



Uso de Soluções Baseadas na Natureza (SBN) para a redução dos impactos das chuvas na bacia do rio Maracanã - Rio de Janeiro, Brasil

Use of nature-based solutions (NBS) to reduce the impacts of rainfall in the Maracanã river basin - Rio de Janeiro, Brazil

Fabio R. Gondim^{1,2}, Fabrício P. da Cunha², Fernanda S. B. Vissirini¹, Alfredo A. O. Junior¹, Marcelo Obraczka¹, Rosa Maria F. Johnson¹

AUTHOR AFILIATIONS

1 – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

2 – Doutorado em Engenharia Ambiental (DEAMB)

ORCIDS AND CONTACT

Fabio R. Gondim

gondimfr@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5688-9142

Fabrício Pimenta Da Cunha

fabricao.pimenta.cunha@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2465-7966

Fernanda Santa Barbara Vissirini

nandavi@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3877-0206

Alfredo Akira Ohnuma Junior

akira@eng.uerj.br

ORCID: 0000-0002-0772-9334

Marcelo Obraczka

obraczka.uerj@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7322-9223

Rosa Maria Formiga Johnson

rosa.formiga@eng.uerj.br

ORCID: 0000-0003-2047-9912

ABSTRACT

Nature-Based Solutions (SBN) integrate the ecosystem services of environmental sanitation and adhere to the needs of making the city more environmentally active and sustainable. Faced with the modifications in the use of urban territory, with the disorderly occupation of the soil and the increase and intensification of hydroclimatic events, with effects on climate change, solutions planned in nature are proposed, corresponding to the relationship between man and the environment. The hydrographic basin of the Maracanã River, in the central area of the city of Rio de Janeiro, presents geomorphological characteristics compatible with floods and impacts of a hydrological nature. Despite investments in drainage infrastructure, the basin is subject to the recurrence of hydrological events, with impacts and inconvenience to the population. With the use of hydrological modeling it is possible to identify, in different scenarios, the conditions of surface runoff and water fuel, with the use of green infrastructure. The objective of the article was to propose sustainable solutions in nature, as a sustainable mechanism for improving the environmental quality of the infrastructure, in the Maracanã river basin - urban area in the city of Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Keywords: Nature-Based Solutions, Sustainable cities, Urban drainage

RESUMO

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) integram os serviços ecossistêmicos do saneamento ambiental e estão aderentes às necessidades de tornar a cidade ambientalmente mais ativa e sustentável. Diante das modificações de uso do território urbano, com a ocupação desordenada do solo e o aumento e intensificação dos eventos hidroclimáticos, com efeitos nas mudanças climáticas, são propostas soluções baseadas na natureza, de forma correspondente a relação do homem com o meio ambiente. A bacia hidrográfica do rio Maracanã, zona central da cidade do Rio de Janeiro, apresenta características geomorfológicas favoráveis às inundações e impactos de natureza hidrológica. Apesar de

investimentos com infraestruturas cinzas, a bacia está sujeita às recorrências de eventos hidrológicos, com impactos e transtornos à população. Com o uso da modelagem hidrológica é possível identificar, nos diferentes cenários, as condições do escoamento superficial e a poluição da água, com uso das soluções baseadas na natureza. O objetivo do artigo foi a proposta de soluções baseadas na natureza, como mecanismo sustentável de melhoria da qualidade ambiental da infraestrutura, na bacia hidrográfica do rio Maracanã – área urbana na cidade do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza, Cidades sustentáveis, Drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

Lorem As mudanças climáticas e a superexploração dos recursos naturais aumentaram a necessidade de integrar políticas de desenvolvimento sustentável em nível nacional e internacional para atender às demandas de uma população crescente (Colglazier, 2015). Segundo o relatório da Escritório das Nações Unidas para a Redução do Risco de Desastres (FAO, 2019), mais de 50% da população mundial vive em áreas urbanas e até 2050 esse percentual pode aumentar para 75%. Considera-se que é exatamente nas cidades que se concentram as populações mais afetadas por eventos extremos de clima.

Em um cenário de desastres mundiais, como o presenciado em 2020 durante a pandemia do novo coronavírus, ficam claros a complexidade e o dinamismo frente às ameaças e vulnerabilidades socioambientais (Marchezini et al. 2020). As capacidades de autoproteção dos

serviços ecossistêmicos encontram-se fragilizadas, na medida em que as formas de capital, sobretudo econômico e político se dissociam dos interesses sociais e humanos, como formas de mobilização em relação à criação ou redução de risco (Bourdieu, 2004).

Os principais programas que enfatizam o potencial dos ecossistemas para lidar com os desafios atuais da sociedade são o Quadro de Ação de Sendai para redução de risco de desastres (UNISDR, 2015), o Plano Estratégico para a Biodiversidade (MMA, 2010) e a Agenda 2030, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), para erradicação da pobreza extrema. Este último, enfatiza a importância da gestão sustentável dos recursos naturais e do funcionamento dos ecossistemas para manter as atividades econômicas e o bem-estar das comunidades locais.

Para cumprir esses acordos, novas iniciativas e estratégias com o objetivo de melhorar e proteger os ecossistemas e seus serviços tornaram-se o núcleo de ação a ser desenvolvida, ou seja, adaptação baseada em ecossistemas, infraestrutura verde, redução de riscos de desastres baseada em ecossistemas ou medidas de retenção natural de água (Munang et al. 2013; Schäffler & Swilling 2013; Cohen-Shacham et al. 2016; Faivre et al. 2017; Coelho et al., 2022).

Utilizado como forma complementar aos processos de saneamento ambiental convencionais, medidas de infraestrutura verde, ou infraestrutura de baixo impacto (Low impact development - LID), sistema de drenagem sustentável, drenagem urbano sensível a água ou cidades esponjas (Hua et al. 2020), têm sido projetadas com reduzidos custos de implantação e alta eficácia (Raymond et al. 2017; Guo et al. 2019). O conceito das Soluções Baseadas na Natureza (SBN) tem se tornado um componente-chave na integração da natureza no desenvolvimento de instrumentos de planejamento, políticas e ações nas cidades (adaptado, Martín, 2020).

Nesse sentido, o conceito clássico de drenagem urbana baseado no afastamento da água da localidade o mais rápido possível, é atualizado para um modelo conhecido como os 3 S's ("slow, spread and sink" ou desalecerar, espalhar e infiltrar) onde a água é retida para infiltração e

purificação, e com o aumento da cobertura vegetal nas cidades, a melhora da qualidade do ar e consequentemente, a qualidade de vida de seus habitantes (Fletcher et al. 2015; Tillie & Van Der Heijden, 2016; Kim & Miller, 2019; Xu et al. 2019).

O termo "infraestrutura verde", assim chamada em contraste da tradicional infraestrutura cinza, tem recebido atenção nos últimos anos por causa de sua eficiência no controle de inundações e melhoria da qualidade da água em cidades, por relativamente baixo custo e grande valor agregado para as cidades (Baek et al. 2015). Este termo, também é conhecido como infraestrutura de desenvolvimento de baixo impacto (LID, em inglês) na América do Norte e Nova Zelândia, sistemas de drenagem urbana sustentável no Reino Unido, design urbano sensível à água na Austrália e cidade esponja na China (Hua et al. 2020). São projetos onde buscam-se aumentar a capacidade de infiltração da água da chuva, redução de sua velocidade de escoamento, e/ou sua retenção para futuro uso ou descarte, de modo a reduzir a pressão sobre o sistema de drenagem urbano. Projetos de infraestrutura verde não devem ser vistos como independente dos projetos de drenagem tradicionais, mas sim, projetos complementares, onde somados auxiliam na melhoria da gestão das águas urbanas (Xu et al. 2019).

Atualmente, diversos países desenvolvem projetos de manejo das águas, e modelos alternativos, como o destamponamento de rios urbanos fechados. Um exemplo é o da cidade chinesa de Wuhan, localizada no encontro dos rios Yangtze e Han, com problemas de drenagem histórica, dado seu baixo nível em relação ao mar. A cidade, conhecida como cidade dos mil lagos, teve sua revitalização de áreas urbanas, com a implementação do programa de cidades esponjas, de modo a transformá-la em referência de projetos de revitalização no mundo (Chan et al. 2018; Xu et al. 2019).

Nos EUA, pioneiro na implementação desses projetos, grande incentivo é fornecido pela Agência Ambiental Americana (EPA), que desenvolveu os principais manuais e programas de referência sobre o assunto, inclusive com casos implementados desde a década de 90, com parceria do condado americano de “Prince George’s County”, no estado de Maryland (Fletcher et al. 2015).

A cidade de Rotterdam, na Holanda, criou o programa - Convivendo com Água (“living with water”), como parte da política Nacional da Água, com técnicas de infraestrutura verde, para armazenar o máximo possível de água dentro da cidade, como forma de reduzir os efeitos das enchentes. Os esforços da cidade foram a criação e manutenção de parques, jardins e outras áreas verdes, providenciando diferentes serviços ecossistêmicos. No total, a cidade possui 117

parques públicos, com 1765 hectares, com destaque ao parque “Zuiderpark”, criado em 1952 e reformado em 2002, visando a melhoria da qualidade de suas águas, com a implantação de “wetlands” para auxiliar a limpeza da água (Tillie & Heijden 2016).

Na Alemanha, a experiência com técnicas de infraestrutura verde, como telhados verdes, biovaletas e wetlands construídos remonta diversos anos, e atualmente se destaca na elaboração de política de promoção para implantação de projetos de infraestrutura verde (Nickel et al. 2014). Os projetos preveem inclusive a sua utilização no combate às mudanças climáticas, uma vez que fatores como o aumento da temperatura global, também tende a aumentar a deposição de poluentes nos corpos hídricos (Wijesiri et al. 2020).

No Brasil, existem poucos projetos realizados e implantados em bacias urbanas, com destaque ao Projeto da Bacia do Jaguaré, na cidade de São Paulo, onde buscou-se estratégias e estruturas de infraestrutura verde, para gerar uma redundância do sistema de drenagem, e melhorias no manejo do volume e da qualidade da água da chuva (Marques et al. 2018). O Projeto Iguazu adotou soluções de macrodrenagem, com medidas de aumento da permeabilidade das áreas da bacia (COPPE, 2013).

Este trabalho teve como objetivo simular o uso de Soluções Baseadas na Natureza, na bacia

urbana do rio Maracanã, na zona central da cidade do Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Apesar dos diversos investimentos com infraestruturas cinzas, a bacia sofre recorrentemente com chuvas de baixa intensidade, que causam transtornos à população, paralisação de serviços, danos e prejuízos. A proposição conceitual das intervenções na bacia do rio Maracanã obteve como resultado simulações de cenários com a inserção de estruturas em áreas de telhados, praças, avenidas, calçadas e parques, e o impacto na retenção do escoamento superficial e na redução da carga hidráulica dos rios.

MATERIAL E MÉTODOS

Lozem Área de estudo: Bacia do rio Maracanã

A área da bacia hidrográfica do rio Maracanã corresponde a uma área de urbanização intensa localizada em bairros tradicionais do município do Rio de Janeiro (Tijuca e adjacências), com predominância de área residencial, prédios institucionais, comerciais e de serviços.

A bacia tem uma área de contribuição de 31,40 km² e a altitude máxima corresponde ao Maciço da Tijuca (826 m), nascente do rio Maracanã. Incluída a sudoeste na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, representa um dos principais afluentes para o canal do Mangue e da Baía de Guanabara (Fernandes,

2006). Seu talvegue principal tem uma extensão de aproximadamente 8 km e deságue no canal do Mangue, que por sua vez deságua na Baía de Guanabara.

O processo de ocupação e impermeabilização do solo na bacia do rio Maracanã pode ser notado desde o período colonial, identificado como um subcentro, como alvo de constantes modificações em sua extensão territorial (Costa et al. 2018). Os autores descrevem a proliferação de áreas de precária qualidade de vida, principalmente devido à falta de acesso aos equipamentos e infraestrutura urbana da cidade formal, onde ocorre ainda o desenvolvimento acelerado da criminalidade, como assaltos, tráfico de drogas, entre outros, reflexo da própria disparidade socioeconômica de seus habitantes.

Quanto aos riscos climáticos, têm sido observados eventos de inundações na bacia, sobretudo pelo uso indiscriminado do solo, que apesar da instalação de grandes estruturas para armazenamento e retenção de água (reservatórios da praça Varnhagen e praça da Bandeira), durante grandes eventos hidrometeorológicos, as intervenções ainda aparentam ser insuficientes.

Modelagem hidrológica

A modelagem hidrológica é uma ferramenta de avaliação das condições do escoamento superficial e das consequências sobre a drenagem urbana, em função do uso, ocupação

e característica de permeabilidade do solo. De maneira simplificada, os modelos hidrológicos tornam possíveis avaliação de cenários e simulação de eventos hidrológicos (Decina, 2012).

O método aplicado para a transformação chuva-vazão foi o conceituado SCS Curve Number (USDA, 1986), com auxílio do software HMS. O valor do “curve number” (CN) foi calculado a partir do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 1), correlacionados ao tipo de solo (Tabela 1). A definição da classe hidrológica do solo, utilizou-se da predominância do tipo de solo da bacia do rio Maracanã, como Latossolos Vermelho Amarelos, característico do grupo hidrológico B (ANA, 2018).

Além dos parâmetros físicos da bacia como área e desnível, o CN é um parâmetro hidrológico usado para descrever o potencial de escoamento das águas pluviais para áreas de drenagem, e é uma função do uso da terra, do tipo de solo e umidade (Mahmoud, 2014), além de ser o parâmetro que mais contribui para a determinação da parcela de escoamento superficial.

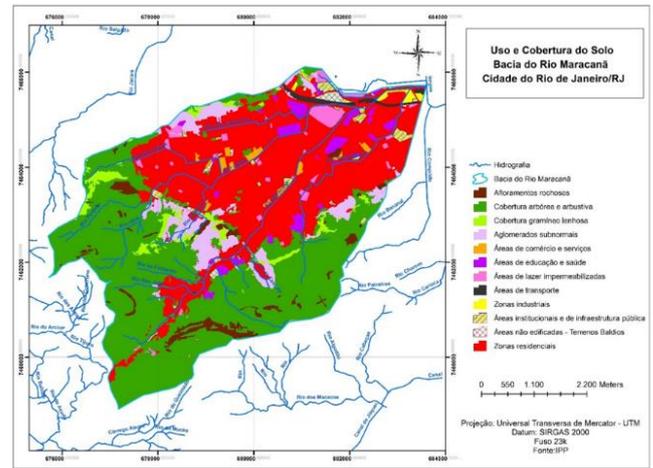


Figura 1 - Uso do e cobertura do solo Bacia do Rio Maracanã. Fonte: Os autores. Construção de cenários

A construção de cenários objetiva transformar as incertezas do ambiente em condições para a tomada de decisão, como referencial para a elaboração do planejamento estratégico. Consideraram-se as condições encontradas atualmente da ocupação da bacia e com os parâmetros definidos no Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais - PDMAP (Rio de Janeiro, 2016), da cidade do Rio de Janeiro-RJ, e demais legislações, onde se define a taxa de ocupação e a taxa de impermeabilização máxima (ou permeabilidade mínima).

A partir da condição atual, foram construídos os cenários Tendencial e Desejável, com um horizonte de 20 anos, consideradas as medidas de controle no lote e aspectos relacionados ao sistema de drenagem urbana, com critérios indicados na Tabela 2.

Tabela 1 – Valores de CN para a bacia hidrográfica do rio Maracanã.

Descrição do uso do solo	Grupo hidrológico B
Áreas não edificadas - terrenos baldios	79
Cobertura gramíneo lenhosa	66
Cobertura arbórea e arbustiva	55
Áreas prioritárias para as SBN	61
Áreas de lazer impermeabilizadas	90
Áreas de comércio e serviços	92
Áreas de educação e saúde	92
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	92
Zonas industriais	88
Zonas residenciais (% média impermeável > =70%)	85
Zonas residenciais (% média impermeável < 70%)	75
Aglomerados subnormais	90
Ruas e estradas asfaltadas (Linha férrea)	98
Afloramentos rochosos e depósitos sedimentares	98

Tabela 2 – Critérios de elaboração dos cenários tendencial e desejável.

Cenário Tendencial	Cenário Desejável
Sem interferência de melhorias, com padrões de ocupações irregulares e desmatamento de áreas de vegetação.	Influências positivas, com melhorias nos serviços, visando a otimização, sustentabilidade e universalização, com qualidade, regularidade e quantidade.
Fragilidades na implantação do Plano Diretor e do Projeto de Manejo de águas pluviais; Aumento das áreas impermeáveis e redução da infiltração da água no solo.	Aumento no potencial da capacidade de infiltração da água no solo e contenção / substituição das áreas impermeáveis; aproveitamento e retenção das águas pluviais.
Ocupada da bacia de forma desordenada.	Ocupação controlada na bacia.
Aumento da população em áreas de risco, sujeita à danos e ocorrência de desastres.	Remoção da população em áreas de risco e sujeita a sofrer danos com a ocorrência de desastres.
Desabilitação de áreas ribeirinhas e ocupação nas áreas de fundo de vale	Reabilitação das áreas ribeirinhas e fortalecimento dos programas ambientais de requalificação fluvial.
Redução das áreas preservadas e das zonas de amortecimento de chuva.	Ampliação das áreas preservadas e das zonas de amortecimento de chuva.
Aumento dos lançamentos de esgoto e de resíduos sólidos e	Extinção dos lançamentos de esgoto e de resíduos sólidos e

com isso a deterioração da água, do solo e das estruturas. melhoria na qualidade da água, do solo e das estruturas.

Identificação e seleção das Soluções Baseadas na Natureza (SBN)

O cenário desejável foi beneficiado com as estruturas que priorizam a reservação e infiltração da água no solo, de modo a contribuir para a redução do escoamento superficial. Para a seleção das SBN foi utilizada a base de dados da plataforma data.rio (2021) correspondente às áreas com maior potencial de captação de água de chuva. Destas áreas, foram priorizadas as áreas de captação em mercados, hospitais, escolas, universidades e estruturas de órgãos públicos.

Para a delimitação dos parques lineares foram selecionadas ruas onde fosse possível a transformação de uma das faixas de rodagem em faixa dividida em 1 (um) metro de jardim de chuva, e 2 (dois) metros de faixa para ciclovia. Foram priorizados trechos de parques lineares com trajetos em praças existentes no bairro, para a criação de um cinturão verde, beneficiado pela infiltração da água no solo, e bem-estar da população, integrando-os ao ecossistema existente. Estas soluções podem ser observadas na Figura 2.

acarreta a antecipação das vazões de cheia (Coelho et al. 2022).

Na elaboração dos cenários obteve-se a vazão de projeto de cada cenário, com respectivas apresentações dos aspectos positivos e negativos, em relação às medidas adotadas. Os valores de CN adotados para cada tipo de cobertura do solo em cada cenário estão apresentados na Tabela 3.

Para a componente meteorológica foi inserida a chuva do mês de abril de 2019, com precipitação acumulada mensal de 413,6 mm, da estação do Alto da Boa Vista, do Sistema Alerta Rio, da Prefeitura do Rio de Janeiro. O evento considerado do mês foi o terceiro maior registro de precipitação diária acumulada de 341,2 mm em 24 horas, desde o início da série histórica em 1997.

Situação atual

O uso e ocupação do solo nos dias atuais foi realizado a partir de ferramenta de geoprocessamento, a partir de base de dados do Instituto Pereira Passos (IPP, 2018) que restituiu os dados de imagens de satélite GeoEye, com resolução espacial de 2,5 m, e ferramentas de classificação supervisionada em ambiente SIG.

O PDMAP (Rio de Janeiro, 2016) apresenta as principais medidas adotadas na bacia para reduzir os impactos das inundações, como o reservatório da Praça da Bandeira. A taxa de ocupação descrita em legislação (Rio de Janeiro,

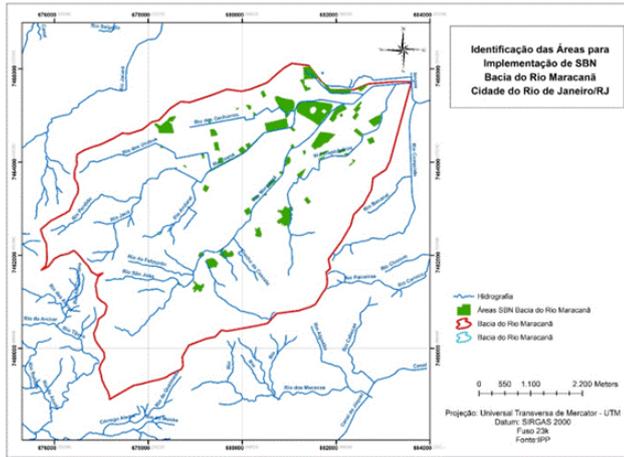


Figura 2 – Identificação das áreas com adoção de SBN para a bacia do Rio Maracanã. Fonte: Os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Phasellus A substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis provoca drástica diminuição da infiltração da água no solo e, conseqüentemente, aumento do escoamento superficial direto, fator de grande influência no incremento das vazões de pico e conseqüentes inundações no meio urbano.

Em casos de intensidades pluviométricas extremas, o pico de cheia numa bacia urbanizada tende a ser maior do que o pico em condições naturais. Como agravante, a supressão da vegetação provoca a diminuição das retenções dos volumes superficiais. Ou seja, há mais disponibilidade de água de escoamento superficial. Portanto, além do aumento da vazão nos cursos d'água, a impermeabilização resultante da urbanização, tende a provocar uma redução do tempo de concentração da bacia, o que

2018) para a área da grande Tijuca indica que 70% do loteamento pode ser impermeabilizado. Quando associado a falta de fiscalização e conscientização da população, essas áreas são constantemente impermeabilizadas, contribuindo para o aumento da formação do escoamento superficial e potencializando os eventos de inundação na bacia.

Tabela 3 – Parâmetros de uso e ocupação do solo dos cenários da bacia urbana do rio Maracanã, Rio de Janeiro-RJ.

Descrição do uso do solo	Cenário Atual			Cenário Tendencial			Cenário Desejável		
	ÁREA m ²	%	CN	ÁREA m ²	%	CN	ÁREA m ²	%	CN
Áreas não edificadas	226 529,00	0,72	79	339 793,50	1,08	79	-	0,00	79
Cobertura gramíneo lenhosa	784 947,04	2,50	66	863 441,75	2,75	66	-	0,00	66
Cobertura arbórea e arbustiva	13 494 606,91	42,9 8	55	10 120 047,01	32,2 3	55	15 707 509,35	50,0 2	55
Áreas prioritárias para as SBN	-	0,00	61	0,00	0,00	61	2 185 092,42	6,96	61
Áreas de lazer impermeabilizadas	641 402,36	2,04	90	705 542,59	2,25	90	-	0,00	90
Áreas de comércio e serviços	267 651,31	0,85	92	267 651,31	0,85	92	262 595,83	0,84	92
Áreas de educação e saúde	741 617,94	2,36	92	741 617,94	2,36	92	518 097,28	1,65	92
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	379 057,70	1,21	92	379 057,70	1,21	92	262 125,36	0,83	92
Zonas industriais	118 702,26	0,38	88	118 702,26	0,38	88	118 702,26	0,38	88
Zonas residenciais (% média impermeável > =70%)	11 758 773,55	37,4 5	85	14 502 095,42	46,1 8	85	7 021 844,93	22,3 6	85
Zonas residenciais (% média impermeável < 70%)	3294,32	0,01	75	-	0,00	75	2 340 614,98	7,45	75
Aglomerados subnormais	1 893 164,63	6,03	90	2 271 797,56	7,23	90	1 893 164,62	6,03	90
Ruas e estradas asfaltadas (Linha férrea)	234 842,76	0,75	98	234 842,76	0,75	98	34 842,76	0,75	98
Afloramentos rochosos e depósitos sedimentares	855 800,51	2,73	98	855 800,51	2,73	98	855 800,51	2,73	98
Total	31 400 390,30	100, 0	73*	31 400 390,30	100, 0	76*	31 400 390,30	100, 0	69*

O evento de chuva no dia 8 de abril de 2019, com duração aproximada de 24 horas resultou em um pico de vazão superior a 126 m³/s. Tal evento ocorreu posterior à implantação das

medidas estruturais, com evidências de riscos de inundação na região.

Cenário tendencial x Cenário desejável

A caracterização do cenário tendencial considerou um aumento baixo em relação a área urbana, inferior a 5%, por se tratar de uma área consolidada e sem perspectiva de intensificação. A área urbanizada teve redução na cobertura do solo e maior adensamento e impermeabilização na ocupação da bacia. Ocorreram aumento de áreas abertas abandonadas e 10% de supressão vegetal da bacia, reduzindo a área contribuinte para retenção e infiltração de água no solo. O cenário tendencioso apresenta característica descontrolada na ocupação, com serviços precários de manutenção e fiscalização e descumprimento da legislação, quanto às taxas de ocupação e impermeabilização dos lotes, e a desconsideração no fortalecimento das relações interdisciplinares e institucionais.

A degradação dos rios ocorre também em decorrência de ligações clandestinas em sua rede de drenagem, devido à ausência de uma rede de esgotamento sanitário, além do lançamento de resíduos sólidos em córregos e terrenos baldios. Como consequência, são maiores os prejuízos quanto à poluição difusa e no descontrole dos volumes de escoamento superficial e na qualidade das águas pluviais e do solo. Esta condição combinada à inexistência de manutenção

preventiva, contribui para a deterioração e redução da vida útil das estruturas dos dispositivos de drenagem.

Por fim, assumida as ações que hoje são desenvolvidas na bacia, sem adoção de novo olhar para intervenções sustentáveis, a não aplicação da legislação, a falta de fiscalização das condições de uso e ocupação do solo, a tendência é que as deficiências verificadas em todo o sistema de drenagem da bacia tornam-se latentes, gerando maiores impactos à população.

No Cenário Desejável, a proposta foi identificar as áreas potenciais para inclusão das SBN e melhorar as condições da infiltração e armazenamento das águas pluviais no lote. A criação do parque linear nas principais avenidas da bacia evidencia a relação da população com o rio e melhora a preservação dos rios quanto a redução dos impactos de inundações, qualidade da água e oferta dos serviços ecossistêmicos. Estimou-se cerca de 7% da área total da bacia com SBN, e aumento da área de preservação de 50% da bacia, com a redução da impermeabilização das áreas de lazer e espaços públicos.

Com as medidas propostas espera-se aumentar o tempo de concentração da bacia, de modo a retardar o tempo do escoamento superficial, e reduzir a magnitude das vazões máximas. Nesse sentido, são minimizados o

número de pessoas afetadas, danos e prejuízos causados.

O evento de chuva de 8 de abril de 2019 foi simulado para as condições atuais da bacia, também considerado para o cenário tendencial e desejável (Figura 3).

Entre a cenário atual e o cenário tendencial há um aumento de 8% na vazão de pico, de 126 m³/s para 137 m³/s, e uma redução de 11% entre a situação atual e o cenário desejável (vazão de 113 m³/s). Quando comparada a vazão de pico do cenário tendencial, com o cenário desejável, a diferença ultrapassa 20%.

Os resultados obtidos demonstram a urgência em modificar o formato de urbanização e ampliar as medidas de retenção e infiltração da água no solo. As SBN, dentro outros benefícios para a população local, podem auxiliar na melhora no microclima (Rahman et al. 2020), com efeitos no bem estar da população geral (Gaudereto et al. 2018), a partir de uma visão sistêmica de preservação do meio ambiente, frente aos riscos climáticos e ocupação desordenada do solo na bacia.

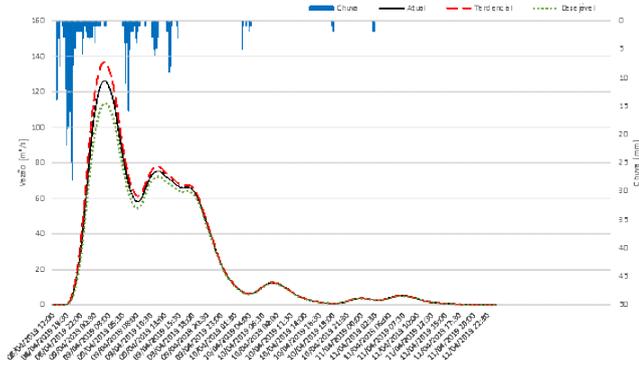


Figura 3. Simulação hidrológica do evento de 8 de abril de 2019, para os cenários tendencial e desejável.

As articulações interinstitucionais são condição essencial para a redução do risco de desastres, e sem uma política de urbanização de assentamentos precários, saneamento ambiental universalizado e sustentável implantação de infraestruturas verdes e azuis, o papel dos entes responsáveis pelo planejamento e fiscalização, tornam-se ineficientes os serviços de prevenção (Perez, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impermeabilização do solo e a diminuição de fragmentos de vegetação elevaram a vazão máxima na bacia. No cenário ideal ou desejável, com planejamento adequado, a partir do controle da impermeabilização, na redução dos espaços abertos e na utilização desses espaços para aumento das áreas vegetadas, obteve-se uma redução de 20% da vazão de pico.

Quanto mais descontrolada a ocupação urbana, maiores são as ocorrências de inundações e alagamentos, com aumento nos prejuízos físicos, econômicos e ambientais. Em atualização, o plano diretor da cidade e o plano de mudanças climáticas, em processo de finalização necessitam incluir mecanismos sustentáveis e de melhorias das relações institucionais da gestão das águas, gestão de risco de desastres e as mudanças climáticas.

Desse modo, espera-se que não se pode impedir a ocorrência desses fenômenos, mas pode-se pensar em um planejamento urbano que permita melhor relação social e ambiental com as propostas de infraestruturas verdes.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. 2018. Nota Técnica nº 46/2018/SPR Documento no 00000.040424/2018-44.
- BAEK SS, CHOI DH, JUNG JW, LEE HJ, LEE H, YOON K S, KYUNG HC. 2015. Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: Experimental and modeling approach. *Water Research* 86:122–131.

- BOURDIEU P. 2004. O Poder Simbólico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- CHAN FKS, GRIFFITHS JA, HIGGITT D, XU S, ZHU F, TANG YT, XU Y, THORNE CR. 2018. “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy* 76: 772–778.
- COELHO L, OHNUMA JR. A, FONSECA P. 2022. Taxas de drenagem a partir de cenários com técnica compensatória de telhado verde com uso do modelo SWMM. *Revista de Gestão de Água da América Latina – REGA*: 19 24, 1-15.
- COHEN-SHACHAM G, WALTERS CJ, MAGINNIS S. 2016. Nature-Based Solutions to Address Global Societal Challenges, 97p. Switzerland.
- COLGLAZIER W. 2015. Sustainable development agenda: 2030. *Science* 349: 1048 - 1050.
- COPPE. 2013. Plano diretor de recursos hídricos, controle de inundações e recuperação ambiental da bacia dos rios Iguaçu / Sarapuí. Rio de Janeiro, COPPE: 354 p.
- COSTA AJST, CONCEIÇÃO RS, AMANTE FO. 2018. The floods and urban growth of Rio de Janeiro city: studies toward an cartography of urban floods. *GeoUERJ*, n. 32.
- DECINA TGT. 2012. Análise de medidas de controle de inundações a partir da avaliação de cenários de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Gregório, São Carlos – SP. 177 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- FAIVRE N, FRITZ M, FREITAS T, BOISSEZON B, VANDEWOESTIJNE S. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environ Res* 159: 509–518.
- FAO. 2019. FAO framework for the Urban Food Agenda. Rome. 44 pp.
- FERNANDES MC, AVELAR AS, COELHO NETO AL. 2006. Geo-Hidroecological Domains in the Tijuca Massif, RJ: Support to the Hydrologic and Erosive Process Knowledge.

Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ 29 2: 120-146.

FLETCHER TD, SHUSTER W, HUNT WF, ASHLEY R, BUTLER D, ARTHUR S, TROWSDALE S. 2015. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water J* 12 7: 525–542.

GAUDERETO GL, GALLARDO ALCF, FERREIRA ML, NASCIMENTO PB E MANTOVANI W .2018. Avaliação de serviços ecossistêmicos na gestão de áreas verdes urbanas: Promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. *Ambiente & Sociedade* 21. São Paulo.

GUO X, GUO Q, ZHOU Z, DU P, ZHAO D. 2019. Degrees of hydrologic restoration by low impact development practices under different runoff volume capture goals. *Journal of Hydrology* 578 August: 124069.

HUA P, YANG W, QI X, JIANG S, XIE J, GU X, LI H, ZHANG J, KREBS P. 2020. Evaluating the effect of urban flooding reduction strategies in

response to design rainfall and low impact development. *J of Cleaner Prod* 242: 118515.

IPP/RJ. Base de Dados. <https://www.data.rio/>, acesso em maio. 2018.

KIM G, MILLER PA. 2019. The impact of green infrastructure on human health and well-being: The example of the Huckleberry Trail and the Heritage Community Park and Natural Area in Blacksburg, Virginia. *Sust Cities and Society* 48 March: 101562.

MAHMOUD, S. 2014. Investigation of rainfall–runoff modeling for Egypt by using remote sensing and GIS integration. *Catena* 120: 111-12.

MARCHEZINI et al. 2020. Sistema de alerta de risco de desastres no Brasil: desafios à redução da vulnerabilidade institucional. Livro *Redução de Vulnerabilidade a Desastres: do conhecimento à ação*. P.287-310.

MARQUES THN, RIZZI D, PELLEGRINO PRM & MOURA NCB. 2018. Projeto Jaguaré: metodologia para requalificação de bacias hidrográficas urbanas. *Revista LABVERDE* 9(1): 12-27.

- MARTÍN E G, GIORDANO R, PAGANO A, KEURC P, COSTA MM. 2020. Using a system thinking approach to assess the contribution of nature based solutions to sustainable development goals. *Sci of the Tot Environ* 738.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Diretoria do Programa Nacional de Conservação da Biodiversidade – DCBio. 2010. Quarto Relatório Nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 248 p.
- MUNANG R, THIAW I, ALVERSON K, MUMBA M, LIU J, RIVINGTON M. 2013. Climate change and ecosystem-based adaptation: a new pragmatic approach to buffering climate change impacts. *Curr. Opin. Environ. Sustain* 5: 67-71.
- NICKEL D, SCHOENFELDER W, MEDEARIS D, DOLOWITZ DP, KEELEY M, SHUSTER W. 2014. German experience in managing stormwater with green infrastructure. *Journal of Environ Plan and Manag* 57 (3): 403–423.
- PEREZA LP, RODRIGUES-FILHO S, MARENGO JA, SANTOS DV, MIKOS L. 2020. Mudanças climáticas e desastres: análise das desigualdades regionais no Brasil. *Sustain in Debate - Brasília* 11 (3): 278-296.
- RAHMAN M, STRATOPOULOS LMF, MOSER-REISCHL A, ZÖLCH T, HÄBERLE KH, RÖTZER T, PRETZSCH H, PAULEIT S. 2020. Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. *Build and Environ* 170: 106606.
- RAYMOND CM, FRANTZESKAKI N, KABISCH N, BERRY P, BREIL M, NITA MR, GENELETTI D, CALFAPIETRA C. 2017. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environ Sci Pol* 77: 15-24.
- SCHÄFFLER A, SWILLING M. 2013. Valuing green infrastructure in an urban environment under pressure — the Johannesburg case. *Ecol. Econ.* 86: 246-257.
- TILLIE N & VAN DER HEIJDEN R. 2016. Advancing urban ecosystem governance in

Rotterdam: From experimenting and evidence gathering to new ways for integrated planning. *Environ Sci Pol* 62: 139–145.

WIJESIRI B, BANDALA E, LIU A, GOONETILLEKE A. 2020. A Framework for Stormwater Quality Modelling under the Effects of Climate Change to Enhance Reuse. *Sustain* 12: 10463.

UNISDR. 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Switzerland: 37.

USDA. 1986. Soil Conservation Service National Engineering. Handbook, USA.

XU C, TANG T, JIA H, XU M, XU T, LIU Z, LONG Y, ZHANG R. 2019. Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. *Resources, Conservation and Recycling* 151 April: 1–10.