



Nexos para a resiliência urbana no contexto de vulnerabilidade às mudanças climáticas

Leandro Luiz Giatti, Lira Benites Lazaro,
Mateus Henrique Amaral, Kauê Lopes dos Santos,
Ana Cristina Matos, Vanessa Rafaelle Soares de Lima e
Alberto Matenhauer Urbinatti

Introdução

As grandes metrópoles possuem intensas conexões com os fenômenos associados às amplas mudanças ambientais globais em curso, como as mudanças climáticas. Com efeito, essa conectividade remete tanto a causalidades e motricidade de transições, como também se relaciona com as diversificadas consequências e impactos a que os moradores de grandes conglomerados urbanos se tornam suscetíveis (BULKELEY, 2010; KJELLSTROM et al., 2007; SETO et al., 2017). Com isso, a urbanização, como um processo que se acelera intensamente desde a segunda metade do século XX, corrobora com a concepção daquilo que hoje denominamos de Antropoceno, o reconhecimento de uma era geológica atribuída à magnitude de transformação das ações antrópicas sobre o planeta (STEFFEN et al., 2015).

No que diz respeito às forças motrizes por meio das quais a urbanização contribui para as mudanças climáticas, cabe considerar que as cidades são destino das mais distintas demandas de energia, água, insumos, alimentos e de produtos industrializados. Destaca-se que as cadeias de provimento desses recursos se relacionam fortemente com a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a urbanização também remete a profundas mudanças na paisagem e nos ecossistemas, alterando de forma muito significativa, por exemplo, o provimento de serviços ecossistêmicos fundamentais à vida humana e às mais distintas cadeias produtivas e econômicas.

Por outro lado, quanto às consequências das mudanças climáticas enquanto impactos às cidades e suas populações, cabe inicialmente considerar conjuntos de vulnerabilidades que se sobrepõem, associados a fatores físicos-ambientais (escassez hídrica, riscos de desastres associados a intensas chuvas), socioeconômicos (segregação socioespacial associada a periferização e a pobreza) e políticos (precário planejamento urbano e investimentos em infraestrutura e serviços). Nesse sentido, consideramos a vulnerabilidade às mudanças climáticas enquanto o grau em que determinados sistemas (no caso, urbanos) são suscetíveis e impossibilitados de lidar com impactos e adversidades. Esta condição pode se exacerbar por outros fatores estressores, por exemplo, como condições ambientais e climáticas correntes, pobreza, acesso desigual a recursos, insuficiência de infraestrutura, insegurança alimentar, pressões econômicas e incidência de doenças (IPCC., 2007).

Diante destas considerações, arguimos que é estratégico partir das cidades para criar alternativas para mitigação dos fatores que incidem nas mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, deve-se promover adaptação para o enfrentamento de impactos e distúrbios, como eventos climáticos extremos e suas consequências como enchentes, inundações, deslizamentos de terra ou intensas e prolongadas estiagens. Porém, o grau de complexidade dos problemas atuais (urbanos e globais) e a escassez de recursos remetem ao imperativo de que frentes distintas de ações de mitigação e adaptação devam ser implementadas conjuntamente ou de maneira convergente.

Para a busca de convergências e de uma perspectiva transversal capaz de abarcar condicionantes interdependentes associados à sustentabilidade, recorreremos aos atributos e possibilidades associados ao nexo água-energia-alimentos como uma forma de integração de governança urbana (ARTIOLI et al., 2017; HOFF, 2011). Como um novo paradigma integrador das ciências ambientais e de sua relação com as políticas, o nexo se dedica aos *trade-offs* (trocas compensatórias em que um lado ganha enquanto o outro perde) entre as cadeias de produção e provisão de suas três dimensões, pois em síntese, há uma forte e crescente interdependência entre elas (ALSAIDI & ELAGIB, 2017). Por exemplo, distintos meios de produção de energia dependem de volumes consideráveis de água; captar, tratar e distribuir água requer significativo insumo energético; produzir, beneficiar e distri-

buir alimentos, do mesmo modo, caracteriza substancial demanda de água e energia. Esta perspectiva de compensações dentre as cadeias de água, energia e alimentos se destaca a partir do reconhecimento da centralidade da demanda de recursos hídricos no que diz respeito às mais distintas cadeias de desenvolvimento econômico (BENITES-LAZARO et al., 2020; WAUGHRAV, 2011). Porém, diante do quadro global de exclusão social e pobreza intensificado pela pandemia de Covid-19, em que aproximadamente 9,4% da população mundial vive na linha da extrema pobreza¹, carecendo de acesso em quantidade e qualidade adequada à água, energia e alimentos, o nexo torna-se fundamental para racionalizar interdependências na busca de alternativas sinérgicas na provisão de recursos com vistas à inclusão social e redução da vulnerabilidade (HOFF, 2011). Embora outras concepções de análise e gestão de recursos já tenham se dedicado a questão das interdependências e a natureza de suas estruturas de governança, postulamos que o nexo não deve ser apenas uma palavra da moda (BENSON & GAIN; ROUILLARD, 2015; CAIRNS & KRZYWOSZYNSKA, 2016). O nexo pode e deve abarcar questões sociopolíticas das interações entre suas dimensões, permitindo estruturas integrativas de alternativas e sinergias a partir de uma governança urbana (ARTIOLI & ACUTO; MCARTHUR, 2017; URBINATTI et al., 2020).

A natureza transversal da racionalidade do nexo é aqui compreendida como uma forma de ampliar a resiliência dos sistemas sócio-ecológicos urbanos. Nisso, compreendemos a resiliência como a capacidade de um dado sistema (urbano) de ter uma continuidade de mudanças e de se adaptar dentro de determinados limites críticos. Isto também remete, evidentemente, a capacidade deste sistema em retomar sua integridade mediante a impactos ou distúrbios. O conceito de adaptabilidade compõe essa perspectiva de plasticidade da resiliência, representando a capacidade de desenvolver ajustes para corroborar a trajetória de estabilidade. Nessas concepções, fica a interpretação de que os sistemas em estudo, como megacidades, não apresentam uma condição estática. Na

1. Dado divulgado em 2020 pelo Banco Mundial. Estima-se que em 2021 mais 150 milhões de pessoas se tornarão extremamente pobres (vivendo com menos de 1,9 dólar ao dia) por conta dos impactos da Covid-19. Ver: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021>. Acesso em: 24 Ago. 2021.

verdade, encontram-se em constante movimento dentro de determinados padrões de desenvolvimento (FOLKE et al., 2010).

Estes padrões de desenvolvimento podem ser entendidos como tendências de adensamento urbano, crescimento econômico e perspectivas de oferecimento de oportunidades para inclusão social. Porém, no processo global de urbanização, algumas tendências de caráter negativo também podem ser elencadas dentro dos padrões de desenvolvimento dos sistemas urbanos, assim, destacam-se: aumento constante de demandas por água, energia e alimentos; elevação de emissões de gases de efeito estufa; aumento de taxas impermeabilização; e depleção de serviços ecossistêmicos essenciais ao suporte à vida das próprias populações urbanas. No conjunto, vemos que a urbanização analisada sob a ótica das mudanças climáticas coloca-se como uma dinâmica que tende à insustentabilidade (SETO et al., 2017).

Neste artigo objetivamos explorar o nexos água-energia-alimentos enquanto alternativa para ampliação da resiliência e redução da vulnerabilidade socioambiental mediante as mudanças climáticas, identificando perspectivas e desafios para um amplo território urbanizado. Dialogamos com contexto da Macrometrópole Paulista (MMP), que se constitui em território heterogêneo, onde prevalecem profundas iniquidades, intensos desafios de escassez de recursos, riscos de desastres e insustentabilidade, agravados pelas ameaças associadas às mudanças climáticas globais (AMARAL et al., 2021; CANIL & LAMPIS; SANTOS, 2020; JACOBI & CIBIM; LEÃO, 2015; TRAVASSOS et al., 2020a, 2020b).

A seguir, o texto se organiza em mais três seções, onde tratamos: da perspectiva do nexos para a busca ou ampliação da resiliência macrometropolitana; de alternativas e sinergias associadas a racionalidade do nexos com potencial de replicabilidade; e finalmente de considerações finais e *insights* para contribuir com a governança do nexos em um contexto (macro)metropolitano.

O nexos e a resiliência urbana em um contexto macrometropolitano

A abordagem do nexos voltada aos contextos urbanos, ou o nexos urbano, contribui com uma visão holística sobre sinergias e *trade-offs* a dialogar com as demandas das cidades em suas conexões regionais e

transescalares (AMARAL et al., 2021; LEHMANN, 2018; ARTIOLI et al., 2017). O nexo urbano, conforme descreve o relatório do ICLEI (2014), procura responder à necessidade urgente de políticas e mecanismos de implementação de abordagens alternativas ao pensamento fragmentado, isto é, um padrão de estruturas autocentradas em seu próprio domínio em setores urbanos vitais. Além dos sistemas metropolitanos cruciais como, a água, energia e alimentos, esta abordagem busca transcender áreas de políticas como de uso da terra, inclusão social, gestão de resíduos e transporte, a fim de alcançar um uso mais eficiente e eficaz dos ciclos de recursos nas áreas urbanas e periurbanas. Assim, o nexo urbano é visto como uma abordagem para o delineamento de soluções de desenvolvimento urbano sustentável, integrando-se os sistemas água-energia-alimentos. Esta integração deve proporcionar benefícios uns aos outros por meio de soluções personalizadas para governar de forma sustentável as ligações rurais-urbanas e as interdependências de recursos por meio de perspectiva espacial multiescalar e abrangente (GIZ & ICLEI, 2014).

No entanto, como Benites-Lazaro e Giatti (2021) descrevem, o planejamento urbano e a transformação para a sustentabilidade até agora não prestaram atenção adequada à resiliência e a essas formas de integração sistêmica. Nesse sentido, as cidades permanecem mal preparadas para enfrentar os desafios de adaptação e mitigação às mudanças climáticas. O planejamento urbano, assim como o planejamento dos setores do nexo, é realizado de acordo com métodos tradicionais e de forma independente com base em uma administração pública setorial. Assim, um dos principais problemas que o nexo procura superar é a tradição de tomadas de decisão concentradas apenas em um setor sem levar em consideração que suas respectivas políticas podem afetar outros setores negativamente. Para os autores, esta fragmentação traz a necessidade de transformações mais profundas, por meio de abordagens integradoras que equilibrem políticas públicas, conquistas sociais e gestão sustentável dos recursos naturais e ecossistemas. Porém, mesmo com o reconhecimento da severidade e urgência das mudanças climáticas (MASSON-DELMOTTE et al., 2021), observam-se tendências preocupantes, como o uso excessivo da terra, o aumento da desigualdade e outros desafios urbanos que ameaçam segurança alimentar, hídrica e energética. Assim, prevalecem os desafios para os formuladores de políticas urbanas, que devem reverter

o curso insustentável do fornecimento de alimentos, água e energia e tratamento de resíduos para recuperação de materiais e busca da sustentabilidade urbana (LEHMANN, 2018).

No equacionamento destas questões complexas em grandes aglomerados urbanos, as redes de cooperação entre cidades podem desempenhar um papel muito importante na apropriação da abordagem de nexos. Os principais exemplos dessas redes são: Rede de Cidades Resilientes (R-cities), C40 Cities, Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI), e o Pacto Global dos Prefeitos pelo Clima e a Energia. Essas redes internacionais têm trabalhado para elaborar planos estratégicos de longo prazo para identificar os principais setores que podem contribuir para preparar a resiliência urbana e estabelecer respostas de capacidade para os desafios existentes e futuros. Por exemplo, o relatório do ICLEI, constitui uma reivindicação relevante para um papel mais ativo das cidades na articulação de problemas e soluções com enfoque no nexus (GIZ & ICLEI, 2014).

No entanto, estudos prévios como de Bellezoni et al. (2021) demonstram que a abordagem do nexus tem se concentrado principalmente na segurança de recursos em macroescala global, tornando difícil a aplicação desta abordagem em escala urbana. Não havendo consenso metodológico nesse sentido, os fluxos dentro dos setores do nexus podem oportunizar algumas abordagens qualitativas ou quantitativas. O enfoque dos fluxos remete a analisar as compensações diretas entre os setores do nexus, por exemplo, quanto a energia necessária para tratamento e distribuição de água ou quanto ao consumo de água e energia em distintas etapas da produção de alimentos (AMARAL et al., 2021; ARTHUR et al., 2019). O estudo de Bellezoni ainda destaca que na literatura existente há preocupação de que os meios de subsistência e o meio ambiente sejam frequentemente omitidos nas avaliações do nexus. O que também caracteriza na relação com desafios para implementar soluções baseadas na natureza nas cidades, ou as infraestruturas verdes e azuis em centros urbanos. Essas questões precisam ser tomadas em conta tanto em estudos acadêmicos, assim como devem ser foco de políticas públicas de caráter transversal de recursos alimentares, hídricos e energéticos.

Nos estudos que envolvem sistemas sócio-ecológicos complexos, como a MMP, indicadores têm sido utilizados como importantes ferramentas de suporte para diagnosticar, monitorar e avaliar a (in)sustentabilidade

da gestão de recursos e suas implicações em termos de escassez (RICHTER & JACOBI, 2018), injustiças ambientais e desenvolvimento humano e urbano (AMARAL et al., 2021; GIATTI et al., 2016). Nesse mesmo sentido de análise, considerando a amplitude e gravidade da problemática das relações de interdependência entre água, energia e alimentos, indicadores também podem ser utilizados para quantificar a eficiência da alocação de recursos e impactos socioambientais associados (*trade-offs*) (VANHAM et al., 2017; ROIBÁS et al., 2015), bem como para subsidiar a proposição de políticas públicas sinérgicas entre os setores (DAEE, 2013).

No Brasil, agências reguladoras e sistemas de informação de domínio público do governo federal têm gerado e divulgado dados para indicadores de caráter intersetorial que abrangem, pelo menos, dois dos três setores da abordagem do nexo. A saber: o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) que disponibiliza séries temporais com dados municipais para a quantidade de energia elétrica gasta no tratamento de água e esgoto; o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que, por meio da Pesquisa Agrícola Municipal, divulga, anualmente, a quantidade de agrotóxicos utilizados por hectare de área plantada; o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, que é uma publicação recente elaborada por uma equipe técnica da Agência Nacional de Águas (ANA), apresenta a evolução temporal e estimativas municipais da vazão hídrica necessária para a geração termelétrica, abastecimento urbano, rural e industrial e dessedentação animal, tendo como base um horizonte temporal de até 2030.

Entretanto, no contexto brasileiro e global, o nexo ainda se constitui como um desafio em termos de gestão para ser quantificado; independente da dimensão da escala territorial que é considerada para análise. Afinal, os indicadores disponíveis ainda não correspondem, na íntegra, à complexidade do nexo e as necessidades de informações para fácil identificação de possibilidades para redução de *trade-offs*. Além disso, as lacunas de dados permanecem para além daqueles de caráter hidrológico e há um número relativamente baixo de trabalhos que consideram indicadores do nexo em sua metodologia (ARTHUR et al., 2019; ALBRECHT et al., 2018). Isto frequentemente compromete a agregação da informação proveniente de distintos setores e dificulta o desenvolvimento de alternativas sinérgicas representadas por ações, políticas e tecnologias capazes de amenizar as pressões da

urbanização e das ameaças climáticas sobre a sociedade e o território macrometropolitano (TRAVASSOS et al., 2020b).

Diante disso, alternativas inovadoras são necessárias para uma mudança de paradigma envolvendo a produção de informação, inclusive de indicadores, e seu uso na busca de ações na perspectiva donexo, para isso, é necessário haver colaboração entre esforços da comunidade científica para o desenvolvimento de novas métricas e instrumentos de apoio à análise e à gestão. Superar esses obstáculos e circunstâncias convencionais de isolamento e fragmentação é algo a contribuir com sinergias para atenuar os *trade-offs* dos setores do nexo.

Retomando a ideia de que os sistemas urbanos tendem a insustentabilidade, podemos entender que novas perspectivas de ganhos transversais, como no que diz respeito ao nexo, podem significar relevantes possibilidades de novas formas de organização e desenvolvimento aos sistemas socio-ecológicos urbanos. O pensamento em torno da resiliência também pontua quanto a transformabilidade, que se caracteriza pela transgressão aos limites convencionais da resiliência, impondo novas dinâmicas, caracterizando situações de ruptura e inovação (FOLKE et al., 2010; WALKER et al., 2004). Digamos que, se nossos sistemas urbanos tendem ao colapso, novas dinâmicas são necessárias para delimitar processos de desenvolvimento que se direcionem a otimizar recursos, minimizar impactos, reduzir *trade-offs* e ampliar a resiliência dentro de novos limites de operação nas cidades – limites da sustentabilidade. Para isso, efetivamente, a perspectiva de interdependência e de busca de sinergias do nexo parece se colocar como uma potencialidade para novos direcionamentos às tendências transformadoras de urbanização.

Alternativas e sinergias

A mudança de uso do solo decorrente da urbanização é um dos impactos humanos mais irreversíveis na biosfera. Ela acelera a perda de terras agrícolas altamente produtivas, afeta a demanda de energia, altera o clima, modifica os ciclos hidrológico e biogeoquímicos, fragmenta os habitats e reduz a biodiversidade. Notadamente, estes fenômenos revertem em ameaças aos grandes contingentes populacionais urbanos (SETO et al., 2011). Os principais impactos e riscos climáticos às cidades caracterizam-se como aumento de temperatura, aumento no nível do mar, ilhas

de calor urbanas, inundações, escassez de água e alimentos, acidificação dos oceanos e eventos extremos. A maioria das cidades brasileiras já apresenta problemas ambientais associados a seus padrões de desenvolvimento e transformação de seus territórios. Nesse sentido, as crises globais por seus reflexos locais tendem a exacerbar problemas urbanos, como no caso do ciclo hidrológico influenciado pelo aquecimento global, que tende a acentuar impactos já conhecidos, como inundações, deslizamentos de terra, ondas de calor e escassez hídrica (PBMCM, 2016).

Com isso, pode-se afirmar com segurança que o aquecimento global provocará impactos significativos em quatro setores na maioria das cidades: sistemas locais de energia; demanda e fornecimento de água e tratamento de esgoto; transporte; e saúde pública (ROSENZWEIG et al., 2011, *apud* PBMCM, 2016). Os setores citados conjugam o desafio das cidades de reduzir sua vulnerabilidade socioambiental por meio de desenvolvimento de agendas e implementação de políticas públicas e ações voltadas às mudanças climáticas. Em consonância com as diretrizes de reduzir *trade-offs* entre os setores do nexo, compreendemos também como necessária a sinergia desejável na interação entre medidas de adaptação e de mitigação às mudanças climáticas, capazes, inclusive, de dialogar através de escalas territoriais. Deste modo, estas sinergias podem transcender por meio de efeitos combinados, capazes de constituir resultados sistêmicos maiores do que a simples soma de seus efeitos se implementados separadamente (KLEIN et al. 2007).

A busca desta transcendência em um complexo sistema macrometropolitano pode ser viabilizada por meio da cooperação entre distintos municípios. Por exemplo, como no caso do Consórcio Intermunicipal do Grande ABC, situado na MMP, que é formado pelos municípios de Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul. Em 2017, este consórcio apresentou o Plano de Ação de Enfrentamento às Mudanças Climáticas do Grande ABC², que pode contribuir para demonstrar possibilidades de sinergias no nexo em uma metrópole.

Este plano estabeleceu diretrizes setoriais estratégicas com desdobramento em ações em quatro eixos: energia; transporte; resíduos sólidos e saneamento; e desenvolvimento sustentável e resiliente, conforme se

2. <https://consorcioabc.sp.gov.br/noticia/2804/plano-de-acao-de-enfrentamento-as-mudancas-climaticas-do-grande-abc>.

apresenta parcialmente no Quadro 1. O direcionamento deste plano se acopla diretamente às estratégias mitigação e adaptação às mudanças climáticas, desse modo, enfocando redução de emissões de GEE e buscando tornar as cidades do consórcio mais resilientes. É possível observar, todavia, que os esforços permanecem relativamente setoriais e com interações limitadas. De fato, apesar do aumento das ambições de planos de mitigação e de adaptação no âmbito das cidades, há poucos esforços visando criar sinergias entre eles (ÜRGE-VORSATZ et al, 2018). Essa crítica é do mesmo modo compartilhada pela essência do debate sobre o nexos, em que se reconhece de forma ponderada a tradição de ações isoladas e setoriais.

Mesmo persistindo a a clássica fragmentação, consideramos que as ações e diretrizes trazem possibilidades e *insights* interessantes sobre maneiras de identificarmos oportunidades sinergias ou o reconhecimento de compensações associadas ao nexos. Por exemplo, no eixo energia a busca de eficiência energética, a redução de consumo e a geração de energia limpa oportuniza especificamente redução de *trade-offs* e interessantes sinergias que podem beneficiar na economia de água e na disponibilidade energética e hídrica para produção de alimentos. No eixo transporte, as melhorias e incentivos aos transportes públicos também podem efetuar redução de pressão por compensações, sobretudo tendo em consideração que uma das maiores demandas urbanas por energia provém dos transportes.

Mas é importante notar que o equacionamento almejado não é necessariamente simples e inequivocamente benéfico. O olhar sobre a racionalidade do nexos deve ser crítico, pois as compensações entre os setores podem inverter o resultado de análises a partir de olhares unilaterais. Para ilustrar, ainda na questão do transporte, a proposição de estímulos ao uso de biocombustíveis é indubitavelmente benéfica no sentido da mitigação das mudanças climáticas. Por outro lado, no contexto de interdependência territorial e de cadeias produtivas essa produção de energia renovável gera disputas consideráveis por recursos, como no caso de uso do solo e demanda hídrica, competindo com a produção de alimentos. A indústria brasileira do bioetanol, por exemplo, coloca-se muitas vezes nessa situação de conflito de discursos, de um lado enaltecendo sua real contribuição na redução da emissão de gases de efeito estufa, de outro, desconsiderando que sua cadeia produtiva caracteriza outras pressões de interesse no debate da sustentabilidade (BENITES-LAZARO et al., 2020).

Quadro 1 Algumas diretrizes setoriais e ações do Plano de Ação de Enfrentamento às Mudanças Climáticas do Grande ABC.

Diretrizes Setoriais		Ações
Energia	Aumento da eficiência energética em prédios públicos e privados	- Alcançar eficiência e modernização energética em vias públicas (substituição das lâmpadas existentes por mais eficientes e promoção da tecnologia LED) - Contratar energia solar para suprir as instituições públicas - Incentivar a substituição de combustíveis intensos em GEEs por combustíveis renováveis em grandes consumidores de energia - Fixar meta de redução de consumo energético para cada cidade
	Redução do consumo de energia e do desperdício energético em prédios públicos, comerciais e residenciais	
	Geração e a promoção do uso de energias a partir de fontes limpas e renováveis	
Transporte	Reorganização dos serviços de transporte coletivo, com a constituição de uma rede unificada e integrada de serviços municipais e metropolitanos, englobando todos os modos de transporte, de alta, média e baixa capacidades	- Implantar os corredores de <i>Bus Rapid Transit Services (BRT)</i> - Desenvolver ciclovias, ciclofaixas e ciclorrotas - Aumentar o percentual de biodiesel no diesel da frota de ônibus Consórcio Grande ABC - Avaliar técnica e economicamente a substituição de gasolina por etanol na frota de veículos das prefeituras do Consórcio
Desenvolvimento Sustentável e Resiliente	Controle da expansão da mancha urbana e dos assentamentos precários existentes	- Elaborar estudo de análise de vulnerabilidade climática de sistemas ou áreas específicas do consórcio - Realizar estudos e mapeamento para o estabelecimento do Sistema Intermunicipal de Áreas Verdes, que contemple estratégias e diretrizes para: 1) recuperação de vegetação nativa; 2) implantação, recuperação e manutenção das Unidades de Conservação ; 3) elaboração de Plano de Arborização Regional; incentivos para a criação de Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN); 4) elaborar e implantar Programa de Pagamento por Serviços Ambientais; 5) elaborar e implantar o Plano Regional de Redução de Riscos.

Fonte: Plano de ação de enfrentamento às mudanças climáticas do Grande ABC

No eixo dos resíduos, todo o processo de reciclagem implica em importantes inter-relações positivas com variadas cadeias produtivas, estas que são amplamente demandantes de água e energia. Além disso, o for-

talecimento de cooperativas de catadores promove inclusão social no processo de reciclagem, fortalecendo a economia circular e o protagonismo em interações multisetoriais associadas à busca dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (GUTBERLET, 2021; GUTBERLET et al., 2020). No quarto e último eixo deste plano, controle de expansão urbana e conservação e restauração de vegetação nativa contribuem para a provisão de importantes serviços ecossistêmicos, o que em meio urbano pode contribuir de forma fundamental para o provimento de água, regulação climática e redução de riscos. Na MMP alguns municípios periféricos podem ser caracterizados como importantes provedores de serviços ecossistêmicos, porém, apresentando piores desempenhos quanto ao desenvolvimento humano. Isto inevitavelmente perpassa interações nas cadeias do nexso e pode também contribuir para a sustentabilidade urbana e para a redução de injustiças ambientais (AMARAL et al., 2021)

No campo do saneamento básico, especificamente quanto ao abastecimento público de água e coleta e tratamento de esgotos domésticos, distintas oportunidades de racionalização com foco no nexso podem trazer outras contribuições a serem reproduzidas como experiências aplicadas aos municípios de uma grande metrópole. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) o consumo de energia elétrica equivale a cerca de 13% dos custos das empresas do setor de saneamento, variando de acordo com as etapas e plantas. Estes elevados custos são influenciados por fatores como a instalação e funcionamento de distintos mecanismos e equipamentos. Em estações de tratamento de água, por exemplo, o consumo médio varia entre 6,5 e 25,5 kWh/m³ de água distribuída, amplitude que denota possibilidade de gestão de eficiência e, portanto, oportunidade de mitigação de trade-offs entre abastecimento público de água e energia (SNIS, 2017; WAKEEL et al., 2016).

Com a finalidade de promover melhoria da eficiência energética, o setor de saneamento tem adotado alternativas com o intuito de otimizar o uso de energia elétrica e viabilizar a redução do consumo. A implementação de uma racionalidade do nexso no setor de saneamento pode estimular a busca de sinergias desde os processos de gestão e política da água, interagindo com o setor energia e com a produção de alimentos em consonância com a questão da segurança dos recursos hídricos (SCOTT et al., 2015).

A exemplo de possibilidades, no Brasil algumas parcerias entre empresas de saneamento e universidades têm intensificado estudos com o intuito de promover a reutilização do lodo (resíduo do tratamento de esgoto) como fertilizante orgânico, uma vez que sua composição é de “4% de nitrogênio, 2% de fósforo, 0,4% de potássio e 25% de carbono” (OLIVEIRA et al., 1995; SABESP 2018).

A Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – SABESP, possui em sua planta de tratamento de esgoto na cidade de Franca um sistema criado em parceria com o Instituto Fraunhofer da Alemanha, que permite a utilização do biogás para utilização em veículos, a estação trata cerca de “500 L/s de esgoto e produz 2.500 Nm³ de biogás por dia, o que equivale a 1.500 litros de gasolina”. Pesquisa semelhante foi realizada pela Companhia de Saneamento do Paraná, onde a realização de análise do biogás e lodo de uma de suas estações de tratamento de esgoto indicou que há significativo potencial para utilização como fonte de energia renovável (SABESP, 2018; SANEPAR, 2016).

Experiências recentes denotam ainda a eficiência da produção de energia elétrica através da pressão hidráulica da água dentro de tubulações. Este processo, com experiências já em atividade, assemelha-se a pequenas hidrelétricas, aproveitando a pressão da água em tubulações em declive, permitindo que a energia remanescente não aproveitada na planta possa ser recuperada para o uso da concessionária (SABESP, 2018).

Considerações finais: insights sobre a governança do nexo em uma macrometrópole

O debate sobre o nexu urbano desperta o interesse e mobiliza para uma governança mais sustentável do ponto de vista estrutural e social. A qualificação deste modelo de governança se dá pela transversalidade e diálogo entre distintos setores e, também, pela forma inclusiva de distintos atores sociais. Isto quer dizer que o conceito possibilita repensar aspectos históricos de uma governança, ou insuficiência dela, como no caso da MMP, a partir de lentes mais integrativas em relação aos recursos água, energia, alimentos e o próprio ambiente. Contudo, assim como este capítulo buscou mostrar, não basta somente integrar a governança para se alcançar resultados sustentáveis; é preciso entender o nexu urbano de

forma crítica para poder avaliar as sinergias e os *trade-offs* multilateralmente. A inexistência de reflexões e de ações de potencialmente transversais em consideração ao nexo, pode fazer com que convencionais ações setoriais permaneçam gerando efeitos negativos de forma concorrente a outros setores.

A análise do Plano de Ação de Enfrentamento às Mudanças Climáticas do Grande ABC mostrou que a racionalidade da governança ambiental é pautada em setores estratégicos, ainda pouco integrativa e compartilhada entre diferentes expertises. Isto não quer dizer que este plano não seja um avanço no enfrentamento das mudanças climáticas, pois suas possibilidades são portadoras de transversalidades relevantes e inovadoras. Os *insights* aqui sugeridos a partir do conceito de nexo urbano são justamente para aprimorar instrumentos pré-existentes no contexto da MMP que podem ser fundamentais para o futuro em termos climáticos, ambientais e sociais na região. Entendemos que este amplo e complexo sistema urbano requer diversidade e integração de alternativas e de diálogo entre atores sociais convencionalmente isolados. Para isso, a cooperação entre municípios se coloca como um elemento capaz de gerar cooperações que transcendem escalas, além disso, gerando situações criativas e oportunidades de aplicação do nexo para contribuir com a convergência entre mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Estruturas mais diversificadas, nesse sentido, devem ser perspectivas a ampliar a resiliência de complexos sistemas urbanos frente aos desafios e incertezas das mudanças climáticas.

Agradecimentos – Os autores agradecem o apoio recebido da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo n. 2015/03804-9 e bolsas , 2017/17796-3 e 2016/25375-5) e ao CNPq (proc. n. 309840/2018-0).

Referências

- ALBRECHT, T. R. et al. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 4, p. 1-27, 2018.
- AL-SAIDI, M.; ELAIGIB, N. A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 1131-1139, 2017.
- AMARAL, M. H. et al. Environmental Injustices on Green and Blue Infrastructure: Urban Nexus in a Macrometropolitan Territory. **Journal of Cleaner Production**, p. 125829, 2021.

ARTHUR, M. et al. Urban food-energy-water nexus indicators: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104481, 2019.

ARTIOLI, F.; ACUTO, M.; MCARTHUR, J. The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. **Political Geography**, v. 61, p. 215–223, 2017.

BELLEZONI, R. A., MENG, F., HE, P.; SETO, K. C., 2021. Understanding and conceptualizing how urban green and blue infrastructure affects the food, water, and energy nexus: A synthesis of the literature. *Journal of Cleaner Production*. Volume 289, 20 March 2021, 125825.

BENITES-LAZARO, L. L. et al. Land-water-food nexus of biofuels: Discourse and policy debates in Brazil. **Environmental Development**, p. 100491, 2020.

BENITES-LAZARO, L. L.; GIATTI, L. L. O nexo água-energia-alimentos – uma abordagem para cidades sustentáveis e o desenvolvimento sustentável. In: Jacobi, P. R.; GIATTI, L. L. (Org). 2021, pp. 79-98.

BENSON, D.; GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J. Water governance in a comparative perspective: from IWRM to a 'nexus' approach? **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, 2015.

BULKELEY, H. Cities and the governing of climate change. **Annual review of environment and resources**, v. 35, 2010.

CAIRNS, R.; KRZYWOSZYNSKA, A. Anatomy of a buzzword: the emergence of 'the water-energy-food nexus' in UK natural resource debates. **Environmental Science & Policy**, v. 64, p. 164–170, 2016.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; SANTOS, K. L. dos. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. **Cadernos Metrôpole**, v. 22, n. 48, p. 397–416, 2020.

DAEE – Departamento de Água e Energia. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. **Plano Diretor de Aproveitamento dos Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista**. São Paulo, 2013.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and society**, v. 15, n. 4, 2010.

GIATTI, L. L. et al. O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estud. av.**, v. 30, n. 88, p. 43-61, 2016.

GUTBERLET, J. Grassroots waste picker organizations addressing the UN sustainable development goals. **World Development**, v. 138, p. 105195, 2021.

GUTBERLET, J.; BESEN, G. R.; MORAIS, L. Participatory solid waste governance and the role of social and solidarity economy: experiences from São Paulo, Brazil. **Detritus**, n. 13, p. 167, 2020.

HOFF, H. **Understanding the nexus: Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference**. [s.l.] SEI, 2011.

ICLEI; GIZ. 2014. Operationalizing the Urban NEXUS towards resource-efficient and integrated cities and metropolitan regions Case Studies. Disponível em: <http://www2.gtzt.de/urbanet/opencommunity/focus/urbannexus.asp>.

IPCC., A. S. Climate change 2007: synthesis report. **Summary for Policymakers**, 2007.

JACOBI, P. R.; CIBIM, J.; LEÃO, R. S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 27–42, 2015.

KJELLSTROM, T. et al. Urban Environmental Health Hazards and Health Equity. **Journal of Urban Health**, v. 84, n. 1, p. 86–97, 1 maio 2007.

- LEHMANN S. Implementing the Urban Nexus approach for improved resource-efficiency of developing cities in Southeast-Asia. **City, Culture and Society**. 2018 Jun 1;13:46-56.
- MASSON-DELMOTTE, V. et al. (EDS.). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.] Cambridge University Press, 2021.
- OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PERECIN, D.. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, vol.52, n.2 p.360-367, 1995.
- RICHTER, R. M.; JACOBI, P. R. Conflitos na macrometrópole paulista pela perspectiva da crise hídrica. **Rev. Bras. Estud. Urbanos Reg.**, v. 20, n. 3, p. 556-569, 2018.
- ROIBÁS, L. et al. Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 3-16, 2015.
- SABESP. Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo. **Relatório de sustentabilidade**. São Paulo, 2018.
- SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Eficiência energética no Saneamento**. Curitiba, 2016.
- SCOTT, C., KURIAN, M., WESCOAT, J., The water-energy-food nexus: enhancing adaptive capacity to complex global challenges. In: Kurian, M., Ardakanian, R. (Eds.), *Governing the Nexus: Water, Soil and Waste Resources Considering Global Change*. **Springer**, p. 15-38, 2015.
- SETO, K. C. et al. Sustainability in an urbanizing planet. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 34, p. 8935-8938, 2017.
- SNIS – Sistema nacional de informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. Brasília, 2017.
- STEFFEN, W. et al. The trajectory of the Anthropocene: the great acceleration. **The Anthropocene Review**, v. 2, n. 1, p. 81-98, 2015.
- TRAVASSOS, L. et al. Why do extreme events still kill in the São Paulo Macro Metropolis Region? Chronicle of a death foretold in the global south. **International Journal of Urban Sustainable Development**, p. 1-16, 2020a.
- TRAVASSOS, L. et al. Heterogeneidade e fragmentação espacial na Macrometrópole paulista: a produção de fronteiras e buracos. **Ambient. soc., São Paulo**, v. 23, 2020b.
- URBINATTI, A. M. et al. The conceptual basis of water-energy-food nexus governance: systematic literature review using network and discourse analysis. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, p. 1-23, 15 abr. 2020.
- VANHAM, D. et al. Food consumption and related water resources in Nordic cities. **Ecological Indicators**, v. 74, p. 119-129, 2017.
- WAUGHURAY, D. **Water security the water-food-energy-climate nexus: the World Economic Forum water initiative**. [s.l.: s.n.].
- WAKEEL, M.; CHEN, B.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. **Applied Energy**, v.178, p. 868-885, 2016.
- WALKER, B. et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. **Ecology and society**, v. 9, n. 2, 2004.