os objetivos propostos, contribuindo com a formação de recursos humanos de alto nível para o estado de Pernambuco. Os tópicos abordados no curso de treinamento estão relacionados ao uso da água em meio urbano; cooperando com o atendimento das demandas de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS 6 – Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, ODS 11 – Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, e ODS 13 –Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos). Ademais, o projeto cooperou para o fortalecimento da relação universidade-empresa, pois estudantes participantes atuaram durante três meses na empresa parceira (Habite-se Engenharia e Empreendimentos).

O curso de capacitação teve 36 estudantes inscritos de seis cursos de ensino superior (Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Engenharia Civil, Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica Eletrotécnica, Geografia e Redes de Computadores) e nove instrutores. Os instrutores foram três professores do Campus do Agreste, um professor aposentado da UFPE e cinco discentes de pós-graduação; pertencentes ao Grupo de Pesquisa “Engenharia de Recursos Hídricos, Solo e Meio Ambiente”, liderado pelo coordenador do PET. Ao final do curso de capacitação, foram aprovados 14 participantes. Em virtude de o curso ser híbrido (presencial + remoto), 22 inscritos desistiram e foram reprovados por falta. Sete estudantes do Campus do Agreste foram selecionados para atuarem na empresa Habite-se Engenharia e Empreendimentos Ltda como bolsistas BFI durante três meses. Entre as atividades realizadas pelos estudantes na empresa, destaca-se a atuação na elaboração de projetos direcionados ao aproveitamento de água de chuva do Residencial Pajeú, que será construído em Serra Talhada-PE. Após o término do PET, o estudante Pedro Gabriel Souza Barros foi incorporado à empresa como estagiário remunerado.

5. EXPERIÊNCIA DO COORDENADOR

O coordenador entende que o programa foi importante para integrar o seu grupo de pesquisa com a empresa-parceira. Ademais, o PET propiciou o estímulo a inovação de todos os participantes (instrutores e participantes), a capacitação de recursos humanos e a criação de soluções. Os estudantes foram duplamente beneficiados, pois adquiriram conhecimentos no curso de treinamento e atuaram como “estagiários” na empresa. A principal dificuldade para a realização do projeto é a burocracia, pois foi exigido o uso de três plataformas diferentes (AgilFap, Forma.AI Pet e SIGPROJ).

6. DADOS DE ACOMPANHAMENTO DO PROJETO

Número de inscritos: 36 estudantes inscritos de seis cursos de ensino superior (Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Engenharia Civil, Engenharia da Computação, Engenharia Elétrica Eletrotécnica, Geografia e Redes de Computadores).

Desistência: 22 participantes.

Percentual de frequência dos aprovados: 87,62%.

Avaliação: os estudantes não desistentes foram aprovados em função da frequência.

Link do vídeo: https://youtu.be/_Bmlei34w9c.

7. RELATO DA EMPRESA:

A parceria foi muito importante para a empresa, pois os alunos da UFPE-CAA atuaram nos projetos complementares de captação e reuso de águas pluviais e drenagem urbana. As instalações estão sendo inseridas com sucesso no mais novo empreendimento da empresa, que será lançado na cidade de Serra Talhada-PE. Todas as atividades foram divididas por setores de projeto, os alunos tiveram um excelente desempenho e se comprometeram com as demandas da empresa. A Habite-se Engenharia, devido a sua

necessidade de projetos, contratou um dos alunos que fez parte do projeto. Gostaríamos de agradecer a oportunidade e mostramos o nosso total apoio a qualquer atividade que esteja ligada a área de inovação. A supervisão do prof. Saulo Bezerra foi de grande valia para o sucesso das atividades.

8. PERSPECTIVAS E CONCLUSÃO

Conclui-se que o curso de capacitação atendeu satisfatória os objetivos propostos. Espera-se que este projeto seja indutor de novas iniciativas entre a empresa parceira e o Grupo de Pesquisa “Engenharia de Recursos Hídricos, Solo e Meio Ambiente”, liderado pelo proponente. Este grupo tem buscado formar recursos humanos de alto nível para atuarem na área de recursos hídricos e saneamento.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, I. M.; Bezerra, S. T. M.; Silva, G. L.; Duarte, A. D.; Maranduba, H. L. Analysis of the water-energy-greenhouse gas nexus in a water supply system in the Northeast of Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 57, p. 1-10, 2022.

Amorim, J. M. B. S.; Bezerra, S. T. M.; Silva, M. M.; Sousa, L. C. O. Multicriteria decision support for selection of alternatives directed to integrated urban water management. *Water Resources Management*, v. 34, p. 4253-4269, 2020.

Burns, M. J. et al. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landscape and Urban Planning*, v. 105, n. 3, p. 230-240, 2012.

Coutinho, A. P.; de Melo, T. D. A. T.; de Alcântara, L. R. P.; dos Santos Neto, S. M.; Antonino, A. C. D. Caracterização hidráulica das camadas de um pavimento permeável. *Águas Subterrâneas*, v. 34, n. 2, p. 191-203, 2020.

Dierkes, C.; Lucke, T.; Helmreich, B. General technical approvals for decentralised sustainable urban drainage systems (SUDS) – The current situation in Germany. *Sustainability*, v. 7, n. 3, p. 3031-3051, 2015.

Donofrio, J. et al. Water-sensitive urban design: An emerging model in sustainable design and comprehensive water-cycle management. *Environmental Practice*, v. 11, n. 3, p. 179-189, 2009.

EEA – European Environmental Agency. EEA Report No 2/2012, Copenhagen, 2012.

Goulden, S. et al. From conventional drainage to sustainable stormwater management: Beyond the technical challenges. *Journal of Environmental Management*, v. 219, p. 37-45, 2018.

Hammond, M. J.; Chen, A. S.; Djordjević, S.; Butler, D.; Mark, O. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 1, p. 14-29, 2015.

Hatt, B. E.; Fletcher, T. D.; Walsh, C. J.; Taylor, S. L. The influence of urban density and drainage infrastructure on the concentrations and loads of pollutants in small streams. *Environmental Management*, v. 34, n. 1, p. 112-124, 2004.

Jacobson, C. R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: A review. *Journal of environmental management*, v. 92, n. 6, p. 1438-1448, 2011.

- Kim, Y.; Eisenberg, D. A.; Bondank, E. N.; Mascaro, G.; Underwood, B. S. *Climatic Change*, v. 145, p. 397-412, 2017.
- Li, F.; Yan, X.-F.; Duan, H.-F. Sustainable design of urban stormwater drainage systems by implementing detention tank and LID measures for flooding risk control and water quality management. *Water Resources Management*, v. 33, n. 9, p. 3271-3288, 2019.
- Lima, M. A.; Mendes, L. F. R.; Mothé, G. A.; Linhares, F. G.; de Castro, M. P. P.; da Silva, M. G.; Sthel, M. S. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, v. 33, p. 100504, 2020.
- Macedo, J. E. S.; Azevedo, J. R. G.; Bezerra, S. T. M. Hybrid Particle Swarm Optimization and Tabu Search for the design of large-scale water distribution networks. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 26, p. 1-13, 2021.
- Mouritz, M. *Sustainable Urban Water Systems: Policy and Professional Praxis* (Ph.D. thesis). Murdoch University, 1996.
- Nações Unidas. *Water and Urbanization 2018*. Geneva, Switzerland: United Nations, 2018.
- Napier, F.; Jefferies, C.; Heal, K. V.; Fogg, P.; d'Arcy, B.J.; Clarke, R. Evidence of traffic related pollutant control in soil-based Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). *Water Science and Technology*, v. 60, n. 1, p. 221-230, 2009.
- O'donnell, E. C.; Lamond, J. E.; Thorne, C. R. Recognising barriers to implementation of Blue-Green Infrastructure: a Newcastle case study. *Urban Water Journal*, v. 14, n. 9, p. 964-971, 2017.
- Obropta, C. C.; Del Monaco, N. Reducing directly connected impervious areas with green stormwater infrastructure. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, v. 4, n. 1, p. 05017004, 2018.
- Paus, K. H.; Morgan, J.; Gulliver, J. S.; Leiknes, T.; Hozalski, R. M. Assessment of the hydraulic and toxic metal removal capacities of bioretention cells after 2 to 8 years of service. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 225, n. 1, p. 1-12, 2014.
- Peng, J.; Zhao, H.; Liu, Y.; Du, Y. Progress and conceptual framework of regional water security pattern construction. *Acta Ecol. Sin.*, v. 36, n. 11, p. 3137e3145, 2016.
- Romero-Lankao, P.; Gnat, D. Conceptualizing urban water security in an urbanizing world. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 21, p. 45-51, 2016.
- Salvino, L. R.; Gomes, H. P.; Bezerra, S. T. M. Design of a control system using an artificial neural network to optimize the energy efficiency of water distribution systems. *Water Resources Management*, v. 36, p. 2779-2793, 2022.
- Schueler, T. *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMP's*. Metropolitan Washington Council of Governments, Department of Environmental Programs, Washington, DC, 1987.
- Shuster, W.; Hunt, W. F.; Ashley, R.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S.; UHL, M. More – The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015.

- Silva Junior, M. A. B. D.; Silva, S. R. D.; Cabral, J. J. D. S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife-PE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 22, p. e19, 2017.
- Sohn, W.; Kim, J.-H.; Li, M.-H. Low-impact development for impervious surface connectivity mitigation: assessment of directly connected impervious areas (DCIAs). *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 60, n. 10, p. 1871-1889, 2017.
- Sousa, L. C. O.; Bezerra, S. T. M.; Amorim, J. M. B. S.; Duarte, A. D. Avaliação de alternativas direcionadas à redução do consumo de água potável em residências: estudo de caso em Caruaru, PE, Brasil. *Ambiente Construído*, v. 20, p. 465-487, 2020.
- Tang, Y.-T. et al. Aligning ancient and modern approaches to sustainable urban water management in China: Ningbo as a “Blue-Green City” in the “Sponge City” campaign. *Journal of Flood Risk Management*, v. 11, n. 4, p. e12451, 2018.
- Wang, K. et al. Coupling coordination assessment on sponge city construction and its spatial pattern in Henan province, China. *Water*, v. 12, n. 12, p. 3482, 2020.
- Wang, S.; Fu, J.; Wang, H. Unified and rapid assessment of climate resilience of urban drainage system by means of resilience profile graphs for synthetic and real (persistent) rains. *Water Research*, v. 162, p. 11-21, 2019.
- Whelans, C.; Maunsell, H. G.; Thompson, P. Planning and Management Guidelines for Water Sensitive Urban (Residential) Design. Department of Planning and Urban Development of Western Australia, Perth, Australia, 1994.
- White, W. R. Water in rivers: Flooding. In: *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water and Maritime Engineering*. Thomas Telford Ltd, 2001. p. 107-118.
- Wong, T. H. Water sensitive urban design – The journey thus far. *Australasian Journal of Water Resources*, v. 10, n. 3, p. 213-222, 2006.
- Yang, Y.; Chui, T. F. M. Hydrologic Performance Simulation of Green Infrastructures: Why Data-Driven Modelling Can Be Useful?. In: *International Conference on Urban Drainage Modelling*. Springer, Cham, p. 480-484, 2018.
- Yu, H. et al. Wafer-scale growth and transfer of highly-oriented monolayer MoS₂ continuous films. *ACS Nano*, v. 11, n. 12, p. 12001-12007, 2017.
- Zhu, D.; Chang, Y.-J. Urban water security assessment in the context of sustainability and urban water management transitions: An empirical study in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 122968, 2020.