

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA SISTEMAS HÍDRICOS DE CIDADES: CONCEITUAÇÃO E MODELAGEM A NÍVEL DE PLANEJAMENTO

Iporã Brito Possanti¹ & Guilherme Marques²

RESUMO – Dada a crise hídrica em escalada global, as bacias hidrográficas que abastecem os mananciais das cidades são cada vez mais vistas como sistemas de produção de água. Nesses sistemas, a disponibilidade e a qualidade de água podem ser melhoradas com o desenvolvimento de soluções baseadas na natureza (SBN). Tais soluções inspiram-se ou usam processos naturais que contribuem na melhoria da gestão da água, na produção de alimentos e na conservação da biodiversidade, integrando os conceitos de engenharia ecológica, de infraestrutura verde, de manejo conservacionista do solo e de gestão baseada em serviços ambientais. As SBN compõe uma linha de ação alternativa às soluções convencionais de alto uso energético, tais como a transposição de bacias, a perfuração de poços, etc. Assim, propomos que SBN devam formar uma rota de adaptação no planejamento de longo prazo da expansão da infraestrutura hídrica de cidades. Como parte de um arcabouço de planejamento, propomos que modelos que simulem (1) o custo de implantação (2) a resposta hidrológica e (3) a redução no custo da escassez poderiam ser acoplados em um modelo de otimização de custo-benefício para indicar a melhor rota de expansão de SBN em termos de custo-benefício.

ABSTRACT– Given the worldwide escalating water crisis, upstream watersheds of cities are increasingly seen as water producing systems. In these systems, the developing of nature-based solutions can improve water availability and water quality. Those solutions are inspired or use natural processes that add to the improvement of water management, food production and biodiversity conservation, integrating the concepts of ecological engineering, green infrastructure, soil conservation practices and environmental services management approaches. NBS constitute of an alternative course of action to energy-intensive conventional solutions, such as water transfers, groundwater exploitation, etc. Therefore, we propose that NBS should form an adaptation pathway within the water infrastructure expansion long term planning of cities. As a part of a planning framework, we propose that simulation models of (1) cost of expansion, (2) hydrologic response and (3) reduction of water scarcity cost could be coupled to a cost-benefit optimization model to indicate the best NBS expansion path.

Palavras-Chave – Soluções baseadas na natureza, planejamento da infraestrutura hídrica, cidades

¹) Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, 91501-970. Fone 3308-6662. E-mail: possanti@gmail.com

²)Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, 91501-970. Fone 3308-9570. E-mail: guilherme.marques@ufrgs.br

CIDADES EM BUSCA DE ÁGUA

Em decorrência de pressões demográficas e econômicas observa-se o processo de urbanização da população mundial. De acordo com UN/DESA (2018), se prevê um aumento da proporção de 55% atual para 68% do mundo vivendo em cidades em 2050. Isso implica em uma crescente competição por água para abastecimento urbano entre as cidades e outros setores usuários de água presentes nas mesmas bacias hidrográficas, como o setor da produção de alimentos. Por exemplo, os resultados de Flörke *et al.* (2018) sugerem que até 2050 o setor usuário da produção de alimentos poderá entrar em conflito com o abastecimento urbano nos sistemas hídricos de 41% das 482 maiores cidades do mundo.

Nesse contexto, a perspectiva que coloca a bacia hidrográfica como um sistema produtor de água (Figura 1) ganha cada vez mais espaço. Da mesma forma, a relação das cidades com as áreas à montante dos pontos de captação de água começa a ficar cada vez mais estreita e suas vulnerabilidades mais evidentes, tais como as pressões climáticas e territoriais.

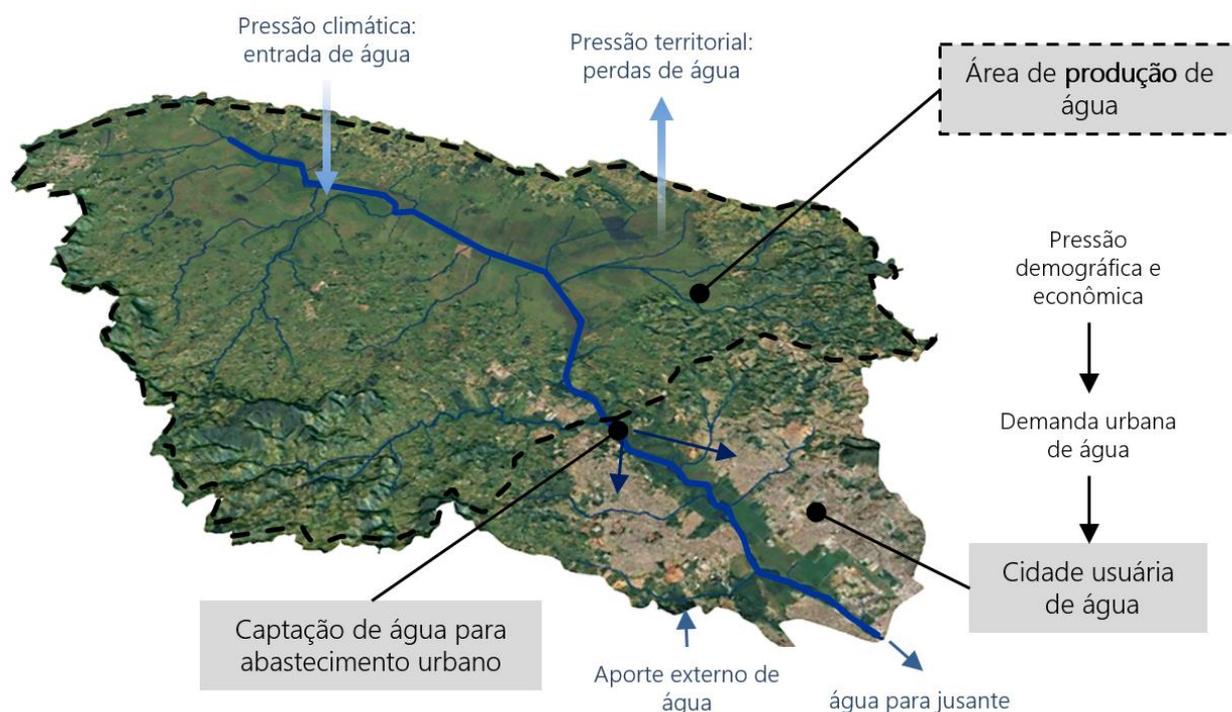


Figura 1 – Esquematização da bacia hidrográfica vista como um sistema hídrico produtor de água.

Posto isso, nosso objetivo aqui consiste em apresentar o conceito emergente de soluções baseadas na natureza (SBN) para a gestão da água. Na ótica da crise hídrica de cidades, alega-se que tais soluções formam uma linha de ação alternativa que oferece potencialidades de melhorias dos sistemas hídricos. Por fim, propomos um arcabouço metodológico para a modelagem de SBN no planejamento dos sistemas hídricos de cidades.

SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN) PARA A GESTÃO DA ÁGUA

Definição, histórico e princípios de SBN

Soluções baseadas na natureza (SBN) inspiram-se ou fazem uso de processos naturais que contribuem na melhoria da gestão da água, da produção de alimentos e conservação da biodiversidade (WWAP/UN-WATER, 2018; SONNEVELD *et al.*, 2018). As SBN podem envolver tanto medidas não estruturais, como a conservação de ecossistemas naturais, quanto ações estruturais na forma de criação ou melhoria de processos naturais em ambientes construídos, como cultivos ou cidades. Tais soluções contrastam com soluções convencionais, que em geral são estruturais, centralizadas e de uso intensivo de energia e materiais, tais como a construção de grandes reservatórios e a transposição de água entre bacias.

O termo “soluções baseadas na natureza” ganhou destaque a partir de IUCN (2012), com sua definição delimitada por critérios de sustentabilidade ambiental, social e econômica. Contudo, conforme apresentam Nesshöver *et al.* (2017), a ideia subjacente das SBN surge como um conceito amplo que integra os já estabelecidos conceitos de engenharia ecológica, de infraestrutura verde, de manejo conservacionista do solo e de abordagens de gestão ambiental, como a gestão baseada em serviços ambientais e capital natural (Figura 2).



Figura 2 – Esquema da formação conceitual do termo “solução baseadas na natureza”.

Em razão disso, alega-se que as SBN são capazes de atender simultaneamente objetivos da gestão da água, da produção de alimentos e da conservação da biodiversidade, gerando assim benefícios que atravessam esses setores (WWAP/UN-WATER, 2018).

As SBN na gestão da água atuam pelo lado da oferta de água. Elas tanto exploram a capacidade de estoque de água quanto melhoram os fluxos entre os compartimentos naturais dos sistemas hídricos, tais como o solo, o subsolo e as áreas úmidas. Em outras palavras, as SBN operam de forma

extensiva e difusa sobre a pressão de mudança de uso e cobertura do solo, buscando direcioná-la de forma a resultar em impactos positivos sobre os sistemas hídricos. Ainda que na prática as SBN sejam multifuncionais, elas podem ser separadas por seu uso na gestão da disponibilidade de água, na gestão da qualidade da água e, como resultado, na gestão de riscos associados à água.

SBN para a gestão da disponibilidade de água

Em se tratando de gestão da disponibilidade de água para a produção de alimentos, são consideradas SBN aquelas que maximizam o uso da água verde, ou seja, a água diretamente absorvida pelas plantas (WWAP/UN-WATER, 2018). Tais soluções seriam (1) as práticas de manejo que melhoram a capacidade de infiltração dos solos, como o plantio direto; (2) o cultivo de plantas adaptadas ao regime local de precipitação; e (3) técnicas estruturais – construção de terraços, valas de infiltração e coleta de água em pequenos açudes (WOCAT, 2007).

No caso da gestão da disponibilidade de água para o abastecimento de cidades, as SBN buscam maximizar a quantidade de água acessível nos mananciais de abastecimento (água azul), sejam eles superficiais ou subterrâneos. Isso implica no uso de SBN nas bacias hidrográficas à montante dos pontos de captação de água com o objetivo de regularizar a vazão de um rio ou, no caso do uso de água subterrânea, maximizar a recarga do aquífero. Ações consideradas as principais SBN nesse sentido seriam: (1) a revitalização ou construção de áreas úmidas; (2) a reconexão entre rios e planícies de inundação; e (3) a ampliação da infiltração no solo tanto por técnicas estruturais quanto por práticas de manejo do solo (WWAP/UN-WATER, 2018).

SBN para a gestão da qualidade de água

Em relação à gestão da qualidade da água, as SBN podem se distribuir entre ações de preservação dos serviços ambientais de provisão de água e ações de mitigação de impactos decorrentes da produção de alimentos e da urbanização (WWAP/UN-WATER, 2018). Ações de preservação de serviços ambientais visam a provisão de água de boa qualidade pela manutenção ou recuperação de processos de atenuação natural pré-existentes na bacia, principalmente relacionados à produção de sedimentos. Nesse sentido, envolvem o zoneamento e a revitalização de ecossistemas em encostas íngremes, áreas de recarga, áreas de afloramento, margens de rios e planícies de inundação. No Brasil, a definição das Áreas de Preservação Permanente (APP) e da Reserva Legal pelo Novo Código Florestal (Lei Federal 12.651 de 2012) impõe o limiar mínimo legal de preservação na escala das propriedades rurais.

Ações de mitigação, em contrapartida, buscam atenuar cargas de poluição difusa principalmente pelo controle do escoamento superficial, imobilização de sedimentos e assimilação de nutrientes. A poluição difusa gerada por cultivos e pastagens pode ser mitigada (1) por práticas de

manejo do solo que maximizam a infiltração; (2) por estruturas de controle do escoamento superficial, como terraços e faixas vegetadas; (3) pela preservação ou revitalização da vegetação ripária; e (4) por bacias ou áreas úmidas construídas projetadas para reter o escoamento da drenagem de campos e estradas rurais. No ambiente urbano, por sua vez, as SBN são representadas pelo uso de uma gama de tipos de infraestrutura verde que reduzem e controlam o escoamento superficial urbano, tais como pavimentos permeáveis, jardins de chuva, áreas úmidas construídas e bacias de retenção.

As SBN também apresentam potencial de atuar na mitigação de cargas poluentes pontuais geradas tanto pela produção de alimentos (por exemplo, na pecuária intensiva) quanto nas cidades e indústrias. Áreas úmidas construídas e lagoas de estabilização são técnicas de engenharia ecológica de maior destaque nesse sentido.

Perspectivas, desafios e lacunas no desenvolvimento de SBN

O uso das técnicas oferecidas pelas SBN não é novo. Na verdade, ocorre na prática há pelo menos duas décadas no manejo conservativo do solo, na engenharia ecológica de áreas úmidas construídas e na gestão da drenagem urbana (SHARPLEY *et al.*, 2006; KADLEC e WALLACE, 2009; SCHUELER, 1987). O que está mudando, assim, é o paradigma vigente, que busca uma resposta integrada, extensiva e viável para políticas regionais ou mesmo internacionais, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 (KEESSTRA *et al.*, 2018; BOELEE *et al.*, 2017; LIQUETE *et al.*, 2016).

Dada a escalada da crise hídrica global, espera-se uma aceleração do uso de SBN, principalmente pelo advento de esquemas de pagamento ou incentivos por serviços ambientais (PSA) (SONNEVELD *et al.*, 2018). No contexto da crise hídrica em cidades, essa perspectiva é cada vez mais evidente, sendo os usuários urbanos (em especial as companhias de saneamento) os promotores desse movimento, viabilizando programas de PSA nas áreas de produção de água e outras SBN associadas ao tratamento da poluição urbana (difusa e pontual) e aos riscos hidrológicos associados ao ordenamento da urbanização (Figura 3).

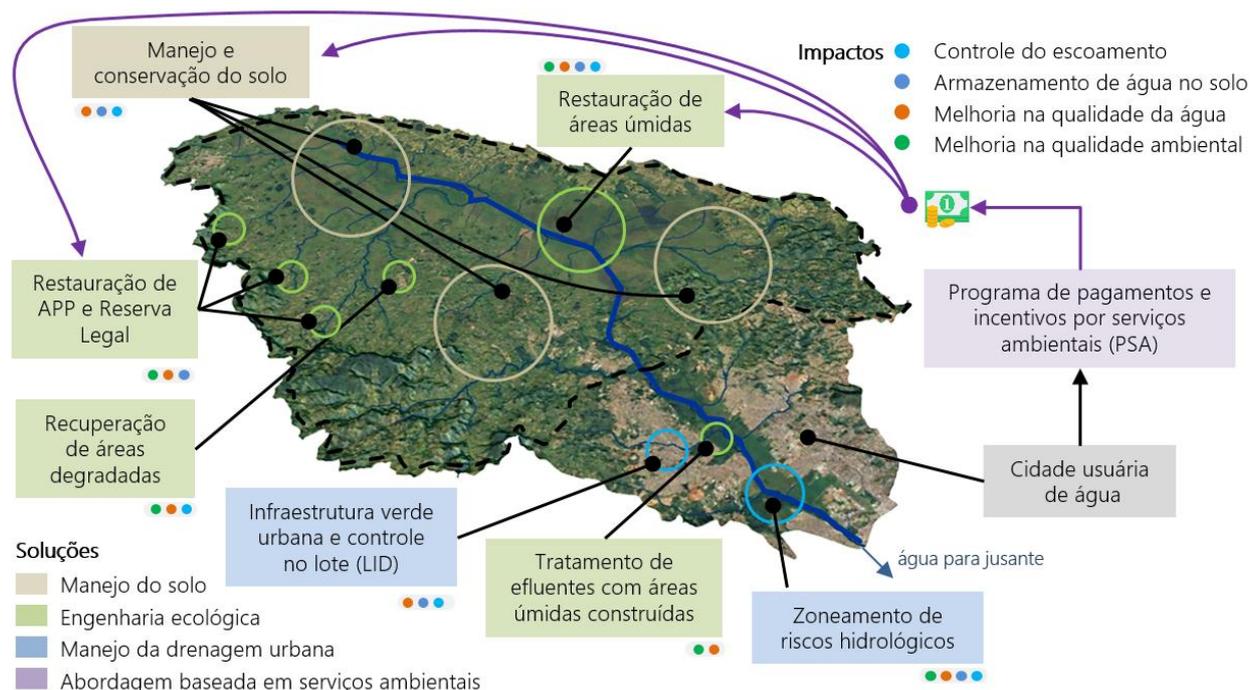


Figura 3 – Representação esquemática de soluções baseadas na natureza aplicadas no contexto da demanda por água de cidades e seus impactos sobre objetivos de gestão dos recursos hídricos.

Os desafios da implementação de SBN são, por um lado, a resistência à mudança de paradigma no ambiente político e insitucional a nível local e regional e, por outro, a existência de pressupostos exagerados de sua capacidade, induzindo ao descrédito por parte de gestores. De acordo com WWAP/UN-Water (2018), SBN podem ou mesmo devem ser combinadas com soluções convencionais para se obter melhores resultados na gestão da água. Salientam, contudo, que ainda existem lacunas nas técnicas e abordagens para determinar a melhor combinação entre SBN e soluções convencionais.

MODELAGEM DE SBN NO PLANEJAMENTO DE SISTEMAS HÍDRICOS

Compreendemos que o desenvolvimento de SBN e seu desempenho na melhoria de sistemas hídricos de cidades possam ser modelados em nível de planejamento. Dessa forma, gestores (bem como as instâncias de controle social) poderão equipar suas decisões com informações acerca dos impactos positivos esperados de SBN sobre um ou mais objetivos de planejamento dos recursos hídricos, tais como aumento da disponibilidade hídrica e melhoria na qualidade de água.

A modelagem em nível de planejamento também permite a compreensão quantitativa das limitações das SBN, ajudando a tanto conter interpretações exageradas de sua capacidade quanto a diversificar investimentos em opções convencionais, porém mais robustas. Além disso, quando projetada para avaliar mais de uma variável de decisão, a modelagem permite a identificação de

perdas e ganhos (*trade-offs*) entre tais variáveis. É o caso, entre outros, do reflorestamento de grandes áreas: se por um lado espera-se um maior controle do escoamento superficial e uma grande melhoria na qualidade da água, por outro se espera a redução do volume anual de água disponível devido à maiores perdas de água por evapo-transpiração (FILOSO *et al.*, 2017).

Simulação de SBN em nível de planejamento

Soluções baseadas na natureza apresentam um aspecto espacialmente difuso, têm uma interface com os processos hidrológicos e relacionam-se por serviços ambientais com os usuários de água. Em razão disso, entendemos que um modelo em nível de planejamento a fim de ser completo precisa incorporar três modelos de simulação: (1) um modelo espacial, que quantifica a área disponível e sua aptidão para receber SBN, (2) um modelo de resposta hidrológica, que permite comparar cenários de diferentes ações e de mudanças climáticas e (3) um modelo hidroeconômico, que calcula o benefício econômico da disponibilidade de água e que também permite a comparação de diferentes cenários de demanda por água. A conexão entre os três modelos é proposta na Figura 4. A partir do momento que a forma de viabilização econômica das SBN for definida (por PSA, por exemplo), esse arcabouço de modelos de simulação permite a estimativa da relação entre custos e benefícios para um cenário qualquer pré-definido.

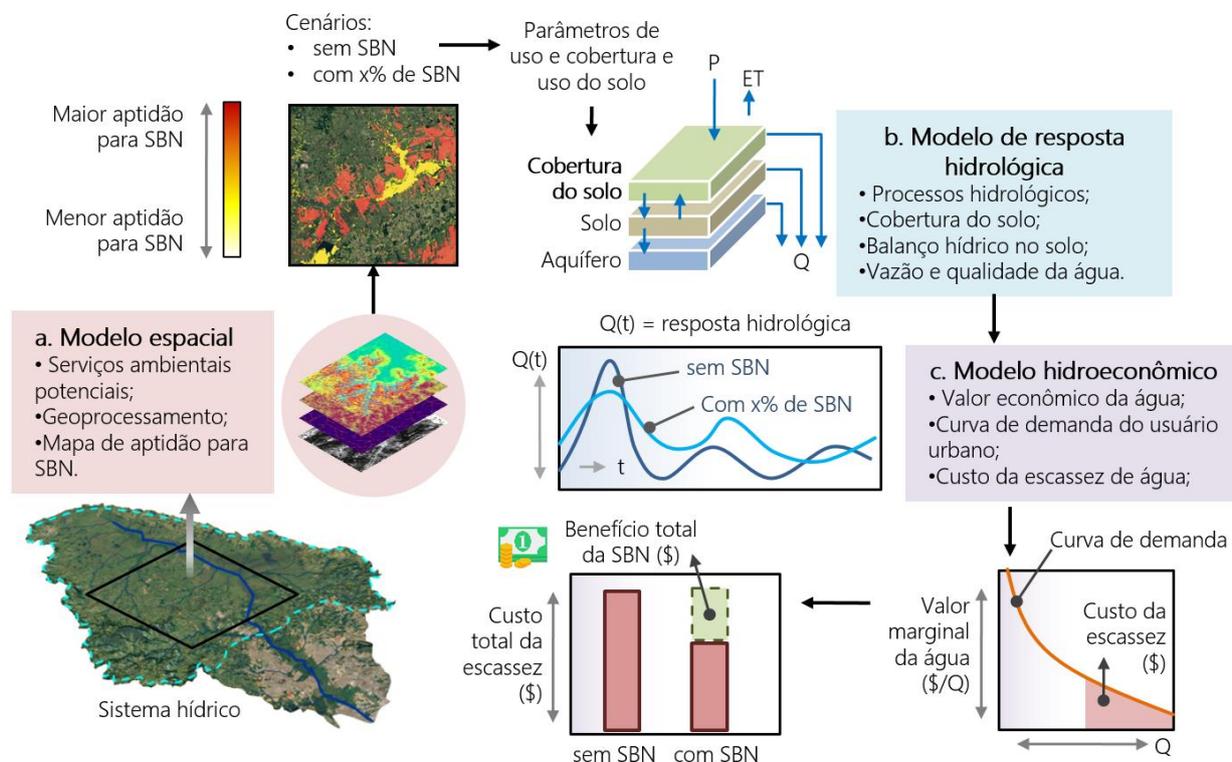


Figura 4 – Conexão entre modelos de simulação de SBN. a, Modelo espacial resulta em um mapa de aptidão para implantação de SBN. b, Modelo de resposta hidrológica permite a geração de hidrogramas ou polutogramas a partir de cenários de SBN. c, Modelo hidroeconômico permite o cálculo do custo da escassez de cada cenário simulado.

Otimização da expansão de SBN ao longo do tempo

Dado o iminente aumento das pressões e incertezas sobre a oferta e demanda por água, representadas pelas mudanças climáticas e crescimento populacional, respectivamente, as cidades devem planejar melhorias nos seus sistemas hídricos no longo prazo – um horizonte de 20 anos ou mais. Por isso, conforme colocado por Haasnoot *et al.* (2012), o planejamento de ações precisa abandonar planos estáticos e cada vez mais aderir ao paradigma da gestão adaptativa, que possui uma visão estratégica do futuro e oferece diversas rotas de adaptação a serem tomadas à medida que o futuro se desdobra. As rotas de adaptação na gestão da água consistem em linhas de ação diferentes, que passam a ser a prioridade em algum momento do futuro, como a construção de reservatórios, transposição de bacias, perfuração de poços, reuso de água, controle de perdas, etc. No nosso entendimento, é claro que SBN devam ser incluídas entre as rotas de adaptação de um plano da gestão da água de cidades (Figura 5).

Entretanto, SBN não representam um bloco único e sim um leque diversificado de ações que não são mutuamente excludentes. Assim, surge a questão de qual seria a melhor combinação de SBN a serem desenvolvidas ao longo do horizonte de planejamento. Para responder isso, os modelos de simulação anteriormente propostos poderiam ser acoplados em um modelo de otimização de expansão de infraestrutura (Figura 6).

Esse modelo de otimização poderia ser desenvolvido por técnicas de programação dinâmica discreta (PDD) a partir de modificações sobre o modelo de expansão descrito por Loucks e van Beek (2017) e a exemplo do modelo proposto por Arancibia *et al.* (2016) para otimização da expansão de sistemas de produção de energia. Como resultado, o modelo iria apresentar o roteiro de investimentos em múltiplas SBN diferentes com a melhor relação entre os custos de implantação e os benefícios associados à redução do custo da escassez de água. Por abranger os modelos de simulação, o modelo de otimização apresentaria ainda a vantagem de poder ser submetido a diferentes cenários de oferta e demanda por água.



Figura 5 – Rotas de adaptação da expansão da infraestrutura hídrica, baseadas na proposta de Haasnoot *et al.*(2012).

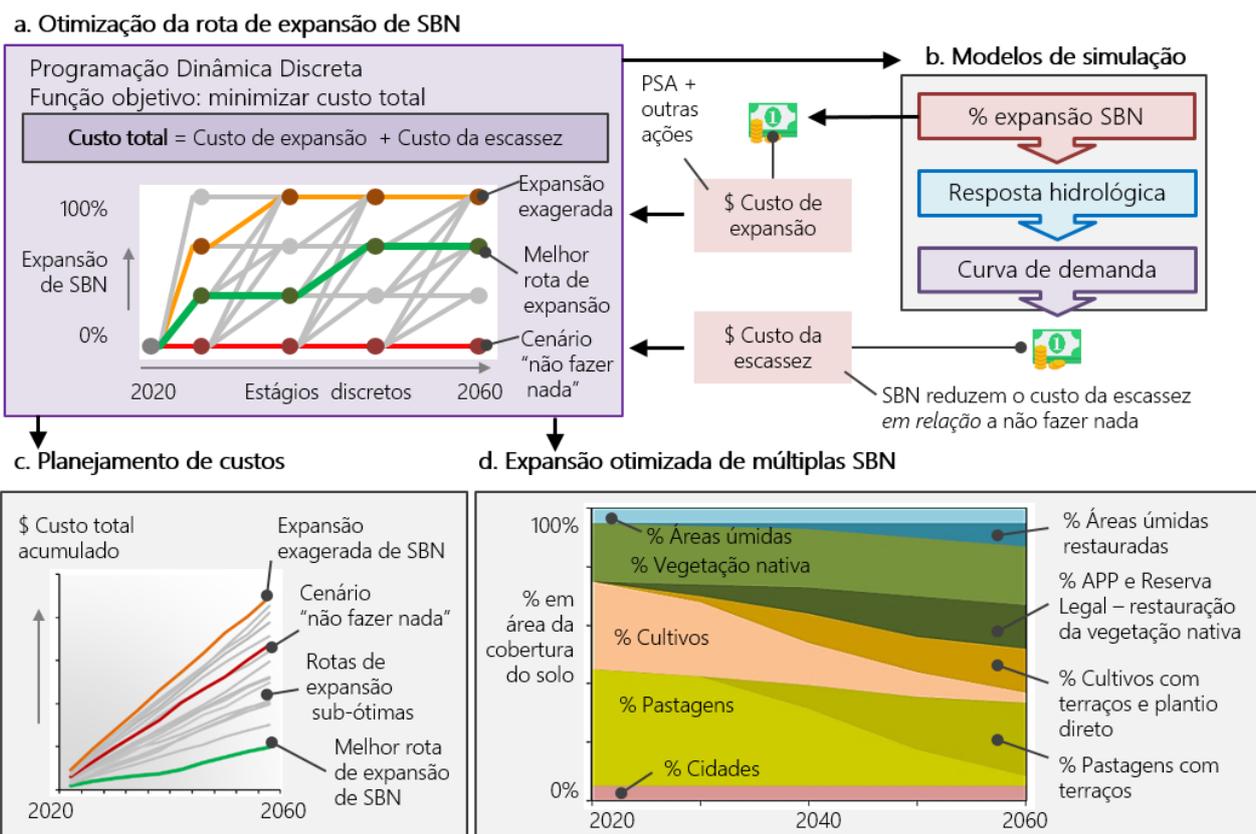


Figura 6 – Proposta metodológica para otimização da expansão de SBN. **a**, Otimização da rota de expansão de uma SBN usando-se programação dinâmica discreta (baseado em Loucks & Beeks, 2017). **b**, Cenários de expansão alimentam os modelos de simulação (ver Figura 4) de forma iterativa. **c**, Não fazer nada ou fazer investimentos exagerados em SBN podem gerar resultados sub-ótimos. **d**, Múltiplas SBN podem ser integradas na otimização (mix de SBN), gerando a melhor combinação de investimentos ao longo do horizonte de planejamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Soluções baseadas na natureza (SBN) compõe uma alternativa de infraestrutura hídrica que oferece impactos positivos sobre a disponibilidade e qualidade de água. Por isso, as SBN precisam ser incorporadas no leque de ações de planejamento de cidades, dada a escalada das pressões sobre os sistemas hídricos. Além disso, entendemos que decisões de gestão poderiam encontrar apoio em modelos de simulação e otimização que permitam estimar o impacto das SBN e apontar quais seriam as melhores rotas de investimento ao longo do tempo. Aqui, propomos um arcabouço metodológico que poderá ser aprofundado, calibrado e validado em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ARANCIBIA, A. L.; MARQUES, G. F.; BULHÕES MENDES, C. A. (2016). "Systems capacity expansion planning: Novel approach for environmental and energy policy change analysis". *Environmental Modelling and Software*, v. 85, 70-79 pp.
- BOELEEE, E.; JANSE, J.; LE GAL, A.; KOK, M.; ALKEMADE, R.; LIGTVOET, W.; (2017). "Overcoming water challenges through nature-based solutions". *Water Policy*, v. 19, n. 5, p. 820–836.

- FILOSO, S.; BEZERRA, M. O.; WEISS, K. C. B.; PALMER, M. A. (2017). “*Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review*”. PLoS ONE, v.12, n. 8.
- FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; MCDONALD, R. I. (2018). “*Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth*”. Nature Sustainability, 1–1, pp. 51–58.
- HAASNOOT, M.; KWAKKEL, J. H.; WALKER, W.E.; MAAT, J. (2012). “*Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world*”. Global Environmental Change, 23 (2013) pp 485 – 498.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature) (2012). “*The IUCN Programme 2013–2016*”. Jeju, Korea: IUCN World Conservation Congress.
- KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*. 2 ed. Boca Raton, USA: CRC Press.
- KESSTRA, S.; NUNES, J.; NOVARA, A.; FINGER, D.; AVELAR, D.; KALANTARI, Z.; CERDÀ, A. (2018). “*The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services*”. Science of the Total Environment, v. 610–611, p. 997–1009.
- LIQUETE, C.; UDIAS, A.; CONTE, G.; GRIZZETTI, B.; MASSI, F. (2016). “*Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control - Highlighting hidden benefits*”. Ecosystem Services, v. 22, p. 392–401, 2016.
- LOUCKS, D.P.; BEEK, E.V. (2017). “*An Introduction to Optimization Models and Methods*”. In: Water Resource Systems Planning and Management - An Introduction to Methods, Models, and Applications. P. 93 – 178. Paris: UNESCO.
- NESSHÖVER, C.; ASSMUTH, T.; IRVINE, K. N. (2017). “*The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective*”. Science of the Total Environment, v. 579, pp. 1215–1227.
- SCHUELER, T.R. (1987). “*Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMP*”. Washington, DC, USA: Metropolitan Washington Council of Governments.
- SHARPLEY, A.N.; DANIEL, G.; GIBSON, L.; BUNDY, M.; CABRERA, T.; SIMS, R.; STEVENS, J.; LEMUNYON, P.; KLEINMAN, R. PARRY.; (2006). *Best Management Practices to Minimize Agricultural Phosphorus Impacts on Water Quality*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS–163, pp.50.
- SONNEVELD, B.; MERBIS, M.; UNVER, O.; ALFARRA, A (2018). “*Nature-Based Solutions for agricultural water management and food security*”. FAO Land and Water Discussion Paper no. 12, pp. 66. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- UN/DESA (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Key-Facts*. Working Paper No. ESA/P/WP.252. New York: United Nations.
- WOCAT (World Overview of Conservation Approaches and Technologies); CTA; FAO; CDE (2007). *Where the land is greener – case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide*. Editors: Hanspeter Liniger and William Critchley.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water (2018). “*The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*”. Paris, UNESCO.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS.