Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

O desafio de definir indicadores para explorar a sustentabilidade do nexo entre água, energia e alimentos na Macrometrópole Paulista

Mateus Henrique Amaral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Saúde Ambiental, modos de vida e sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Luiz Giatti.

São Paulo

2021

O desafio de definir indicadores para explorar a sustentabilidade do nexo entre água, energia e alimentos na Macrometrópole Paulista

Mateus Henrique Amaral

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Saúde Ambiental, modos de vida e sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Leandro Luiz Giatti.

Versão revisada

São Paulo

2021

Dedico aos meus pais e à minha irmã.

Agradecimentos

Aos meus pais, Selma e Sebastião, por todo o amor, dedicação e apoio dado aos meus estudos, mesmo nos tempos mais difíceis.

Ao Prof. Dr. Leandro Luiz Giatti, que demonstrou gentileza, paciência e humanidade. Sou grato, também, pelas oportunidades e ensinamentos que vão para além da academia.

A todos os integrantes do projeto MacroAmb, pela grande contribuição com a minha formação. Foi um prazer evoluir enquanto pesquisador com esse grupo.

Ao Prof. Dr. Pedro Roberto Jacobi, o coordenador do projeto MacroAmb, pela confiança, oportunidades e ensinamentos.

À Dra. Lira Luz Benites-Lázaro e à Profa. Dra. Luciana Travassos, pelas contribuições na qualificação. À Lira, também sou agradecido pela parceria, carinho e ensinamentos.

Aos membros titulares e suplentes da banca de defesa da dissertação, pela disposição, contribuições e ensinamentos.

A todos os colaboradores da Faculdade de Saúde Pública da USP. Em especial, à equipe de secretaria e professores vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Aos colegas Amanda, Ana, Beth, Beto, Bruno, Carol, Juma, Jussara, Lira, Mariane, Simone e Simone Schenkman sou grato pelos ensinamentos e momentos de descontração.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

À Fapesp, pelo apoio financeiro concedido ao MacroAmb.

À sociedade civil, que investiu na minha formação e na manutenção das universidades públicas.

AMARAL, M. H. **O desafio de definir indicadores para explorar a sustentabilidade do nexo entre água, energia e alimentos na Macrometrópole Paulista**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

Resumo

A abordagem do nexo entre água, energia e alimentos (ou simplesmente nexo) parte do entendimento de que esses três recursos estão conectados por uma relação de interdependência marcada por *trade-offs* e sinergias. Sendo assim, o nexo pode contribuir com a otimização do uso de recursos por promover a produção de mais gastando menos. Entretanto, a falta de metodologias e instrumentos analíticos abrangentes não favorece o desenvolvimento de uma percepção mais holística e integrada das dimensões sociais, ambientais e econômicas envolvendo a complexidade das relações de interdependência. Diante disso, este trabalho teve o objetivo principal de propor uma matriz de indicadores baseada no modelo FPSEEA da OMS para validar a estrutura como um instrumento capaz de explorar a (in)sustentabilidade do nexo em sistemas urbanos complexos, como a Macrometrópole Paulista (MMP). Para definir e sistematizar os indicadores de acordo com o significado atribuído a cada um dos eixos do modelo foi realizada uma revisão não sistemática das literaturas e consulta a alguns dos sistemas de informação de domínio público do país. Utilizou-se, também, de uma matriz de correlação e *clusters* obtidos a partir da técnica *Self organizing map* para analisar e interpretar dados de 2016 que foram extraídos para os 180 municípios da Macrometrópole, a fim de testar a aplicabilidade do modelo e delinear um panorama de sustentabilidade da região que serviu de unidade experimental. Apesar da indisponibilidade de dados para todos os municípios ter se apresentado como uma limitação para a construção da matriz, verificou-se que o modelo demonstrou viabilidade para as atividades de identificação e análise dos *trade-offs* do nexo. Com base na análise dos dados, foi percebida uma nova centralidade de municípios e relações de injustiça para a MMP. Trata-se de uma centralidade divergente ao acúmulo de capital por abranger municípios que sustentam o desenvolvimento humano e regional por

meio de uma maior concentração de infraestrutura verde que presta serviços ecossistêmicos que subsidiam o abastecimento de água, energia e alimentos. Porém, em termos de desenvolvimento humano, os mesmos municípios que foram classificados como provedores de recursos não contam com as mesmas oportunidades dos demais. Conclui-se, portanto, que a abordagem do nexo ainda continua sendo um desafio epistemológico e de gestão. Além disso, as intervenções e políticas de desenvolvimento sustentável da MMP precisam estar mais alinhadas às necessidades sociais apresentadas pelos municípios classificados como provedores, pois esses municípios são estratégicos em termos de conservação e provisão de elementos fundamentais à manutenção da vida na região macrometropolitana.

Palavras-chave: Desenvolvimento humano. Indicadores de sustentabilidade. Macrometrópole Paulista. Nexo entre água, energia e alimentos.

AMARAL, M. H. **The challenge of defining indicators to explore the sustainability of the water-energy-food nexus in the São Paulo Macrometropolis**. 2021. Dissertation - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Portuguese.

Abstract

The water-energy-food nexus (or just nexus) begins from the understanding that these three resources are connected by an interdependence relationship marked by trade-offs and synergies. Thus, the nexus approach can contributes to the optimization of the resources management by promoting the production of more while spending less. However, the lack of comprehensive analytical methodologies and instruments does not contribute to the development of more holistic and integrated perception of the social, environmental and economic dimensions involving the complexity of interdependence relationships. Therefore, this work aimed to propose a matrix of indicators based on the DPSEEA (WHO) framework to validate the structure as an instrument capable of exploring the sustainability of the nexus in complex urban systems, such as the São Paulo Macrometropolis (SPM). In order to define and systematize the indicators according to the meaning attributed to each of the axes of the DPSEEA framework, a non-systematic literature review was carried out and consultation of some of the country's domain information systems as well. It was also used a correlation matrix and clusters obtained from the Self organizing map technique to analyze and interpret data from 2016 that were extracted for the 180 municipalities of SPM, in order to test the applicability of the DPSEEA framework and outline a sustainability panorama of the region that served as an experimental unit. The lack of data for some municipalities was presented as a limitation for the construction of the matrix, but the framework demonstrated viability for the activities of identification and analysis of the nexus trade-offs. Based on the data analysis, a new centrality of municipalities and relations of Injustice for the SPM was perceived. It is a divergent centrality to the accumulation of capital because it encompasses municipalities that support human and regional development through a greater concentration of green

infrastructure that provides ecosystem services that subsidize the supply of water, energy and food. However, in terms of human development, the same municipalities that were classified as resource providers do not have the same opportunities as the others. It is concluded, therefore, that the nexus approach still remains an epistemological and management challenge. In addition, SPM's sustainable development interventions and policies need to be more in line with the social needs presented by municipalities classified as providers, as these municipalities are strategic in terms of conservation and provision of essential elements for maintaining life in the macrometropolitan region.

Keywords: Human development. São Paulo Macrometropolis. Sustainability indicators. Water-energy-food nexus.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
1.1. ORIGEM E EMERGÊNCIA DO NEXO 15
1.2. DESAFIOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS NA PESQUISA SOBRE INDICADORES DE NEXO 17
1.3. A (IN)SUSTENTABILIDADE DO NEXO NAS CIDADES 21
2. OBJETIVOS 23
2.1. OBJETIVO GERAL 23
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23
3. METODOLOGIA 24
3.1. O PROJETO MACROAMB 25
3.2. A MACROMETRÓPOLE PAULISTA 26
3.3. MANUSCRITO 1 29
3.3.1. 29
3.3.2. 30
3.4. MANUSCRITO 2 31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 34
4.1. MANUSCRITO 1 34
4.2. MANUSCRITO 2 49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
7. ANEXOS 93
7.1. ANEXO A 94
7.2. ANEXO B 97

CURRÍCULO LATTES 115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição dos indicadores utilizados na clusterização, por unidade de medida e fonte 31

LISTA DE TABELAS

MANUSCRITO 2

Tabela 1: Descrição dos indicadores utilizados neste estudo, suas medidas e fontes 57

Tabela 2: Ranking de municípios com maiores e menores áreas de cobertura vegetal em proporção às suas populações e desenvolvimento humano (Índice de Firjan) 64

Tabela 3: Ranking de municípios com as maiores e menores áreas de produção agropecuária em proporção às suas populações e desenvolvimento humano (Índice de Firjan) 64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma metodológico 25

Figura 2: Uso e ocupação da terra na MMP, por UGRHI 27

Figura 3: Distribuição do PIB municipal da MMP, por km² 28

MANUSCRITO 1

Figura 1: Representação esquemática do modelo FSPEEA (OMS) adaptado à abordagem do nexo 40

Figura 2: Matriz de correlação de Pearson para os indicadores de FM e S ... 43

MANUSCRITO 2

Figura 1: Quadro conceitual envolvendo IVA, SE e a abordagem do nexo à luz da justiça ambiental 55

Figura 2: Clusterização dos municípios do território da MMP por meio das variávies estudadas..... 61

Figura 3: Mapa temático dos municípios da MMP a partir da clusterização ... 62

Figura 4: Dispersão das variáveis relacionadas às condições de desenvolvimento humano na MMP 63

Figura 5: Dispersão de dados (por habitante) de acordo com o (a) total de terra para produção agropecuária e (b) cobertura vegetal na MMP 63

Figura 6: Dispersão de dados (por habitante) de acordo com o consumo total de eletricidade e água para irrigação e dessedentação animal na MMP 66

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA: Agência Nacional das Águas.

DAEE: Departamento de Águas e Energia Elétrica.

Datasus: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde.

FIMD: Firjan Index of Municipal Development (Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal).

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDH-M: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

IEA: International Energy Agency (Agência Internacional de Energia).

Inmet: Instituto Nacional de Meteorologia.

IVA: Infraestruturas verde e azul.

IWRM: Integrated Water Resources Management (Gerenciamento integrado de recursos hídricos).

MEA: Millenium Ecosystem Assessment (Avaliação Ecossistêmica do Milênio).

MMP: Macrometrópole Paulista.

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

OMS: Organização Mundial da Saúde.

PIB: Produto Interno Bruto.

PNUMA: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

Sabesp: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

SE: Serviços ecossistêmicos.

SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

WBCSD: World Business Council for Sustainable Development (Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável).

WEF: World Economic Forum (Fórum Econômico Mundial).

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação, estruturada no formato de artigos, segue as normas e diretrizes do Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (PPG-SP/FSP/USP) que foram estabelecidas pela Resolução CoPGr nº 7846, de 3 de outubro de 2019 e divulgadas pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da USP.

Inicialmente, o documento apresenta um referencial teórico sobre o tema abordado. Depois, as seções Objetivos e Metodologia descrevem os objetivos principal e específicos, o recorte territorial considerado como estudo de caso e instrumentos e técnicas empregados. Aqui, ainda foi comentado as principais inserções desta pesquisa no escopo de um projeto temático fomentado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo FAPESP nº 15/03804-9), intitulado Governança ambiental da macrometrópole paulista face à variabilidade climática. A seção Resultados e Discussão apesenta dois manuscritos resultantes desta pesquisa, sendo um capítulo de livro revisado pelos pares e aceito para publicação e um artigo que ainda segue em processo de avaliação pelo corpo editorial de uma revista de abrangência internacional. Considerações finais, última seção de texto, sintetiza os achados da pesquisa e aponta as limitações e contribuições para a academia e os tomadores de decisão do território. Por fim, têm-se as Referências bibliográficas e Anexos.

1. INTRODUÇÃO

Como a palavra nexo significa conexão, ligação ou vínculo, o nexo entre água, energia e alimentos (ou simplesmente nexo) pode ser interpretado como uma abordagem que se dedica à análise das relações de interdependência entre recursos junto às suas compensações (*trade-offs*), conflitos e sinergias (HOFF, 2011).

Por exemplo, o cultivo de alimentos para consumo humano requer água para irrigar e energia para colher e plantar. Na literatura do nexo, a alocação de dois recursos a favor de um terceiro é entendida como *trade-off*. Já o nexo enquanto um conflito pode ser justificado pelo fato de que a mesma quantidade de água e energia utilizada para cultivar os alimentos poderia estar subsidiando a geração de eletricidade ou a produção de beterraba, milho e cana-de-açúcar, que são as matérias-primas do etanol.

Entretanto, mesmo sendo possível amenizar esses *trade-offs* e conflitos por meio da otimização de pelo menos um dos três setores envolvidos na cadeia produtiva do nexo (DAEE, 2013), alguns trabalhos têm colocado em xeque a sustentabilidade da provisão de água, energia e alimentos devido ao aumento da demanda per capita que está associada às mudanças climáticas, urbanização e crescimento populacional e econômico (HUSSIEN; MEMON; SAVIC, 2017; GIATTI et al., 2016; WEF, 2011; HOFF, 2011; MEADOWS et al., 1972). Até 2030, é estimado um crescimento de cerca de 50% para a demanda para esses recursos em todo o globo (IEA, 2009; WBCSD, 2014; PNUMA, 2014).

Diante desse cenário de fortes pressões sobre os recursos, a saúde e o bem-estar de seres humanos e não-humanos podem ser desfavorecidos pelo comprometimento de alguns importantes serviços ecossistêmicos culturais e de regulação devido à superexploração da paisagem (OUTEIRO; VILLASANTE, 2013; MEA, 2005) e acesso desigual à água, energia e alimentos nos grandes centros urbanos de países em desenvolvimento (GIATTI et al., 2019; LOPES et al., 2017; SINISGALLI et al., 2015).

Sendo assim, territórios complexos e extremamente urbanizados como os da Macrometrópole Paulista (MMP) constituem-se de verdadeiros entraves aos tomadores de decisão envolvidos com a elaboração de políticas públicas

associadas ao abastecimento de água, energia e alimentos em quantidade e qualidade adequadas, pois trata-se de uma região que passou por uma situação de escassez hídrica e apesenta um elevado e desigual contingente populacional (GIATTI et al., 2016; DAEE, 2013).

1.1. ORIGEM E EMERGÊNCIA DO NEXO

A relação de interdependência entre água, energia e alimentos passou a ganhar notoriedade global devido à crise energética de 2007, quando o petróleo ficou mais caro e o aumento do preço dos alimentos foi motivo de preocupação entre os governos europeus (ALLOUCHE, 2011). Desde então, as agendas política e acadêmica passaram a incorporar o escopo do nexo em publicações acadêmicas (DALLA FONTANA et al., 2020; SARDOKIE; OWUSU, 2020; OPEJIN et al., 2020) e eventos de abrangência internacional que estão listados no Quadro 1 do Anexo A.

Em 2011, na cidade de Bonn, o governo alemão junto a instituições como OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) e o Banco Mundial organizou e patrocinou o primeiro grande evento sobre o nexo, a *Bonn 2011 Nexus Conference*, que serviu de preparação para a Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) do ano seguinte (LECKE et al., 2015).

O evento conferiu popularidade à abordagem do nexo e impulsos à oferta de incentivos financeiros como fonte de fomento a projetos de pesquisa que tratam o assunto (DALLA FONTANA et al., 2020; SARDOKIE; OWUSU, 2020; OPEJIN et al., 2020). Na plataforma *Web of Science*, por exemplo, o número acumulado de trabalhos que foram indexados com o termo *water-energy-food nexus* passou de 1 (2011) para quase 200, em 2017.

A *Bonn 2011 Nexus Conference* contou com mais de 500 convidados da sociedade civil organizada, da academia e dos setores público e privado para discutirem as potencialidades do nexo para o desenvolvimento de uma economia mais verde e sustentável, sob a perspectiva da segurança hídrica, energética e alimentar. O *background paper* do evento foi elaborado por Hoff (2011) e segue disponível para download gratuito na página do Stockholm Environment Institute (https://www.sei.org/publications/understanding-the-nexus/).

De acordo com Hoff (2011), o nexo deve ser analisado a partir de três princípios centrais: social, econômico e ambiental. O princípio social dedica-se a acelerar e universalizar o acesso a água, energia e alimentos, a fim de integrar os mais pobres; o econômico faz correspondências diretas com a ideia de produzir mais gastando menos; e o ambiental abrange os investimentos que garantem a provisão e manutenção de importantes serviços ecossistêmicos, que nada mais são do que os benefícios dos ecossistemas para as pessoas (água, polinização, ciclagem de nutrientes, controle de doenças e do clima, entre outros) (MEA, 2005).

Apesar de o nexo apresentar-se como uma abordagem promissora para a promoção da sustentabilidade social, ambiental e econômica dos sistemas produtores de água, energia e alimentos, autores de publicações mais recentes do que a de Hoff (2011) têm levantado questionamentos que variam desde a maneira como a abordagem tem sido explorada pela academia (DALLA FONTANA et al., 2020; ARTHUR et al., 2019; ALBRECHT et al., 2018) até as potencialidades, limitações e caráter inovador da abordagem (WICHELNS, 2017; ALLOCHE et al., 2015; BENSON et al., 2015; MULLER, 2015).

Nesse sentido, vários são os autores que admitem que o nexo entre água, energia e alimentos não é uma novidade para os produtores de alimentos e nem mesmo para a ciência (WICHELNS, 2017; ALLOUCHE et al., 2015; BENSON et al., 2015; MULLER, 2015), tendo em vista que as conexões entre os recursos e suas externalidades para a sociedade e o ambiente já haviam sido contempladas por outros modelos e publicações anteriores à da conferência de Bonn.

Para Wilchnes (2017), a popularidade conferida ao nexo de 2011 pode ser justificada pelo insucesso da aplicação de outras abordagens que têm por base a gestão integrada de recursos, como o modelo IWRM[1] (*Integrated Natural Resource Management*), além da não resolução de problemas sociais e ambientais complexos como a pobreza e escassez de recursos essenciais à manutenção da vida e equilíbrio dos ecossistemas.

---

[1] O modelo IWRM, assim como o nexo, é uma abordagem que também faz referência à interdependência entre recursos, tendo a água como um elemento central; entretanto, diferentemente do modelo IWRM, o ponto de partida do nexo não precisa ser necessariamente a água.

Wilchnes (2017) ainda admite que a inserção das mudanças climáticas na abordagem conceitual proposta por Hoff (2011) também tem contribuído com a emergência e popularidade do nexo em evidência. Porém, como a mudança do clima configura-se como um importante *driver* de pressão sobre a água – que é elemento central do nexo -, Allouche et al. (2015) afirmam que as mudanças climáticas deveriam receber maior notoriedade e espaço na pesquisa sobre o nexo.

O nexo também tem sido percebido pela comunidade acadêmica como um termo em construção, tendo em vista as variações na ordem dos recursos e inserção e/ou retirada de outros. Shi et al. (2020) analisaram o nexo entre água, energia, alimentos e ecologia, enquanto que Benites-Lazaro et al. (2020) entre terra, água e alimentos. Uma metodologia para contextualizar o nexo entre água, energia, alimentos e ecossistemas foi proposta em uma publicação recente das Nações Unidas (2018). Assim como as Nações Unidas, Hanes et al. (2018) também entendem que é preciso incluir a natureza como um quarto elemento, pois é ela quem fornece a infraestrutura necessária para a garantia de serviços ecossistêmicos de provisão e regulação que interferem na oferta de bens fundamentais como água, energia e alimentos.

Revisões sistemáticas também têm colocado em evidência as limitações e potencialidades das metodologias e ferramentas empregadas para o desenvolvimento de modelos de governança mais sofisticados (URBINATTI et al., 2020a; URBINATTI et al., 2020b; DALLA FONTANA et al., 2020; ARTHUR et al., 2020; ALBRECHT et al., 2018). Os autores desses estudos perceberam que há uma certa predominância de métodos quantitativos sobre os qualitativos tanto a nível global (ALBRECHT et al., 2018) quanto sul global (FONTANA et al., 2020). De acordo com Albrechet et al. (2018), essa priorização de um método sobre o outro pode estar contribuindo para uma percepção menos holística dos aspectos físicos e sociais dos *trade-offs* que são provocados pela interdependência dos sistemas produtores.

1.2. DESAFIOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS NA PESQUISA SOBRE INDICADORES DE NEXO

A falta de dados e inconsistência na divulgação da informação para os setores que integram o nexo também foram apontadas como uma limitação de pesquisa de algumas das 73 publicações revisadas por Albrechet et al. (2018). Stucki e Sojamo (2012), ao estudarem a segurança do nexo entre água e energia na Ásia Central, verificaram que a maior parte da informação referente aos indicadores analisados foi obtida a partir de documentos produzidos fora da academia (literatura cinza) e não de fontes oficiais do governo; sob essa circunstância, a indisponibilidade de informação de fonte oficial observada para a região – principalmente para a qualidade da água – limitou a comparação dos países desse recorte territorial. Já Strasser et al. (2016) verificaram que a falta de padrão para a divulgação de dados a nível de bacia hidrográfica configurou-se como um fator limitante para a obtenção de mais resultados promissores para o desenvolvimento da pesquisa.

Essa carência de dados a respeito da qualidade de água, por exemplo, nos leva a acreditar que a setorialização da informação atribuída aos setores ao longo dos anos pode estar contribuindo para o não desenvolvimento de novos indicadores com unidades de medida que se dedicam para além do fluxo da alocação de recursos.

Nesse sentido, uma outra revisão sistemática crítica do ponto de vista dos indicadores, Arthur et al. (2019) analisaram e categorizaram os indicadores que têm sido contemplados nos estudos sobre o nexo como indicadores de fluxo, de eficiência e de impacto ambiental.

Indicadores de fluxo correspondem ao fluxo entre dois ou mais recursos interdependentes, ou seja, esses indicadores mensuram a quantidade total de recursos diretos ou indiretos alocados durante uma certa atividade. Indicadores de eficiência correspondem à quantidade de entrada e de saída dentro da lógica de cada sistema, como a quantidade (Kg) de fertilizante por hectare de lavoura colhida. Já os de impacto ambiental são os parâmetros que abrangem os efeitos adversos (externalidades) de cada sistema sobre a saúde ou o meio ambiente, desde a emissão de gases de efeito estufa e seus efeitos sobre as doenças respiratórias até mesmo a escassez de recursos provocada pela demanda (ARTHUR et al., 2020).

Sob a perspectiva da escassez hídrica, indicadores de consumo de água tratada serviram para subsidiar as críticas de alguns autores que discutiram o

gerenciamento do nexo e dos recursos hídricos na região macrometropolitana (GIATTI et al., 2016; CÔRTES et al., 2015); e assim como esses pesquisadores, os gestores públicos também têm experimentado o uso de outros indicadores como uma importante e poderosa ferramenta para contribuir com o diagnóstico, planejamento e desenvolvimento de estratégias para outros setores como os de alimentos e energia.

Quanto ao diagnóstico da demanda por energia elétrica no estado de São Paulo, a análise de indicadores de consumo permitiu identificar que houve um aumento de 1,9% em 2017 (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO, 2018), cerca de duas vezes mais do que o crescimento observado para o país nesse mesmo período (EPE, 2018). Em relação à produção agrícola, foi observado um aumento de mais de 90% entre 1990 e 2012 em todo o estado (FAPESP, 2018).

Na literatura, várias são as definições disponíveis para indicador (VAN BELLEN, 2002; MEADOWS, 1998; GALLOPÍN, 1997), mas para a OECD (1993), trata-se de "*um parâmetro, ou um valor derivado de parâmetros, que aponta para/oferece informações sobre/descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, com um significado que estende além daquele diretamente associado a um valor de parâmetro*".

Muitas das vezes, os indicadores são selecionados a partir de processos participativos e tomadores de decisão e pesquisadores constituem-se de um público comumente selecionado para a definição de medidas prioritárias e de interesse para um determinado propósito. Como exemplo de um processo participativo para a definição de indicadores, pode-se citar a experiência de Magalhães Júnior (2003) que considerou um painel de especialistas para avaliar a gestão das águas no Brasil.

Mesmo com tanto reconhecimento da comunidade acadêmica sobre a contribuição dos indicadores para o gerenciamento dos trade-offs entre recursos (ARTHUR et al., 2019), a revisão de Albrecht et al. (2018) revelou que apenas 18 das 73 publicações analisadas exploraram o assunto a partir de indicadores.

Além disso, essa mesma revisão sistemática apontou que ainda não há metodologias específicas para abordar indicadores na perspectiva do nexo. Sendo assim, torna-se relevante o desenvolvimento de estudos capazes de promover instrumentos de análise de abordagem interdisciplinar, a fim de

atender às dimensões sociais, ambientais e econômicas da abordagem conceitual do nexo apresentada na publicação de Hoff (2011).

No campo da saúde pública, os sanitaristas também enfrentam desafios epistemológicos parecidos, tendo em vista a (in)disponibilidade de informação, instrumentos e metodologias de abordagem interdisciplinar para estudarem as interfaces entre ambiente, sociedade e saúde humana.

Nesse sentido, em 1996, um grupo de trabalho da Organização Mundial da Saúde (OMS) desenvolveu o modelo FPSEEA (Força Motriz-Pressão-Situação-Exposição-Efeito-Ação) a partir da adaptação das estruturas PER (Pressão-Estado-Resposta) e PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta), que foram elaboradas pela OCDE e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) (OLIVEIRA, 2007). No modelo da OMS, foram incluídos novos eixos.

Enquanto uma estrutura de causa e efeito, o modelo FPSEEA trabalha a partir da sistematização de informações referentes às forças motrizes que geram pressões e provocam mudanças sobre a situação do ambiente; onde a saúde humana, por meio da exposição, experimenta os efeitos do espaço modificado. No entanto, se identificadas as causas, o modelo permite propor e avaliar ações mitigadoras para cada um dos eixos analíticos (KJELLSTROM; CORVALÁN, 1995).

Trata-se, portanto, de um modelo muito semelhante às estruturas PER e PEIR. Porém, o modelo FPSEEA da OMS confere destaque à saúde por trata-la como um elemento central entre exposições e efeitos, bem como enquanto um objetivo de gestão integrada desde forças motrizes, pressões e mudanças ambientais que são caracterizadas em sentido de causalidades.

Diferentes autores que fizeram uso da estrutura registraram experiências interessantes a partir dos resultados obtidos. Gentry-Shields e Bartram (2013) destacaram a possibilidade de poder identificar as forças motrizes e ações por trás das doenças provocadas pela água. Araújo-Pinto et al. (2014) verificaram que a maioria das ações desenvolvidas junto aos trabalhadores rurais expostos aos agrotóxicos deixam de focar em níveis mais superiores da matriz (forças motrizes e pressão), que são os mais adequados para a redução dos danos. Já Maria et al. (2019) apresentaram tipologias de saúde ambiental para a RMSP.

Porém, mesmo diante de tantos resultados promissores, outros autores (SOBRAL; FREITAS, 2010) chamam a atenção para as possíveis limitações que o modelo pode apresentar, pois não se trata de uma abordagem suficiente o bastante para compreender toda a complexidade por trás do processo saúde-doença.

Sendo assim, considerando o modelo FPSEEA e a falta de metodologias e instrumentos específicos para explorar o nexo, algumas questões nortearam o desenvolvimento desta pesquisa: quais são as potencialidades e limites do modelo da OMS para identificar trade-offs ao incorporar informações sobre o nexo? E diante de um território inserido em um processo de urbanização predatório e caótico, de que forma os *trade-offs* das pressões sobre os sistemas produtores da cadeia produtiva do nexo implicam sobre as condições de vida?

1.3. A (IN)SUSTENTABILIDADE DO NEXO NAS CIDADES

De um modo geral, abordagens emergentes e inovadoras (ou não) como as do nexo vêm para demonstrar que as soluções para muitos dos desafios de sustentabilidade enfrentados pelas grandes cidades (VARDOULAKIS; KINNEY, 2019; GIATTI et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2019; HESPANHOL, 2018; FAVARO et al., 2016) estão na não segregação dos saberes especializados (FONTANA et al., 2020; ARTHUR et al., 2019; ALBRECHT et al., 2018) e no reconhecimento das relações de interdependência e seus *trade-offs* entre os diferentes setores envolvidos (JACOBI; GIATTI, 2017).

Essa compreensão mais holística das coisas permite o desenvolvimento de intervenções capazes de conferir racionalidade e sustentabilidade à tomada de decisão no âmbito dos grandes contextos urbanos, contribuindo, assim, com a redução das iniquidades e a criação de mais com menos. Entretanto, o não alinhamento das necessidades sociais com as políticas de planejamento territorial de territórios desiguais e complexos como os da região macrometropolitana externaliza conflitos, injustiças e escassez (TORRES et al., 2019; FAVARO et al., 2016; GIATTI et al., 2016).

Por exemplo, o pragmatismo político e tecnocrata de buscar água cada vez mais longe se apresenta como uma verdadeira contradição ao nexo para a MMP; pois, muitas vezes, gasta-se energia para a alocação do recurso quando

se tem outros corpos d'água mais próximos que estão em situação de desuso pela negligência histórica. Como exemplos, têm-se os casos da represa Billings e do rio Tietê, ambos localizados na cidade de São Paulo, que poderiam estar servindo para pesca, produção ou geração de energia durante a crise hídrica de 2014-2015 se não estivessem contaminados pelo processo de urbanização provocado pela atual lógica desenvolvimentista.

Em relação à injustiça ambiental, que faz referência à distribuição desigual de recursos e danos ambientais entre as pessoas (ALIER, 2007), o modelo de desenvolvimento de regiões metropolitanas e grandes cidades pode privar de municípios e pessoas de dispor de melhores condições de vida. Na RMSP, alguns municípios categorizados como provedores de recursos hídricos detém os piores indicadores de educação, saúde e emprego e renda (FAVARO et al., 2016). Nas periferias de Guarulhos e Belo Horizonte, a carência de feiras-livres e supermercados têm colocado em risco a segurança alimentar dos menos favorecidos (GIATTI et al., 2019; LOPES et al., 2017), configurando-se, também, como mais um tipo de contradição e insustentabilidade do nexo por aumentar a demanda de energia na busca por alimentos frescos e saudáveis. Esses eventos divergentes à estrutura conceitual do modelo proposto por Hoff (2011), que busca integrar as dimensões sociais, ambientais e econômicas do nexo, colocam em evidência a insustentabilidade e lacunas que precisam ser preenchidas pelas políticas de desenvolvimento regional e sustentabilidade dos sistemas urbanos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Propor e validar uma matriz de indicadores baseada no modelo FPSEEA da OMS, a fim de oferecer à comunidade científica e aos tomadores de decisão um instrumento capaz de explorar os aspectos relativos à (in)sustentabilidade do nexo entre água, energia e alimentos no território da MMP.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Para cada um dos seis eixos da matriz, propor indicadores, contribuindo, dessa maneira, com informações de relevância para o desenvolvimento e edição de políticas públicas mais abrangentes e intersetoriais da MMP;

- Analisar os indicadores selecionados e discutir as implicações dos *trade-offs* em termos de desenvolvimento humano;

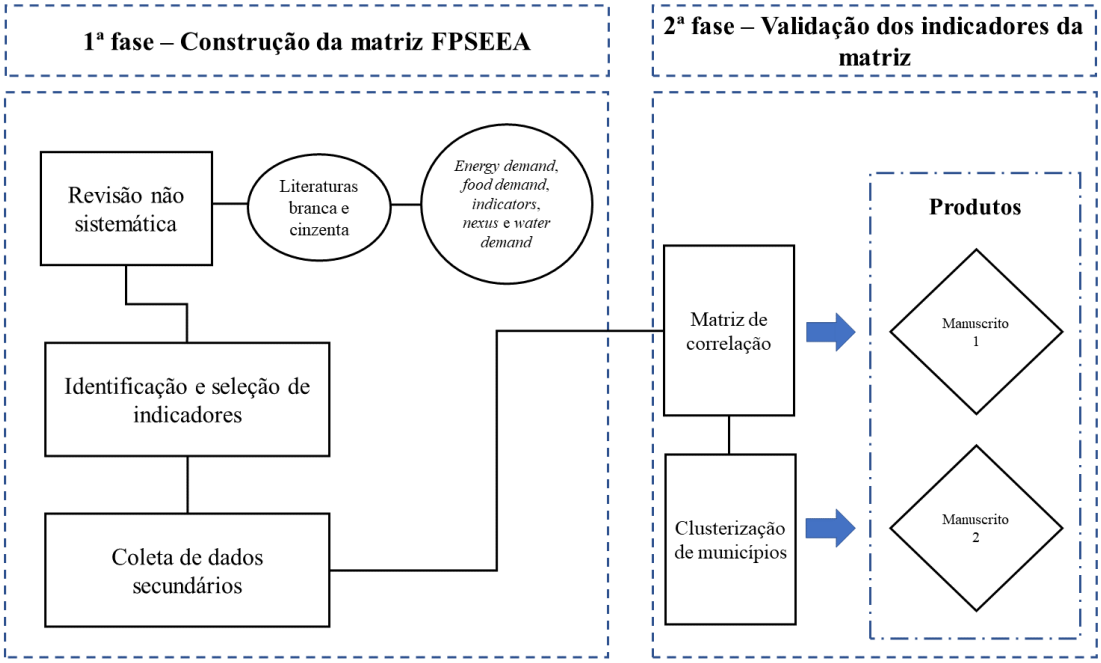
- Delinear um panorama de sustentabilidade que parte do entendimento de que todos municípios se relacionam como sistemas abertos com um elevado grau de interdependência.

3. METODOLOGIA

Conduzida no âmbito de um projeto intitulado Governança ambiental da macrometrópole paulista face à variabilidade climática (MacroAmb) (Processo FAPESP nº 15/03804-9), esta dissertação de mestrado foi desenvolvida a partir de uma revisão não sistemática das literaturas branca e cinzenta, consulta a alguns sistemas de informação de domínio público do país e uso de técnicas de análise estatística descritiva e inferencial. Portanto, trata-se de um estudo do tipo qualiquantitativo que utilizou a região macrometropolitana como unidade experimental de análise. Como produtos, têm-se dois manuscritos que foram avaliados pelos pares.

O fluxograma metodológico da Figura 1 sistematiza e descreve as duas etapas deste estudo.

Figura 1 – Fluxograma metodológico.



Fonte: elaborado pelo autor (2021).

Seguindo as diretrizes da Resolução CoPGr nº 7846, de 3 de outubro de 2019, este trabalho passou por apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da FSP/USP e foi aprovado com o parecer de nº 3.893.301.

3.1. O PROJETO MACROAMB

Apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e estruturado a partir de cinco subprojetos, esse projeto temático tem o propósito de fornecer subsídios para a construção de uma agenda inovadora que seja capaz de integrar as diferentes interfaces da governança ambiental da MMP, num forte contexto de vulnerabilidade climática, escassez de recursos e degradação ambiental.

Quanto à dinâmica de interação entre esses subprojetos, o subprojeto 1 apresenta-se como o núcleo conceitual da proposta e possibilita um processo de retroalimentação entre os demais subprojetos. Sendo assim, os métodos e resultados apresentados nesta dissertação de mestrado ainda poderão ser amplamente explorados e otimizados durante o tempo de execução do projeto temático, que está previsto para ser encerrado em 2022. Os cinco subprojetos que conferem estrutura ao temático são:

1. Governança de saneamento ambiental e análises das vulnerabilidades na Macrometrópole Paulista;
2. Territorialidades, espacialidades e inovação na governança ambiental;
3. A abordagem dos serviços ecossistêmicos na dinâmica da governança ambiental;
4. Governança das questões energéticas no contexto da Macrometrópole Paulista;
5. Evolução da urbanização da cidade de São Paulo e seu impacto nos padrões atmosféricos da região: simulações numéricas do clima presente e futuro.

Esta dissertação de mestrado está inserida nos objetivos e perspectivas do subprojeto 1, que buscam para além de outras coisas, identificar e analisar

indicadores institucionais, de vulnerabilidade socioambiental, de saúde e de sustentabilidade da MMP.

As atividades do grupo, que é composto por mais de 100 pesquisadores com vínculo em diferentes instituições como a Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do ABC (UFABC) e Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), iniciaram-se em 2017 e têm previsão de conclusão em 2022. Dentre as práticas de pesquisa estão incluídos diálogos com gestores públicos e eventos abertos à comunidade em geral. As atualizações e produtos podem ser consultados nas redes sociais e na plataforma digital do projeto na internet (http://pesquisa.ufabc.edu.br/macroamb/).

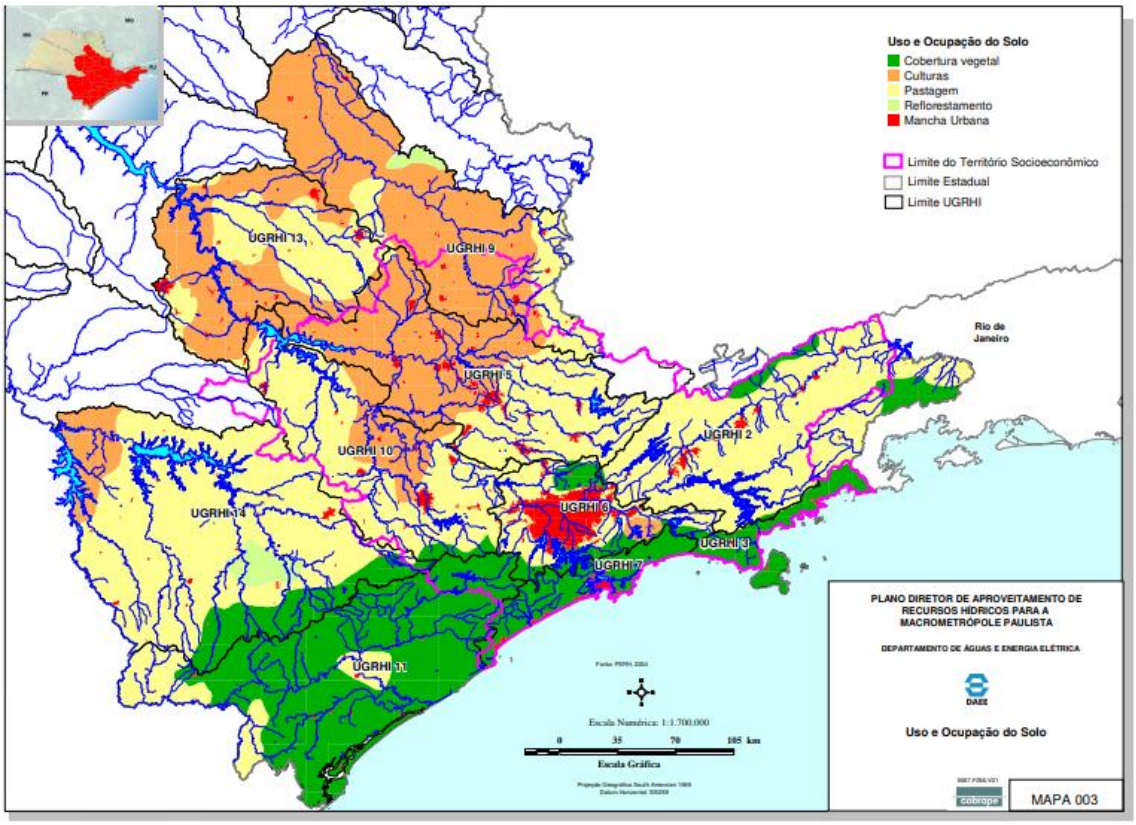
3.2. A MACROMETRÓPOLE PAULISTA

Com mais de 30 milhões de habitantes distribuídos em 180 municípios que juntos respondem por 28% do PIB nacional e uma área de quase 53 mil km², a MMP configura-se como o maior aglomerado urbano do hemisfério sul. Trata-se de um recorte territorial que agrega cinco regiões metropolitanas (São Paulo, Campinas, Baixada Santista, Sorocaba e Vale do Paraíba), duas aglomerações urbanas (Jundiaí e Piracicaba) e nove unidades de gerenciamento de recursos hídricos (UGRHIs). Uma das UGRHIs que integram a MMP é a das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (UGRHI PCJ), que possui quatro municípios mineiros responsáveis por contribuírem substancialmente com o abastecimento de água do maior reservatório da região, o Sistema Cantareira (DAEE, 2013). Entre os anos de 2014 e 2015, em meio à uma crise hídrica severa que foi provocada pelo longo período de estiagem, o Cantareira operou em seu volume morto e colocou em evidência a sua vulnerabilidade quanto à ameaça das mudanças climáticas.

Do ponto de vista ambiental, a região macrometropolitana abriga cerca de 20 mil km² de cobertura vegetal, dividida entre florestas plantadas para fins comerciais e patrimônio ambiental protegido por leis estaduais e federais. A MMP encontra-se numa região do país onde os índices de desenvolvimento humano costumam ser altos, mas mesmo apresentando um PIB elevado e uma extensa malha de empreendimentos de agronegócio e prestadores de serviços, a

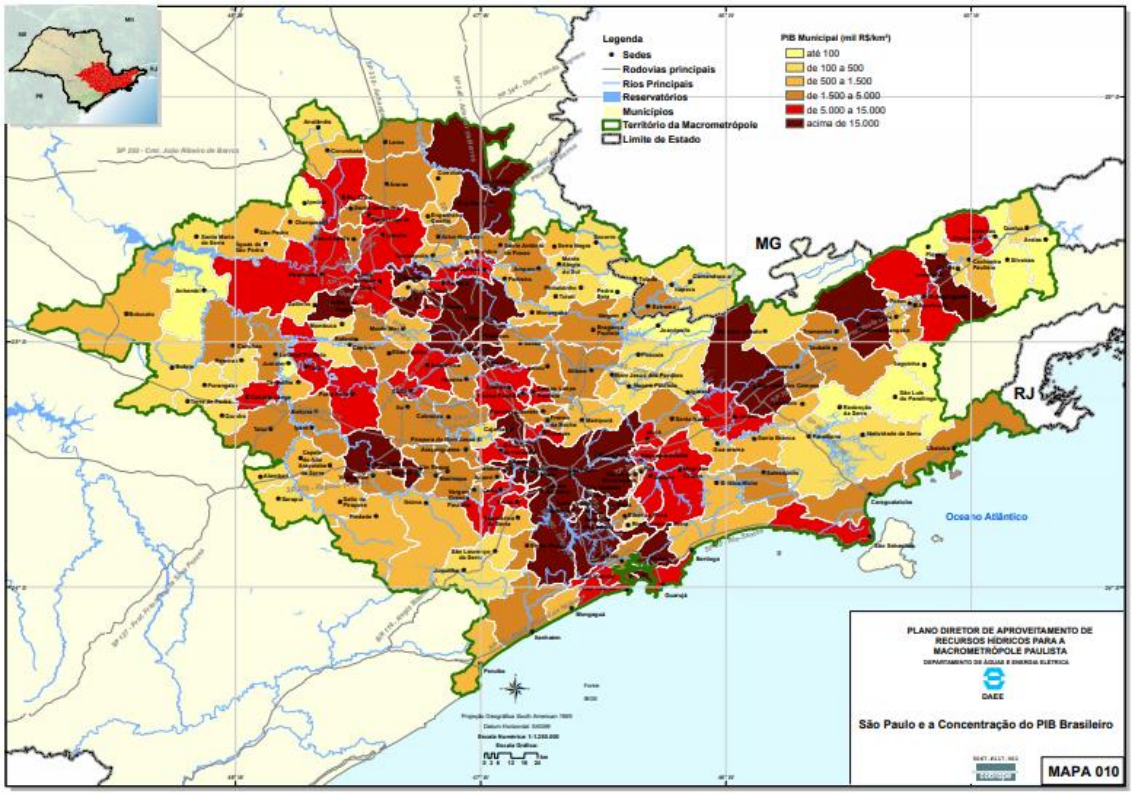
Macrometrópole é um território desigual por somar mais de dois milhões de pessoas em situação de vulnerabilidade em relação às precárias condições de habitação (CANIL et al., 2020; TAVARES et al., 2018) e acesso inadequado a recursos como água, energia e alimentos (VICTOR et al., 2018). As Figuras 1 e 2 mostram, respectivamente, um panorama geral sobre o uso da terra na MMP e a distribuição espacial do PIB municipal por km².

Figura 2 – Uso e ocupação da terra na MMP, por UGRHI.



Fonte: DAEE (2013).

Figura 3 – Distribuição do PIB municipal da MMP por km².



Fonte: DAEE (2013).

Apesar de ainda não ser regulamentada por lei, a MMP segue inserida em um amplo debate acadêmico e político dedicado à sua definição enquanto um objeto teórico-conceitual e unidade de planejamento. Para Tavares (2018), a origem dessa nova escala territorial se justifica pela busca da interiorização do desenvolvimento a partir de modelos de produção menos centralizados na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

Atualmente, a MMP é entendida como uma cidade-região (ZIONI et al., 2018) e conta com importantes instrumentos de política pública recentes que foram elaborados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e Empresa Estadual Paulista de Planejamento Metropolitano (Emplasa). O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Macrometrópole (DAEE, 2013), dentre tantos outros objetivos, buscou mensurar a capacidade de fornecimento de água da atual infraestrutura macrometropolitana para os setores de alimentos e energia. O documento apresentou recomendações orientadas por projeções de crescimento populacional e de demanda hídrica para o ano de 2035 (DAEE, 2013). A Emplasa divulgou uma carteira de projetos para o desenvolvimento

regional e sustentável da MMP, o Plano de Ação da Macrometrópole Paulista (PAM) 2013-2040 (EMPLASA, 2014). De um modo geral, o PAM pode ser interpretado como uma ferramenta de longo prazo que busca conferir suporte à implementação de políticas e ações de governo com um conjunto de metas e resultados esperados em 2040.

Diante do exposto, a região macrometropolitana se apresenta como um território ainda não institucionalizado, complexo, desigual e interdependente, onde a água, que é um elemento central ao nexo, constitui-se de um recurso disputado e ameaçado pelas mudanças climáticas, tendo em vista a severa crise hídrica enfrentada pela região nos anos de 2014 e 2015 e seus *trade-offs* por importar água de outro estado (VICTOR et al., 2018).

3.3. MANUSCRITO 1

3.3.1. IDENTIFICAÇÃO DE INDICADORES

Esta etapa da pesquisa, cujo produto foi o manuscrito 1, teve o objetivo de construir a matriz de indicadores e validar parte de sua estrutura. Para isso, procedeu-se com a seleção e sistematização dos indicadores de acordo com a complexidade de cada um dos eixos do modelo FPSEEA (OMS) e teste de correlação entre alguns eixos da matriz com os dados secundários coletados. Essas atividades iniciaram-se com uma revisão não sistemática das literaturas branca e cinzenta e consulta a alguns dos sistemas de informação do país, a fim de aprofundar os conhecimentos sobre a temática e os principais desafios de sustentabilidade para os sistemas produtores de água, energia e alimentos da MMP.

Nessa revisão, foram considerados os relatórios de sustentabilidade de empresas de capital aberto e de economia mista (Sabesp) dos municípios da MMP, *reports* de organizações do terceiro setor amplamente divulgados pela mídia e publicações acadêmicas indexadas nas bases Scielo, Scopus e Web of Science com os descritores *energy demand*, *food demand*, *indicators*, *nexus* e *water demand.*

Com base nos conhecimentos adquiridos com a revisão sobre a origem e implicação dos *trade-offs* provocados pelas interdependências dos setores que integram a cadeia do nexo nas escalas local, municipal, regional e gobal e diálogos informais com membros do grupo de pesquisa Macroamb e o próprio orientador, foram selecionados indicadores e extraídos dados para os 180 municípios da região macrometropolitana capazes de expressar uma cadeia de causalidades aplicável ao modelo FPSEEA e ao contexto de urbanização e desenvolvimento do território macrometropolitano, que está imerso em um cenário marcado pela escassez de recursos como água, energia e alimentos, injustiça ambiental e mudanças climáticas.

Os sistemas de informação que subsidiaram a construção desse banco de dados em planilha eletrônica estão inseridos no sítio eletrônico da Agência Nacional das Águas (ANA), Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos (Fundação Seade), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS/Datasus), Sistema Firjan e MapBiomas.

Aporte conceitual ao modelo da OMS

O modelo FPSEEA, composto pelos eixos Força Motriz (FM), Pressão (P), Situação (S), Exposição (Ex), Efeito (E) e Ação (A) foi elaborado por uma equipe técnica da OMS e divulgado em 1995. Como uma estrutura de causa e efeito amplamente utilizada para contextualizar indicadores de saúde ambiental e de sustentabilidade, o modelo destaca-se pela sua flexibilidade e capacidade de identificar e analisar fatores macrodeterminantes associados às mudanças socioambientais que pressionam e alteram o estado físico das coisas e do ambiente, expondo a saúde humana a efeitos negativos adversos. A estrutura ainda permite que ações sinérgicas entre cada um de seus seis eixos sejam sugeridas.

3.3.2. VALIDAÇÃO DA MATRIZ DE INDICADORES

Utilizou-se o teste de correlação de Pearson, também conhecido como correlação linear ou r de Pearson para elaborar uma matriz de correlação. O teste de correlação e Pearson é um método utilizado para medir as relações entre variáveis e o que elas representam. Trata-se de um valor que pode variar de -1 a +1, sendo que, quanto mais próximo de 0, menor é a relação entre as duas variáveis analisadas.

A partir disso, dados de 2016 dos indicadores categorizados como Força Motriz (FM) e Situação (S) foram extraídos para cada um dos 180 municípios da Macrometrópole, submetendo-os a uma matriz de correlação com grau de significância de 5%. Entretanto, na falta de informações mais recentes para alguns desses indicadores, foram considerados dados de 2010 referentes ao último censo demográfico do IBGE.

3.4. MANUSCRITO 2

Com o intuito de explorar as injustiças em termos de desenvolvimento humano face ao abastecimento e produção de água, energia e alimentos na MMP, este artigo classificou e comparou os 180 municípios da região como perdedores e ganhadores a partir de clusters. Para formar esses clusters, utilizou-se alguns dos dados coletados para subsidiar a matriz FPSEEA. Esses são de 2016 e correspondem a 19 indicadores que foram descritos no Quadro 1.

Esse conjunto de indicadores selecionados para essa segunda etapa do estudo permite realização de comparações intermunicipais a partir dos níveis de desenvolvimento humano, *trade-offs* da produção agropecuária e cobertura vegetal (infraestrutura verde) que contribui com a provisão de SE hídricos na região. O significado atribuído ao conceito de desenvolvimento humano foi baseado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento Humano (PNUD, 1990).

Quadro 1 – Descrição dos indicadores utilizados na clusterização, por unidade de medida e fonte.

Indicador	Medida	Fonte

Desenvolvimento humano		
Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (consolidado)	0 a 1	Sistema Firjan
Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (educação)		
Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (emprego e renda)		
Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (saúde)		
Índice Municipal de Desenvolvimento Humano (IDH-M)	0 a 1	IBGE
Taxa de internação por desnutrição	A cada 100 mil hab.	Datasus
Taxa de internação por doenças diarreicas agudas		
PIB per capita	Em mil reais	IBGE
População total		IBGE
IVA e nexo		
Hectares de cobertura vegetal	ha	MapBiomas
Hectares de cobertura vegetal por habitante	ha/hab.	MapBiomas; IBGE
Hectares de produção agropecuária	Há	IBGE
Hectares de produção agropecuária por habitante	ha/hab.	IBGE
Total de energia elétrica consumida	kWh	Secretaria de Energia e Mineração do estado de São Paulo
Total de energia elétrica consumida por habitante	kWh/hab.	Secretaria de Energia e Mineração do estado de São Paulo; IBGE
Vazão de água consumida para dessedentação animal	l/s	ANA
Vazão de água consumida para dessedentação animal por habitante	l/s/hab.	ANA; IBGE
Vazão de água consumida para irrigação	l/s	ANA
Vazão de água consumida para irrigação por habitante	l/s/hab.	ANA; IBGE

Fonte: elaboração própria (2020).

Identificação dos clusters

Considerando os dados extraídos de sistemas de informação de domínio público do país para os indicadores listados no Quadro 1, a clusterização dos municípios da MMP foi feita com o apoio do software LabSOM por meio da técnica *Self organizing-map,* que também é conhecida por redes de Kohonen. Trata-se de uma técnica baseada em algoritmos de rede neural de aprendizagem não supervisionada (KOHONEN, 1982).

Desenvolvido por Teuvo Kohonen, em 1982, este algoritmo corresponde a um mapa auto-organizável (*Self organizing map*, da sigla SOM, em inglês) que organiza e sistematiza os padrões de uma grande quantidade de dados complexos e desconhecidos, baseando-se pelas relações estabelecidas entre eles mesmos (KOHONEN, 1982). Portanto, essa técnica permite uma projeção não linear de uma variedade de dados de grande dimensão em uma grade de baixa de duas dimensões, que representa o entendimento das relações de similaridade e estruturas de cluster dentro de um amplo conjunto de dados (BENITES-LAZARO; ANDRADE , 2019).

Self organizing-map é uma técnica modelada como grade hexagonal bidimensional, onde cada hexágono representa um neurônio artificial e um local para mapeamento de pontos de dados (VILLASENOR et al., 2017). Para este estudo, primeiro normalizamos os dados e depois treinamos o modelo por meio de redes neurais com 64 neurônios de 19 variáveis para os 180 municípios. Usamos o algoritmo de agrupamento de Ward para gerar um mapa de auto-organização e resultados de agrupamento (WARD, 1963).

O mapa auto-organizado final foi o resultado do processo de treinamento interativo da rede neural. A rede aprendeu a projetar padrões semelhantes em hexágonos de localização próxima no mapa (BENITES-LAZARO; ANDRADE, 2019). Com base nos resultados do LabSOM que agrupou os municípios da Macrometrópole, também foi feita uma análise descritiva dos dados referentes ao desenvolvimento humano, à infraestrutura verde e à quantidade de terra e água destinadas à pecuária e à produção de alimentos por meio de tabelas e gráficos boxplot criados em Software R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. MANUSCRITO 1

Capítulo aprovado para publicação no livro Ordenamento e Governança da Macrometrópole Paulista: desafios de pesquisa interdisciplinar sobre complexidade territorial. O livro, organizado pelo Projeto MacroAmb e Observatório das Metrópoles Núcleo São Paulo será publicado em formato digital pela Editora Letra Capital.

O nexo água-energia-alimentos em municípios: análise de *trade-offs* a partir do modelo FPSEEA da OMS

Mateus Henrique Amaral; Lira Luz Benites-Lazaro; Leandro Luiz Giatti

1. Considerações iniciais

Diante do desafio de analisar uma grande quantidade de dados que evidenciam fenômenos e eventos complexos de um território, os indicadores se apresentam como ferramentas capazes de facilitar a síntese de informações mais relevantes e a comunicação entre diferentes atores sociais. Nesse sentido, indicadores constituem-se de elementos fundamentais aos processos decisivos da gestão e do planejamento (BRASIL, 2011; MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Além disso, os indicadores também podem contribuir com a democratização do conhecimento e avaliação da (in)efetividade de políticas públicas e seus desdobramentos, permitindo a instituição de sistemas de governança (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007).

Dentre as diferentes definições atribuídas ao conceito de indicador (BRASIL, 2011; MAGALHÃES JÚNIOR, 2007; JANNUZZI, 2005; MERCHÁN-HAMANN; TAUIL; COSTA, 2000), cuja etimologia da palavra faz referência ao termo em latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar, admite-se a existência de um senso comum quanto às suas potencialidades, limitações e ao entendimento de que as suas medidas podem apresentar dimensões qualitativas ou quantitativas; sendo os valores dessa última categoria

o resultado de operações estatísticas que consideram em sua metodologia um conjunto de dados ou variáveis.

Contudo, o potencial dos indicadores quantitativos enquanto ferramenta de gestão e planejamento passou a ser reconhecido quase que no fim da década de 1940, depois que o produto interno bruto, um importante indicador macroeconômico, consolidou-se como uma medida para avaliar progresso e comparar a economia de distintos países. Por outro lado, indicadores sociais e ambientais começaram a ser explorados somente após o ano de 1960, quando ganharam corpo científico em função das transformações e pressões impulsionadas por conferências internacionais e premissas universais de equidade e de controle social (BRASIL, 2011; MAGALHÃES JÚNIOR, 2007; JANNUZZI, 2005).

Diante disso, algumas organizações internacionais e países dedicaram-se à tarefa de elaborar modelos de organização de indicadores para o desenvolvimento sustentável, a fim de monitorar e compreender as associações estabelecidas entre o ambiente, a saúde humana e as condições de vida das populações; e como exemplos, têm-se os modelos PER (Pressão-Estado-Resposta), da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico; PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta), do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma); e FPSEEA (Força Motriz-Pressão-Situação-Exposição-Efeito-Ações), que foi elaborado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) junto ao Pnuma e à Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Usepa) (BRASIL, 2011). Esse modelo, que como os anteriores citados encadeia uma análise em lógica de causalidade, se destaca por colocar em evidência a saúde humana, incorporando indicadores de população exposta a riscos ambientais e ações direcionadas à saúde em distintos níveis das supostas cadeias causais.

Quanto à usabilidade desses modelos, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística destacou-se pelo pioneirismo ao fazer o uso da abordagem conceitual da estrutura PEIR durante o processo de construção de indicadores de sustentabilidade; que são divulgados, desde 2002, em versões atualizadas da publicação intitulada *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável* (IBGE, 2015; BRASIL, 2011). Alguns autores têm se dedicado a aplicar o modelo FPSEEA da OMS para analisar territórios e sustentabilidade, como no caso dos

estados componentes da Amazônia Legal brasileira (FREITAS; GIATTI, 2010, 2009). Já Maria e Slovic (2018) aplicaram o mesmo modelo em sua metodologia a municípios da Macrometrópole Paulista (MMP) desenvolvendo tipologias de saúde ambiental.

1.1. Desafios e oportunidades da pesquisa sobre o nexo entre água, energia e alimentos

Porém, mesmo com tantos esforços, a setorialidade prevalece em muitos dos indicadores e nos modelos de organização já consolidados pela academia e por instituições internacionais. Isso não têm contribuído o suficiente com desafios ambientais emergentes e complexos, como é o caso do nexo entre água, energia e alimentos; cujo entendimento parte do princípio de que esses três recursos estão conectados por relações de interdependência, marcadas por *trade-offs* (compensações) e sinergias (HOFF, 2011).

Os resultados de revisões sistemáticas recentes sobre o nexo apontam para a necessidade de se desenvolver novos indicadores e métodos de pesquisa (ARTHUR et al., 2019; ALBRECHT et al., 2018), com o propósito de contribuir com a otimização das políticas intersetoriais que visam reduzir as pressões sobre esses três recursos, que são tão fundamentais para a manutenção da vida e o desenvolvimento das cidades.

Assim, vários são os trabalhos que elaboraram e testaram diferentes métodos para explorar o nexo e seus *trade-offs* na perspectiva dos indicadores. No Equador, Roibás et al. (2015), por exemplo, fizeram uso da pegada ecológica para identificar e mensurar as diferenças das demandas hídrica e energética na cadeia produtiva de bananas orgânicas e não-orgânicas. Scott (2011), Keskinen et al. (2015) e Karabulut et al. (2016) utilizaram a abordagem conceitual do nexo para analisar a gestão da água a partir de recortes diversos a nível regional, nacional e global. Outros autores elaboraram índices capazes de comparar a segurança do nexo entre países, tendo como perspectiva a Agenda 2030 (GIUPPONI; GAIN, 2016) e a produção de bioenergia (MOIOLI et al., 2016).

Do mesmo modo, na tentativa de também contribuirmos com a comunidade científica e com a intersetorialidade em políticas públicas, este capítulo tem o objetivo principal verificar se o modelo FPSEEA da OMS pode configurar-se como uma ferramenta alternativa para a identificação de *trade-offs*

associados ao nexo entre água, energia e alimentos, tendo o recorte territorial da MMP como unidade de análise para o desenvolvimento de um estudo de caso.

1.2. A Macrometrópole Paulista

Com quase 34 milhões de habitantes distribuídos em 180 municípios que ocupam uma área aproximada de 52 mil km^2, o recorte territorial definido como MMP se estabelece a partir dos fluxos e pressões desenvolvimentistas das regiões metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista; e conta, atualmente, com uma malha composta por atividades industriais, agropecuárias e prestadoras de serviços que movimenta cerca de 30% do PIB brasileiro (DAEE, 2013).

Entendida como uma cidade-região por Zioni et al. (2019), a MMP, mesmo sem ter sido institucionalizada, já tem sido reconhecida em estudos recentes (TORRES et al., 2020; TORRES et al., 2019; GIATTI et al., 2016; JACOBI et al. 2015) e em importantes instrumentos de política pública e de planejamento territorial encomendados pelo governo do estado de São Paulo, como o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista (DAEE, 2013) e o Plano de Ação da Macrometrópole Paulista (EMPLASA, 2014).

De um modo geral, esses dois documentos apresentam considerações a partir de projeções e diretrizes que visam promover o desenvolvimento sustentável regional; tendo em vista o histórico de insegurança hídrica, energética e alimentar (VICTOR et al., 2018) e a dependência da RMSP com a água que provém de bacias hidrográficas desde quatro municípios mineiros que também integram o recorte macrometropolitano (DAEE, 2013).

Portanto, a escolha da MMP enquanto unidade de análise para este estudo de caso se justifica na medida em que os tomadores de decisão podem vir a se beneficiar com novas ferramentas, informações e interpretações. Estas inovações podem servir de insumo para a otimização e elaboração de políticas públicas intersetoriais dedicadas à sustentabilidade de recursos fundamentais e escassos em amplo contexto de território urbanizado.

2. Material e Métodos

Esta análise é um estudo de caso do tipo qualiquantitativo que considerou um dos territórios urbanos mais complexos do hemisfério sul, tendo como objeto de análise a MMP. Para selecionar os indicadores e sistematiza-los de acordo com a interpretação conceitual das abordagens do nexo e de cada um dos eixos do modelo FPSEEA da OMS, diferentes sistemas de informação de domínio público do país foram consultados e uma revisão não sistemática das literaturas branca e cinzenta foi conduzida por meio dos relatórios de sustentabilidade de estatais e empresas de capital aberto, *reports* de organizações do terceiro setor amplamente divulgados na mídia e produções acadêmicas indexadas nas bases de dados *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science* a partir dos seguintes descritores: *energy demand; food demand; indicators; nexus; water demand*.

Depois disso, dados de 2016 para os indicadores categorizados como Força Motriz (FM) e Situação (S) foram extraídos para cada um dos 180 municípios da MMP nos sítios eletrônicos da Agência Nacional das Águas, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do MapBiomas, a fim de submetê-los a uma matriz de correlação de Pearson com grau de significância de 5%. Entretanto, na ausência de informações mais recentes para alguns desses indicadores, optamos por utilizar dados de 2010 referentes ao último censo demográfico do IBGE.

2.1. Aporte conceitual ao modelo FPSEEA

O modelo FPSEEA descreve as complexas relações que se estabelecem a partir das interfaces entre ambiente, saúde e sociedade a partir de uma cadeia de causalidades composta por seis eixos que possuem conexões entre si em qualquer contexto de análise ou escala territorial.

O eixo Força Motriz, por exemplo, representado pela letra F da sigla FPSEEA, faz referência a fatores macrodeterminantes como a urbanização, que pressionam (P) recursos essenciais como a água e alteram a situação (S) das condições de vida das populações. Assim, essas populações são expostas (E) a efeitos nocivos (E) da poluição que prejudicam a saúde e agravam a escassez. No entanto, esse modelo permite que ações (A) como políticas públicas e medidas de controle técnico sejam sugeridas em qualquer um dos demais eixos (BRASIL, 2011).

Desse modo, por acrescentar informações de saúde e outras dimensões de análise para além daqueles que integram os modelos PER e PEIR, entendemos que o modelo FPSEEA se apresenta como uma estrutura holística e flexível para auxiliar com a atividade complexa que é identificar indicadores para compreender interdependências entre água, energia e alimentos e seus *trade-offs*. Portanto, essa opção nos permite avançar em sentido de compreensão da complexidade inerente ao desenvolvimento sustentável, tendo a saúde humana e seus determinantes como elemento analítico e intrínseco.

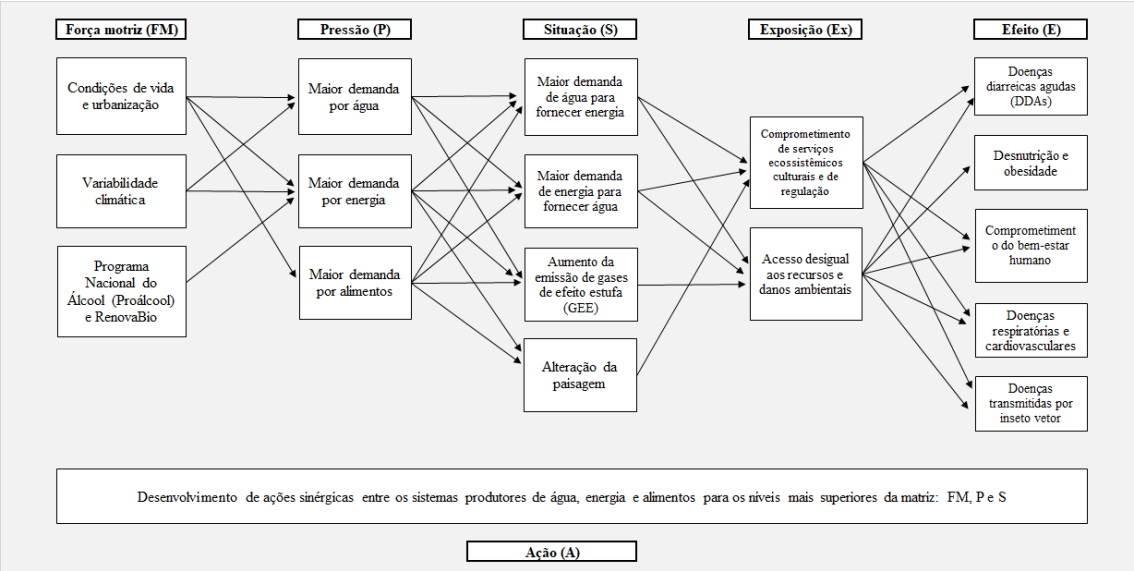
3. Resultados e Discussão

3.1. Descrição da matriz de indicadores

A matriz construída com o auxílio da revisão não sistemática das literaturas e consulta aos sistemas de informação se constitui no entendimento de que variabilidade climática (CÔRTES et al., 2015; OLIVER; RIBEIRO, 2014), políticas públicas como o Proálcool (KOHLHEPP, 2010) e RenovaBio, e busca por melhores condições de vida e de urbanização (GIATTI et al., 2016; MCDONALD et al., 2014; HOFF, 2011; SATTERTHWAITE et al., 2010; POPKIN, 1999) constituem-se de forças motrizes capazes de pressionar os sistemas produtores de água, energia e alimentos da Macrometrópole por meio do aumento da demanda per capita. Consequentemente, a combinação dessas forças motrizes e pressões ameaça a sustentabilidade, exacerbando os *trade-offs* da relação de interdependência entre recursos. De forma convencional à literatura seminal sobre o nexo (HOFF, 2011), analisamos a centralidade dos recursos hídricos nas relações de interdependência no território.

Diante disso, na falta de ações sinérgicas a esse nexo que se estabelece, uma parcela da população macrometropolitana pode vir a ser exposta a injustiças ambientais que agravam as iniquidades em saúde devido a restrição do acesso aos alimentos minimamente processados, transporte público, eletricidade e serviços de água e esgoto (GIATTI et al., 2019). Além disso, com a intensificação das atividades que alteram a paisagem e emitem gases de efeito estufa (pecuária, por exemplo), alguns serviços ecossistêmicos que garantem a qualidade de vida das populações tendem a ser comprometidos, principalmente por super exploração (LEIP et al., 2015) (Figura 1).

Figura 1 – Representação esquemática do modelo FPSEEA adaptado à abordagem do nexo.



Fonte: elaborado pelos autores (2020).

Dos 30 indicadores definidos e categorizados de acordo com a lógica da Figura 2 e a complexidade do modelo FPSEEA, quatro deles (FM8; ;E3; A3; A4) não estão disponíveis nos sistemas de informação consultados e/ou ainda não são monitorados e produzidos por todos os municípios e sistemas produtores de água, energia e alimentos da MMP. Além disso, também foram observadas divergências interestaduais para os padrões espaços-temporais quanto à divulgação de dados demográficos (FM1 e FM2) e climáticos (FM6 e FM7) entre os municípios mineiros e paulistas, o que se configurou como mais um desafio para a aplicação da matriz da OMS na região estudada (Quadro 1).

Quadro 1 – Listagem dos indicadores selecionados de acordo com as suas medidas, periodicidade de divulgação e fonte.

Indicador	Descrição	Medida	Periodicidade	Fontes
FM1	Densidade demográfica	hab./km^2	Anual Decenal	IBGE; Seade
FM2	Grau de urbanização	%	Anual Decenal	IBGE; Seade
FM3	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M)	0 a 1	Decenal	IBGE

FM4	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM)	0 a 1	Anual	Sistema Firjan
FM5	PIB per capita	Em mil reais	Anual	IBGE; Seade
FM6	Temperatura média anual	ºC	Anual	Inmet
FM7	Precipitação média anual	Mm	Anual	Inmet
FM8	Existência de política pública que contribui com o aumento da produção de cana-de-açúcar	Sim ou Não	N/A	N/A
P1	Vazão total de água consumida	l/hab./ano	Anual	ANA; IBGE
P2	Consumo total de eletricidade	kWh/hab./ano	Anual	Seade
P3	Área total destinada à produção de cana-de- açúcar	ha/hab./ano	Anual	IBGE
P4	Área total destinada à produção agrícola	ha/hab./ano	Anual	IBGE
P5	Área total destinada à produção agropecuária	ha/hab./ano	Anual	MapBiomas
S1	Vazão total da água consumida para dessedentação animal	l/hab./ano	Anual	ANA; IBGE
S2	Vazão total da água consumida para irrigação	l/hab./ano	Anual	ANA; IBGE
S3	Vazão total da água consumida para energia termelétrica	l/hab./ano	Anual	ANA; IBGE
S4	Índice do consumo de eletricidade nos sistemas de abastecimento de água	kWh/m3	Anual	SNIS
S6	Área total de cobertura vegetal	ha/hab.	Anual	MapBiomas

Ex1	População residente em domicílios com serviço de água e esgoto inadequados	%	Decenal	IBGE
Ex1	População residente em domicílios sem energia elétrica	%	Decenal	IBGE
E1	Taxa de internação por doenças diarreicas agudas	a cada 100 mil hab.	Anual	Datasus; IBGE
E2	Taxa de internação por desnutrição	a cada 100 mil hab.	Anual	Datasus; IBGE
E3	Prevalência da obesidade	%	Anual	Datasus; IBGE
E4	Taxa de internação por doenças respiratórias	a cada 100 mil hab.	Anual	Datasus; IBGE
E5	Taxa de internação por doenças cardiovasculares	a cada 100 mil hab.	Anual	Datasus; IBGE
E6	Prevalência de dengue	%	Anual	Datasus; IBGE
A1	Índice de tratamento de esgoto	%	Anual	SNIS
A2	Índice de perda no sistema de distribuição	%	Anual	SNIS
A3	Volume de água de reuso fornecida	m^3	Anual	Sabesp
A4	Total de investimentos e gastos em proteção ambiental[1]	R$	Anual	Sabesp

[1] Investimentos e gastos associados ao desenvolvimento e implantação de programas corporativos como o Pura – Programa de Uso Racional da Água.

Fonte: elaborado pelos autores (2020).

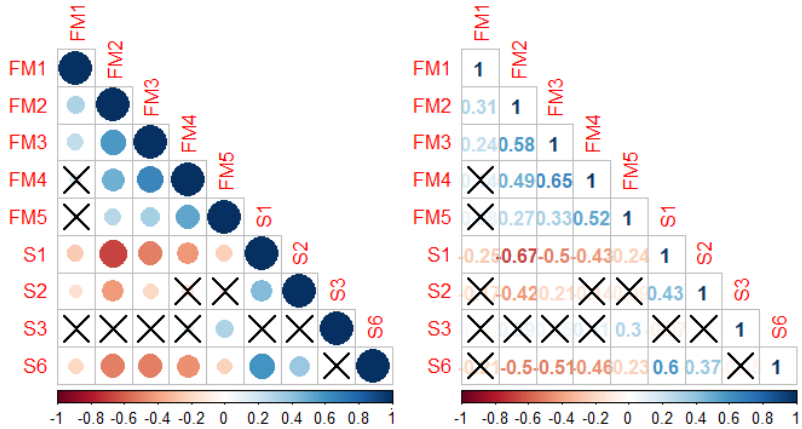
Limitações devido à subutilização de indicadores e à falta de padrões espaços-temporais para a divulgação dos dados a partir de diferentes escalas já haviam sido relatadas por outros autores que consideraram os indicadores enquanto ferramenta de análise na pesquisa sobre o nexo (GIUPPONI; GAIN,

2106; LI et al., 2016; KARABULUT et al., 2016; SCOTT, 2011) e a MMP (MARIA; SLOVIC, 2018); o que pode comprometer a efetividade das ações em planejamento e a elaboração de políticas públicas mais abrangentes (MARIA; SLOVIC, 2018).

3.2. Validação da matriz de indicadores

Quanto à validação dos indicadores de FM e S que apresentaram dados para todos os 180 municípios da região, cabe destaque para as correlações moderadas e invertidas que foram obtidas a partir do cruzamento de FM2 (grau de urbanização) com S1 (água para dessedentação animal/hab.) ($r = -0{,}61$; $p < 0{,}05$) e de FM3 (IDH-M) com S6 (cobertura vegetal/hab.) ($r = -0{,}51$; $p < 0{,}05$); indicando que, na medida em que a capacidade de provisão de água e alimentos é maior, menor é o grau de urbanização e o índice de desenvolvimento humano municipal (Figura 2).

Figura 2 – Matriz de correlação de Pearson para os indicadores de FM e S.



Fonte: elaborado pelos autores (2020).

Portanto, os indicadores selecionados a partir da abordagem conceitual do modelo FPSEEA demonstram que as relações estabelecidas a partir do provimento de recursos na MMP são injustas, pois os municípios que registram as maiores iniquidades em termos de qualidade de vida são os mesmos que possuem as maiores proporções de área com cobertura vegetal; que garante a provisão de água que sustenta a produção de alimentos e energia. Essa constatação corrobora com estudo de Império-Favaro et al. (2016) que

demonstrou profundas iniquidades dentre os municípios da RMSP que se configuram como provedores de serviços ecossistêmicos hídricos.

Diante disso, entende-se que, para um indicador sinalizar um *trade-off* que se externaliza como injustiça ambiental faz-se necessário refletir para além daqueles que simplesmente quantificam os fluxos entre recursos, como a água consumida para a geração de energia (S3) ou produção de alimentos (S1 e S2) (ARTHUR et al., 2019).

Assim, entendemos que indicadores como IDH-M e Índice de Firjan podem ser relevantes no âmbito das decisões envolvendo a redução das iniquidades sociais nas cidades na perspectiva do nexo. Afinal, o alinhamento de desenvolvimento humano e econômico preconizado por Hoff (2011) para a abordagem do nexo pode ser justificado na medida em que o acesso e a provisão sustentável de recursos como água, energia e alimentos favorecem a adoção de práticas mais saudáveis entre os mais pobres (GIATTI et al. 2019).

4. Considerações finais

Este capítulo procurou identificar as principais potencialidades e limitações da abordagem conceitual do modelo FPSEEA para explorar *trade-offs* do nexo entre água, energia e alimentos, considerando indicadores e o território da MMP como unidade de análise. Como possibilidade de avanços em análises envolvendo elementos do nexo, a composição da matriz se mostrou viável, porém, ainda permitindo aplicação de outros testes estatísticos mais específicos quanto as correlações de causalidade e de *trade-offs* inerentes ao tema da sustentabilidade e da saúde humana.

Para um recorte territorial extenso e de abrangência interestadual como o da MMP, a indisponibilidade de dados para compor os eixos mais superiores da matriz (FM) e a falta de padrões espaços-temporais para a divulgação de dados constituem-se como limitações para a compreensão mais abrangente das associações e pressões entre água, energia e alimentos.

Portanto, a falta desse tipo de informação compromete e dificulta a definição de ações sinérgicas e estratégicas para os demais eixos, que pode ser superada por meio de um novo olhar dos tomadores de decisão para a intersetorialidade da informação e da necessidade de construção e/ou

identificação de indicadores que façam correspondência aos inúmeros desafios socioambientais atuais como o nexo entre recursos, que visa a produção de mais com menos.

Entretanto, a utilização da estrutura FPSEEA para explorar os *trade-offs* do nexo facilitou a definição de indicadores e identificação de injustiças ambientais que se externalizam a partir das interdependências e falta de sinergias quanto ao nexo. Contudo, de um modo geral, embora esse modelo tenha se colocado como promissor para analisar os *trade-offs* do nexo, cabem novos esforços a fim de assimilar sua aplicabilidade para outras escalas territoriais e conjuntos de dados, tendo em vista as especificidades de cada território e sua capacidade de gerar e divulgar informação.

5. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processos nº 131414/2018-6 e 309840/2018-0) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2015/03804-9, 2017/17796-3, 2019/24479-0 e 2019/12804-3).

6. Referências bibliográficas

ALBRECHT, T. R.; CROOTOF, A.; SCOTT, C. A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environmental Research Letters**, n. 13, v. 4, 043002, 2018.

ANA - Agência Nacional de Águas. Brasília. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>. Acesso em: 10 março 2020.

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

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. Plano de aproveitamento de recursos hídricos para a Macrometrópole Paulista. 2013.

DATASUS - Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil. Disponível em: <http://datasus.saude.gov.br/>. Acesso em: 10 março 2020.

DO IMPERIO FAVARO, A. K. M. et al. Inequities and Challenges for a Metropolitan Region to Improve Climate Resilience. In: **Climate Change and Health**. [s.l.] Springer, 2016. p. 419–432.

EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A. Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040: uma visão da macrometrópole. 2014.

FAVARO et al. Inequities and Challenges for a Metropolitan Region to Improve Climate Resilience. New York: Springer International Publishing Switzerland, 2016.

FIRJAN. Rio de Janeiro. Disponível em:<https://alertaaguaeenergia.firjan.com.br/pagina-inicial.htm>. Acesso em: 10 março 2020.

FREITAS, C. M. DE; GIATTI, L. L. Indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 25, p. 1251–1266, 2009.

FREITAS, C. M.; GIATTI, L. L. Sustentabilidade ambiental e de saúde na Amazônia Legal, Brasil: Uma análise através de indicadores. **Série Saúde Ambiental**, v. 4, 2010.

GIATTI, L. L. et al. Nexos de exclusão e desafios de sustentabilidade em uma periferia urbana. **Cad. Saúde Pública**, v. 35, n. 7, e00007918, 2019.

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

GIUPPONI, C.; GAIN, A. K. Integrated spatial assessment of the water, energy and food dimensions of the Sustainable Development Goals. **Regional Environmental Change**, v. 17, p. 1881-1893, 2017.

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm: Stockholm EnvironmentInsitute, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 março 2020.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 10 março 2020.

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

JANNUZZI, P. M. de. Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 56, n. 2, p. 137-160, 2005.

KARABULUT, A. et al. Mapping water provisioning services to support the ecosystem-water-food-energy nexus in the Danube river basin. **Ecosystem Services**, v. 17, 278-292, 2016.

KESKINEN, M. et al. Water-Energy-Food Nexus in a Transboundary River Basin: The Case of Tonle Sap Lake, Mekong River Basin. **Water**, v. 7, n. 10, p. 5416-5436, 2015.

LEIP et al. Impacts of European livestock production: nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. **Environmental Research Letters**, v. 10, e115004, 2015.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectiva para o Brasil a partir da experiência francesa. São Paulo: Bertrand Brasil, 2007.

MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 março 2020.

MARIA, N. C.; SLOVIC, A. D. Aplicação da matriz FPSEEA de saúde ambiental para a macrometrópole paulista: subsídios para o planejamento e gestão socioambiental regional, v. 4, n. 1, p. 126-145, 2018.

MCDONALD, R. I. et al. Water on an urban planet: Urbanization and the reach of urban water infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 27, p. 96-105, 2014.

MERCHÁN-HAMANN, E.; TAUIL, P. L.; COSTA, M. P. Terminologia das medidas e indicadores em epidemiologia: subsídios para uma possível padronização da nomenclatura. **Informe Epidemiológico do Sus**, v. 9, n. 4, Brasília, p. 273-84, 2000.

MOIOLI, E.; MANENTI, F.; RULLI, M. C. Assessment of Global Sustainability of Bioenergy Production in a Water-Food-Energy Perspective. **Chemical Engineering Transactions**, v. 50, p. 343-348, 2016.

POPKIN, B. M. Urbanization, Lifestyle Change and the Nutrition Transition. **World Development**, v. 27, n. 11, p. 1905-1916, 1999.

ROIBÁS, L.; ELBEHRI, A.; HOSPIDO, A. 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 Básico do Estado de São Paulo. **Relatório de Sustentabilidade**, 2017.

SATTERTHWAITE, D.; MCGRANAHAN, G.; TACOLI, C. Urbanization and its implications for food and farming. **Phil. Trans. R. Soc. B.**, v. 365, p. 2809–2820, 2010.

SCOTT, C. A. The water-energy-climate nexus: Resources and policy outlook for aquifers in Mexico. **Water Resources Research**, v. 47, n. 6, p. 1-18, 2011.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. São Paulo. Disponível em: <https://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 10 março 2020.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento. Brasília. Disponível em: <www.snis.gov.br>. Acesso em: 10 março 2020.

TORRES, P. H. C.; RAMOS, R. F.; GONÇALVES, L. R. Environmental conflictsat São Paulo Macrometropolis: Paranapiacaba and São Sebastião. **Ambient. soc.**, v. 22, e0101, 2019.

TORRES, P. H. C.; RAMOS, R. F.; POLLACHI, A. A macrometropolização em São Paulo: reterritorialização, reescalonamento e a cidade-região. **Cad. Metrop.**, v. 22, p. 103-122, 2020.

VICTOR, R. A. B. M. et al. A escassez hídrica e seus reflexos sobre os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo. In: BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. (Coord.). **Livro branco da água. A crise na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções**. 1. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018, v. 1, p. 54-73.

ZIONI et al. A Macrometrópole Paulista e os desafios para o planejamento e gestão territorial. In: TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R.; BARBI, F. (Coord.).

Governança e Planejamento Ambiental: Adaptação e Políticas Públicas na Macrometrópole Paulista. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2019, v. 1, p. 90-99.

4.2. MANUSCRITO 2

Artigo submetido para publicação em um *special issue* (edição especial) da revista *Journal of Cleaner Production*, intitulado *Innovations in Green and Blue Infrastructure in Cities: Analyzing the Impacts on Natural Resources and Global Changes*. O manuscrito, atualmente, ainda segue em avaliação pelo corpo editorial da revista.

Injustiças ambientais sob a perspectiva da infraestrutura verde-azul: o nexo urbano em um território macrometropolitano

Mateus Henrique Amaral[a]; Lira Luz Benites-Lazaro[a,b]; Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli[c]; Humberto Prates da Fonseca Alves[d]; Leandro Luiz Giatti[a]

[a] Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Av. Dr. Arnaldo, 715, 01246-904, São Paulo, Brasil.
[b] Centro de Ciências do Sistema Terrestre do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas, 1758, 12227-010, São José dos Campos, Brasil.
[c] Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289, 01246-904, São Paulo, Brasil.
[d] Departamento de Ciências Sociais da Universidade Federal de São Paulo, Estr. do Caminho Velho, 333, 07252-312, Guarulhos, Brasil.

Resumo: A infraestrutura verde-azul das áreas urbanas garante a provisão de recursos como água, energia e alimentos, que estabelecem relações de interdependência entre si e são fundamentais ao desenvolvimento humano e urbano. Neste artigo, nós analisamos as injustiças ambientais associadas aos serviços de abastecimento e produção de água, energia e alimentos na Macrometrópole Paulista, Brasil, e comparamos e categorizamos seus 180 municípios como vencedores e perdedores a partir da abordagem do nexo urbano, desenvolvimento humano e proporção de infraestrutura verde. Para tanto, a técnica *self-organizing map* foi aplicada em um conjunto de dados públicos de 19 indicadores para obter agrupamentos (*clusters*) de municípios. Dentre os quatro clusters formados, três deles apresentaram características de recebedores (*Capital, Hinterland e Developed Receivers*) e um de provedor, tendo em vista que esse último *cluster* agregou municípios com um importante papel na provisão de água, alimentos e subsídios para a geração de energia

elétrica. Por outro lado, o cluster *Providers* abrange os municípios com as maiores iniquidades em termos de desenvolvimento humano e inclusão social. Sendo assim, avaliar os co-benefícios da infraestrutura verde-azul nos espaços urbanos pode servir como uma adaptação estratégica à gestão de recursos essenciais e ao suporte aos diferentes processos e funções ecossistêmicas. Nesse sentido, a contribuição principal deste artigo está no apoio à compreensão dos sistemas urbanos complexos à luz da justiça ambiental e das sinergias do nexo.

Palavras-chave: análise de clusters; infraestrutura verde-azul; justiça ambiental; nexo água-energia-alimenots; nexo urbano; serviços ecossistêmicos.

1. Introdução

A sustentabilidade dos sistemas urbanos constitui-se de um grande desafio devido a fatores como o comprometimento de recursos naturais locais e serviços ecossistêmicos (SE), urbanização e mudanças ambientais globais. De acordo com Seto et al. (2017), uma das consequências da urbanização é que funções ecossistêmicas como a produção de alimentos, sequestro de carbono e produção agrícola podem ser afetadas; porém, a urbanização também pode afetar positivamente o uso de energia elétrica nas construções e conferir eficiência energética.

Nesse sentido, a fim de aumentar a eficiência e sustentabilidade do uso de recursos fundamentais, ocorreu uma mudança de paradigma envolvendo o conhecimento interdisciplinar sobre sistemas urbanos a partir de abordagens como SE (ESCOBEDO et al., 2019; LANGEMEYER; CONNOLLY, 2020; ROMERO-DUQUE et al., 2020), infraestrutura verde-azul (IVA) (ANDERSSON et al., 2019; KATI; JARI, 2016; ZHU et al., 2019) e nexo urbano entre água, energia e alimentos (ARTIOLI et al., 2017; GONDHALEKAR; RAMSAUER, 2017; HEARD et al., 2017). Além disso, junto às questões de fornecimento de recursos naturais, os problemas relacionados à justiça ambiental tornaram-se especialmente agudos em áreas urbanas densas (ANDERSSON et al., 2019; ERNSTSON, 2013; ZHU et al., 2019).

A partir dos 180 municípios da Macrometrópole Paulista (MMP), este estudo de caso considerou os níveis de desenvolvimento humano face à capacidade de provimento e recebimento de SE. Portanto, tendo em vista o fato de que deve haver municípios perdedores e vencedores (MIDDLETON et al. 2015), analisamos as restrições relativas às iniquidades intermunicipais, pois elas podem ser facilmente ofuscadas em estudos de resiliência e sustentabilidade urbana (ZHANG et al., 2019 ; MEEROW; NEWELL, 2016).

A hipótese deste estudo é que os municípios macrometropolitanos que têm a maior proporção de IVA em relação às suas populações são os mesmos que registram os piores indicadores de bem-estar e desenvolvimento humano. Assim, neste artigo, analisamos as injustiças ambientais relacionadas ao suprimento e produção de água, energia e alimentos na MMP, Brasil, comparando e categorizando-os como perdedores e vencedores na perspectiva do nexo urbano, IVA e níveis de desenvolvimento humano.

2. Estrutura conceitual

2.1. IVA e serviços ecossistêmicos

A IVA pode ser entendida como a combinação de vegetação (verde) e água (azul) que associa-se a componentes naturais projetados na paisagem urbana, como reservas florestais, parques, corpos d'água e telhados verdes (GHOFRANI et al., 2017; LAMOND; EVERETT, 2019; WELL; LUDWIG, 2019). Esse termo surgiu de uma consciência crescente da necessidade de ter-se uma abordagem mais integrada e sistemática para gerenciar a infraestrutura urbana verde e azul (LAMOND; EVERETT, 2019). Já SE, de acordo com a Avaliação de Ecossistêmica do Milênio, são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, incluindo i) serviços de abastecimento de alimentos, água, madeira e fibra, ii) serviços de regulação que afetam o clima, enchentes, doenças, resíduos e qualidade da água, iii) serviços culturais que fornecem benefícios recreativos, estéticos e espirituais e iv) serviços de suporte, que abrangem a formação do solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes (MEA, 2005, p. 39).

As conexões funcionais e inter-relações da IVA, inseridas e adjacentes às cidades, têm o potencial de fornecer uma ampla gama de SE aos residentes

urbanos (ANDERSSON et al., 2019). Esse tipo de infraestrutura também tem o potencial de subsidiar diferentes funções ecossistêmicas que garantem o fornecimento de recursos (como exemplos têm-se a água, alimentos e energia) e serviços de regulação do meio ambiente (manutenção climática e sequestro de carbono) que são indispensáveis ao desenvolvimento humano e à prosperidade das cidades (WELL; LUDWIG, 2019; MEA 2005; UNDP 1990). Assim, a IVA apresenta uma perspectiva holística que confere aumento da resiliência necessária para enfrentar desafios urbanos complexos, na medida em que os ambientes naturais e sociais interagem com recursos limitados e restrições de espaço (ALVES et al., 2019; ESCOBEDO et al., 2019; COMISSÃO EUROPEIA, 2012).

No entanto, apesar da relevância dos ecossistemas naturais, existem problemas relatados com a distribuição e acessibilidade de IVA e seus benefícios (ANDERSSON et al., 2019). As desigualdades na distribuição de provisão de recursos e benefícios têm implicações para quando e para quem a IVA oferece uma oportunidade de atender às diferentes necessidades ambientais e sociais (ANDERSSON et al., 2019; ERNSTSON, 2013). Historicamente, a política, o planejamento e a gestão trataram as redes de infraestrutura cinza e verde como desafios distintos (ANDERSSON et al., 2019), levando esses desafios à integração de políticas de desenvolvimento para usar a IVA como alternativa para induzir sustentabilidade, resiliência urbana e intersetorialidade na gestão complexa de recursos naturais (SIRAKAYA et al., 2018).

A intensa conurbação e impermeabilização de áreas urbanas junto ao crescimento populacional e aumento da demanda hídrica favorecem a ocorrência de escassez de água e situações de risco associadas. Isso é claramente observado no território da MMP, onde a busca constante por água em fontes distantes forma um território em que a água é disputada, demandando elevados gastos energéticos para seu abastecimento e gerando pressão entre o abastecimento público e a necessidade de água para produção de alimentos e/ou energia, como no caso do etanol da cana-de-açúcar (BENITES-LAZARO et al., 2020; GIATTI et al., 2016; JACOBI et al., 2015).

2.2. Justiça ambiental urbana

A abordagem da justiça ambiental no contexto urbano, que aborda as interações humano-ecossistema, partiu dos efeitos das desigualdades socioambientais (ERNSTSON, 2013; LANGEMEYER; CONNOLLY, 2020). A perspectiva de desigualdades entre a provisão de SE e benefícios sociais em um território urbanizado requerem uma exploração da questão da justiça ambiental, um movimento que foi concebido nos Estados Unidos no início da década de 1980 a partir da luta pela equidade racial (BERETTA, 2012). De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a justiça ambiental pode ser entendida como "o tratamento justo e o envolvimento significativo de todas as pessoas, independentemente de raça, cor, nacionalidade ou renda em relação ao desenvolvimento, implementação e aplicação de leis, regulamentos e políticas ambientais" (EPA 1998, p. 7).

As demandas por justiça ambiental também destacam o fato de que o direito ao uso equilibrado e responsável da terra e dos recursos naturais está dentro do interesse de alcançar um planeta sustentável para a humanidade e demais organismos vivos (RAMIREZ-ANDREOTTA, 2019). Por outro lado, o acesso injusto aos recursos naturais, causado por projetos de desenvolvimento, especialmente em grupos socioeconômicos politicamente marginalizados, pode ser considerada uma questão de injustiça ambiental (ANGUELOVSKI; MARTÍNEZ ALIER, 2014; MIDDLETON et al., 2015). Sendo assim, a (in)justiça ambiental denota uma questão importante de como grupos poderosos podem dominar as decisões ambientais com a exclusão de outros (BENITES-LAZARO; GIATTI, 2020; WALKER, 2012).

Cada vez mais, o consenso sobre a escassez de recursos naturais e o acesso mostram que a justiça ambiental é uma abordagem importante que deve ser considerada num contexto de (in)disponibilidade de IVA e provisão de ES, embora haja uma compreensão limitada de formas precisas usadas para medir e responder às necessidades da justiça ambiental (ALVES et al., 2019; ZHU et al., 2019). É importante destacar que a literatura de justiça ambiental concentra-se principalmente em três tipos de justiça: (a) justiça distributiva, que se refere a quem ganha e perde ao passar por fardos e benefícios ambientais em respeito às intervenções ambientais; (b) justiça processual, que identifica quem está envolvido e quem tem influência em termos de tomada de decisão; e (c) justiça de reconhecimento, que descreve quem é respeitado ou não, e cujos interesses,

valores e pontos de vista são reconhecidos e levados em consideração conta (MIDDLETON et al., 2015; SCHLOSBERG, 2007; SVARSTAD; BENJAMINSEN, 2020). Neste estudo, focamos nossa análise na justiça distributiva.

2.3 Abordagem do nexo urbano entre água, energia e alimentos

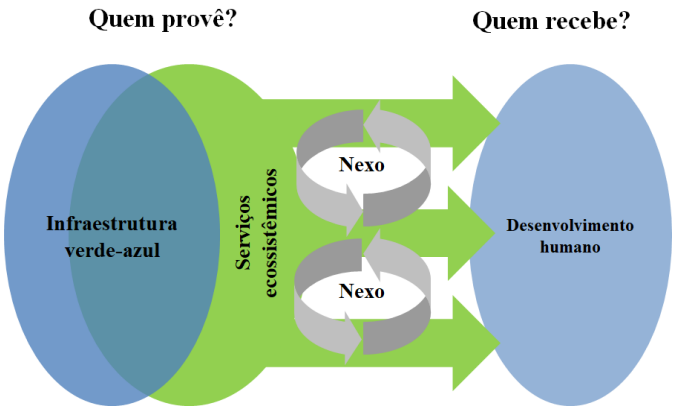
O Fórum Econômico Mundial (2011) apresentou a abordagem conceitual do nexo sob a perspectiva da segurança dos recursos água, energia e alimentos. Porém, versões subsequentes consideraram em seu escopo componentes alternativos (BIGGS et al., 2015) e, simultaneamente, também destacaram as interações e interdependências entre os sistemas de gestão que são historicamente segregados da água, da energia e dos alimentos (BENITES-LAZARO et al., 2020). Nessa perspectiva, há convergências com a abordagem do nexo urbano, que ganhou notoriedade global a partir do entendimento das relações interdependentes marcadas por *trade-offs* e sinergias (ARTIOLI et al., 2017; HOFF, 2011). Assim, um nexo urbano pode ser definido como "uma abordagem para o projeto de soluções de desenvolvimento urbano e sustentável. A abordagem orienta as partes interessadas a identificar e buscar possíveis sinergias entre os setores, jurisdições e domínios técnicos, de modo a aumentar o desempenho institucional e otimizar a gestão de recursos e a qualidade do serviço" (GIZ; ICLEI, 2014, p. 5).

A crescente urbanização tem sido vista como um fator-chave nos problemas do nexo entre água, energia e alimentos, pois muda os padrões de uso da terra, a distribuição espacial das populações e das infraestruturas e fluxos de recursos concomitantes (Artioli et al., 2017; Heard et al., 2017). Para serem sustentáveis, as cidades dependem de políticas públicas e modelos de governança integrados que as conectem a amplos territórios de influência e às questões ambientais globais (CASTÁN BROTO, 2017; SETO et al., 2017). A literatura de nexos urbanos existente mostra que o desenvolvimento e a gestão de cidades sustentáveis e resilientes são fundamentais para a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida das populações, considerando a interdependência das cadeias produtivas e de fornecimento de água, energia e alimentos (ARTIOLI et al. ., 2017; COVARRUBIAS, 2019; HEARD et al., 2017).

Nesse sentido, para sintetizar o nosso entendimento, a Figura 1 descreve a estrutura conceitual em que a IVA representa os ativos naturais necessários

para a garantia de SE, ou seja, ativos que dão suporte ao fornecimento de água, energia e alimentos. A estrutura do nexo consiste em proporcionar arranjos melhorados sobre as interdependências, portanto, relaciona-se à busca de sinergias para mitigar os *trade-offs* entre as cadeias de abastecimento. No entanto, esse fluxo, no sentido da nossa análise, não pode ser abordado em um sistema urbano grande e complexo sem considerar quem fornece IVA e SE, bem como quem recebe apoio para melhorar o desenvolvimento humano (ANDERSON et al. 2019; ZHU et al. 2019). Por meio dessa interpretação, o nexo pode ser concebido como uma oportunidade para aumentar o potencial de compartilhar os benefícios da IVA e dos SE, ao mesmo tempo em que é necessário dedicar a atividade de gestão para reduzir as iniquidades. Dentro desse contexto, um desafio remanescente consiste em identificar o nexo por meio de dados secundários disponíveis e referentes a um aglomerado de municípios que dão forma a um sistema urbano complexo (ARTHUR et al. 2019; ALBRECHT et al. 2018).

Figura 1 – Quadro conceitual envolvendo IVA, SE e a abordagem do nexo à luz da justiça ambiental.



3. Metodologia

3.1. Área de estudo

Com cerca de 34 milhões de habitantes distribuídos em 180 municípios que, juntos, ocupam uma área de 52 mil km² e respondem por aproximadamente a 28% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil, a MMP foi criada a partir dos fluxos de desenvolvimento e pressões das grandes regiões metropolitanas de

São Paulo, Campinas e Baixada Santista. A MMP conta, atualmente, com oito unidades de gestão de recursos hídricos (adequadamente administrados por bacia hidrográfica), cerca de 20.000 km² de cobertura vegetal e uma grande rede de empreendimentos que se dedicam a atividades industriais, agrícolas e de serviços (DAEE, 2013).

Além da ausência de governança e institucionalização, a MMP é reconhecida como uma cidade-região (ZIONI et al., 2019) e tem sido objeto de análise em estudos recentes (ALVIM et al., 2020, TRAVASSOS et al., 2020, TORRES et al., 2019; JACOBI et al., 2015). Além disso, também tem sido alvo de planejamento do governo do estado de São Paulo por meio do Plano de Ação da Macrometrópole, com diretrizes que se estendem até 2040 no que diz respeito ao desenvolvimento regional a partir de ações e projetos de infraestrutura e logística (EMPLASA, 2014), e o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Macroemtrópole Paulista (DAEE, 2013) que dedica aos usos múltiplos e cenários até 2035 (DAEE, 2013). Esses planos são relevantes porque abordam o crescimento populacional, os impactos ambientais e as perspectivas sobre as crises relacionadas ao clima, como a seca sem precedentes de 2013 a 2015 (VICTOR et al., 2018; DAEE, 2013). Nesse sentido, a MMP pode ser entendida como um território complexo e interdependente com pressões historicamente relevantes, incluindo desenvolvimento econômico, heterogeneidade e fragmentação espacial, graves *trade-offs* entre recursos hídricos e energia e uma necessidade intrínseca quanto à produção e fornecimento de alimentos (TRAVASSOS et al., 2020; SINISGALLI et al., 2018; VICTOR et al., 2018; GIATTI et al., 2016).

3.2. Base de dados

Como 2016 é o ano mais recente com a maior disponibilidade de informações para os 180 municípios da MMP, diversos sistemas públicos de informações brasileiros serviram de fontes de dados para alguns indicadores capazes de mensurar os (1) aspectos relacionados ao desenvolvimento humano de cada um dos municípios da área estudada, (2) à quantidade de terra dedicada à produção animal e de alimentos e (3) à infraestrutura verde que contribui para o bem-estar e o desenvolvimento humano por meio da provisão de SE

(AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005), aqui representada pela quantidade de hectares de cobertura vegetal.

No entanto, para permitir comparações entre municípios com magnitudes e características distintas, optou-se por trabalhar com coeficientes, relativizando, dessa forma, a oferta pela dimensão da população municipal conforme está descrito na Tabela 1. Portanto, esta é a base utilizada para comparar os municípios quanto à provisão proporcional de benefícios associados à IVA, aos SE e aos níveis de acesso e desenvolvimento humano.

Tabela 1. Descrição dos indicadores utilizados neste estudo, por unidades de medida e fonte.

Indicador	**Descrição**	**Medida**	**Fonte**
Human development			
fimd	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (consolidado)	0 a 1	Sistema Firjan
fimd_edu	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (educação)	0 a 1	Sistema Firjan
fimd_empl_income	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (emprego e renda)	0 a 1	Sistema Firjan
fimd_health	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (saúde)	0 a 1	Sistema Firjan
hdim	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M)	0 a 1	IBGE
hr_nutri	Taxa de internação por desnutrição	Por 100.000 habitantes	Datasus
hr_add	Taxa de internação por doenças diarreicas agudas	Por 100.000 habitantes	Datasus
gdp_per_capita	PIB per capita	Em mil reais	IBGE

total_pop	População total		IBGE
IVA e nexo			
ha_forest	Hectares de cobertura vegetal	ha	MapBiomas
ha_forest_inhab	Hectares de cobertura vegetal por habitante	ha/hab	IBGE; MapBiomas
ha_pasture	Hectares de terra destinada à produção agropecuária	ha	MapBiomas
ha_pasture_inhab	Hectares de terra destinada à produção agropecuária por habitante	ha/hab	IBGE; MapBiomas
elect_cons	Quantidade total de energia elétrica consumida	kWh	São Paulo State Secretariat of Energy and Mining
elect_cons_inhab	Quantidade total de energia elétrica consumida por habitante	kWh/hab	IBGE; São Paulo State Secretariat of Energy and Mining
water_cons_an_l_s	Vazão da quantidade de água consumida pela dessedentação animal	l/s	National Water Agency
water_cons_an_l_s_inhab	Vazão per capita da quantidade de água consumida pela dessedentação animal	l/s/hab	IBGE; National Water Agency
water_cons_ir_l_s	Vazão da quantidade de água consumida pela irrigação	l/s	National Water Agency
water_cons_ir_l_s_inhab	Vazão per capita da quantidade de água	l/s/inhab	IBGE; National Water Agency

consumida pela irrigação

[1] O dado referente à cobertura vegetal abrange desde florestas naturais até florestas plantadas para fins comerciais.

Nosso entendimento de desenvolvimento humano foi orientado pelo Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (UNDP, 1990). O principal indicador de qualidade de vida e iniquidade deste estudo é o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (FIMD), que é um indicador composto e calculado anualmente para os municípios brasileiros pelo Sistema Firjan com base na ponderação igual das estatísticas públicas oficiais de três dimensões do desenvolvimento humano: emprego e renda, saúde e educação.

No geral, o objetivo principal do FIMD é monitorar as conquistas e os desafios socioeconômicos dos municípios por meio de 15 variáveis que quantificam a geração local de emprego e renda, a qualidade da educação e a cobertura da atenção primária à saúde. O FIMD é semelhante ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), porém, diferentemente do IDH-M, o FIMD é divulgado anualmente.

3.3. Análise estatística

Com base no conjunto de dados descrito na Tabela 1, agrupamos os municípios da MMP por meio da técnica *self organizing-map* ou redes de Kohonen, que representam uma classe de algoritmos de rede neural na categoria de aprendizagem não supervisionada (KOHONEN, 2001).

Esta técnica permite uma projeção não linear de uma variedade de dados de grande dimensão em grade baixa de (duas) dimensões, que pode representar o entendimento de dependências comuns entre variáveis, relações de similaridade e estruturas de cluster dentro de conjuntos de dados maiores (BENITES-LAZARO; ANDRADE , 2019). O algoritmo da técnica identifica a estrutura de dados dentro do espaço multidimensional e a projeta em uma malha plana, criando um mapa de conhecimento que pode observar relações de similaridade no espaço multidimensional (VILLASENOR et al., 2017).

Neste estudo, usamos o LabSOM, que é um sistema de software de código aberto usado para analisar as características de auto-organização das

redes neurais artificiais de Kohonen. Os dados podem ser gerados em duas ou três dimensões como pontos uniformemente distribuídos em superfícies com uma forma conhecida para uso posterior como um conjunto de treinamento para a rede neural. Isso permitiu observar a evolução do referido treinamento e sua projeção em forma de mapa bidimensional (CALVET et al., 2007).

Self organizing-map é uma técnica que é modelada como uma grade hexagonal bidimensional, onde cada hexágono representa um neurônio artificial e um local para mapeamento de pontos de dados (VILLASENOR et al., 2017). Neste estudo, primeiro normalizamos os dados e depois treinamos o modelo por meio de redes neurais com 64 neurônios de 19 variáveis para 180 municípios. Usamos o algoritmo de agrupamento de Ward para gerar um mapa de auto-organização e resultados de agrupamento (WARD, 1963).

O mapa auto-organizado final foi o resultado de um processo de treinamento iterativo da rede neural, pelo qual a rede aprendeu a projetar padrões semelhantes em hexágonos de localização próxima no mapa (BENITES-LAZARO; ANDRADE, 2019). Com base nos resultados do LabSOM que agrupou os municípios da Macrometrópole, também realizamos uma análise descritiva dos dados referentes ao desenvolvimento humano, à infraestrutura verde e à quantidade de terra e água destinadas à pecuária e à produção de alimentos por meio de tabelas e gráficos boxplot criados em Software R.

4. Resultados

4.1. Identificação dos clusters

As Figuras 2 e 3 mostram, respectivamente, a clusterização e a configuração espacial dos 180 municípios da MMP a partir de quatro *clusters* que foram formados e nomeados de acordo com algumas de suas principais características (considerando os objetivos deste estudo):

- *Capital Receivers* (influenciados pela cidade de São Paulo): agrega 16 (8,9%) municípios e tem um total de 14,6 milhões de habitantes (43,3% da população total da MMP). Este *cluster* recebe forte influência da cidade de São Paulo (que possui 12 milhões de habitantes, a maior população municipal da MMP); e apesar de ser altamente urbanizado, esse *cluster*

contém consideráveis porções de terra com cobertura vegetal, incluindo florestas nativas.

- *Hinterland Receivers*: 23 (12,8%) municípios e 4,8 milhões de habitantes (14%). Esse *cluster* agrega os municípios com as maiores quantidades de terra dedicadas à produção agropecuária.
- *Developed Receivers*: 93 (51,7%) municípios que juntos somam 13,8 milhões de habitantes (41,1%). Além de agrupar os municípios com os maiores PIBs per capita, esse *cluster* possui municípios com geração de energia termelétrica e bons indicadores de saúde e desenvolvimento humano.
- *Providers*: 48 (27,7%) dos 180 municípios da MMP com a menor quantidade de habitantes, cerca de 527,6 mil (1,6%). Esse cluster apresenta a maior quantidade de ativos em termos de IVA e provisão SE, além dos piores indicadores de desenvolvimento humano.

Figure 2. Clusterização dos municípios do território da MMP por meio das variáveis estudadas.

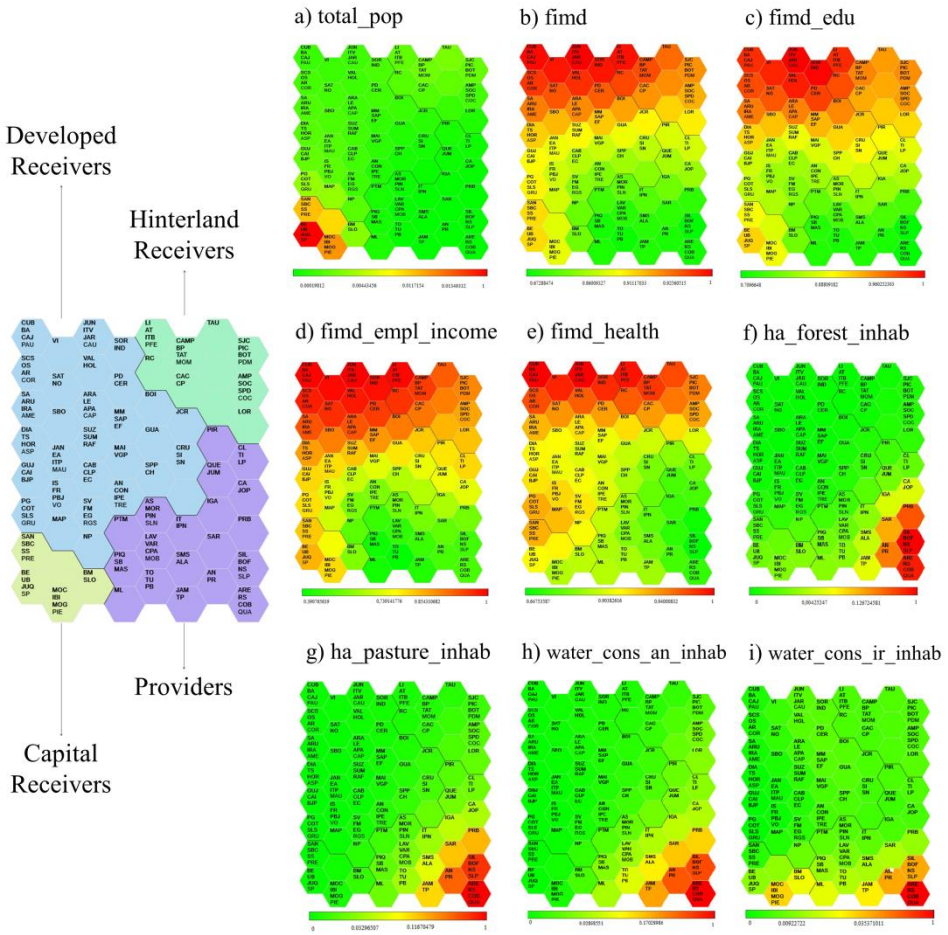
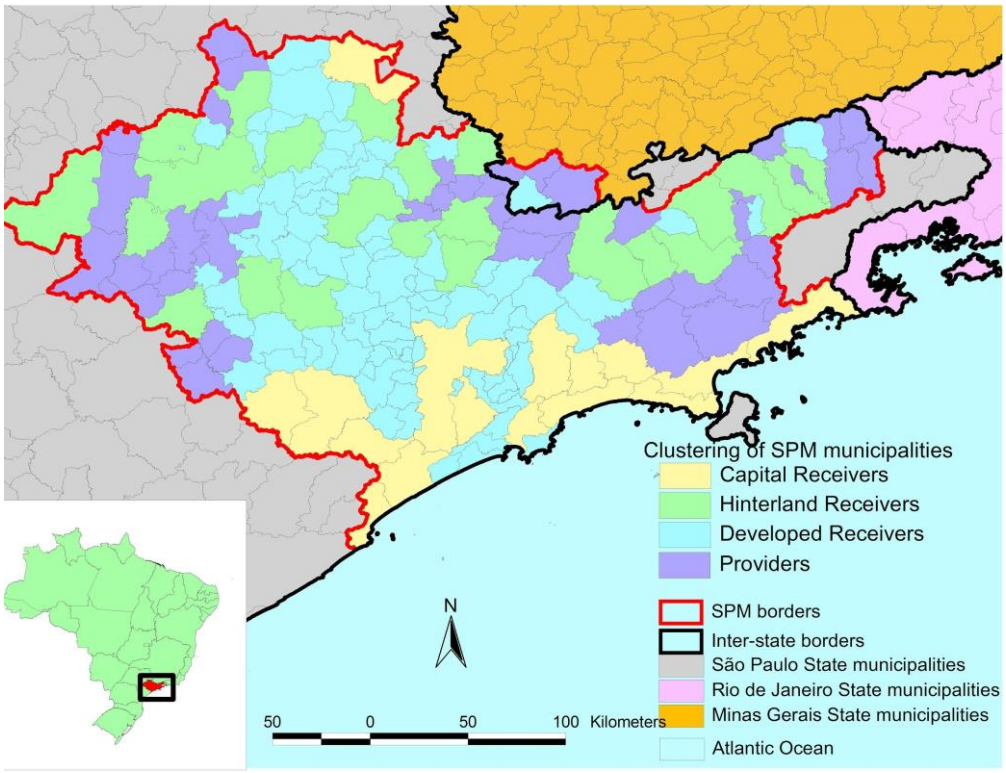
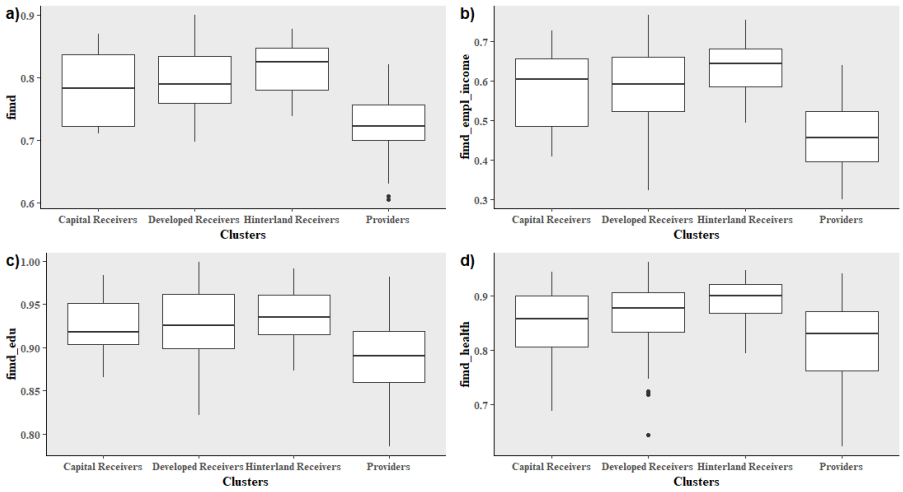


Figura 3. Mapa temático dos municípios da MMP a partir da clusterização.



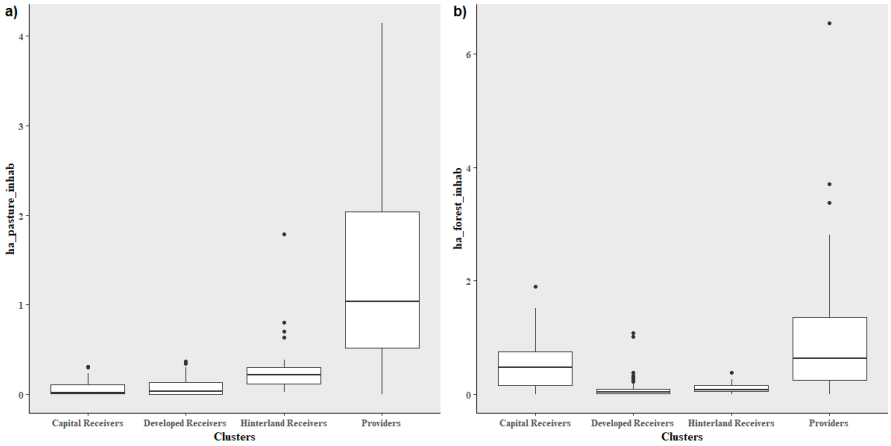
A Figura 4 compara a dispersão de dados entre os *clusters* a partir dos diferentes níveis de desenvolvimento humano. Nesta figura, é possível observar que o *cluster Providers* agrega a maior concentração de municípios com os mais baixos níveis de desenvolvimento humano de acordo com o Índice de Firjan (FIMD) e seus componentes.

Figura 4. Dispersão das variáveis relacionadas às condições de desenvolvimento humano na MMP.



A Figura 5 apresenta a dispersão de dados para as condições ambientais favoráveis à provisão de SE e mostra que os municípios categorizados no *cluster Providers* têm os maiores valores para o número de hectares de terra (em proporção à população) dedicada à cobertura vegetal e à produção agropecuária, enquanto que os demais *clusters* têm valores e variações menores. Portanto, considerando a heterogeneidade entre os *clusters* das Figuras 2-5, duas principais classes foram definidas para os municípios a partir da perspectiva da capacidade de provisão de SE e condições de vida: (1) recebedores de SE com alto nível de desenvolvimento humano (*Capital*, *Hinterland* e *Developed Receivers*); e (2) provedores de SE com baixo desenvolvimento humano (*Providers*).

Figura 5. Dispersão de dados (por habitante) de acordo com o (a) total de terra para produção agropecuária e (b) vegetal na MMP.



Finalmente, para conferir destaque às disparidades de provisão e recebimento de SE, ranqueamos os cinco municípios com as maiores e menores variáveis referentes à cobertura vegetal e à produção agropecuária (ha_food_inhab, ha_pasture_inhab e ha_forest_inhab) com o índice de Firjan (Tabelas 2-3). O *cluster Providers* agrupa os municípios com os maiores valores para as variáveis referentes à cobertura vegetal e produção agropecuária.

Tabela 2. Ranking de municípios com maiores e menores áreas de cobertura vegetal em proporção às suas populações e desenvolvimento humano (Índice de Firjan).

Ranking	Município	Cluster	Floresta (ha/inhab.)	Firjan
Maiores valores				
1º	Natividade da Serra	Providers	6.54	0.6728
2º	Anhembi	Providers	3.70	0.7217
3º	Redenção da Serra	Providers	3.37	0.7403
4º	Areias	Providers	2.81	0.6328
5º	Bofete	Providers	2.71	0.7233
Menores valores				
1º	São Caetano do Sul	Developed Receivers	0.00	0.8773
2º	Hortolândia	Developed Receivers	3.33×10^{-4}	0.8150
3º	Osasco	Developed Receivers	5.20×10^{-4}	0.8183
4º	Diadema	Developed Receivers	5.21×10^{-4}	0.8004
5º	Carapicuíba	Developed Receivers	5.23×10^{-4}	0.7510

Tabela 3. Ranking de municípios com as maiores e menores áreas de produção agropecuária em proporção às suas populações e desenvolvimento humano (Índice de Firjan).

Ranking	Município	Cluster	Produção agropecuária (ha/inhab.)	Firjan
Maiores valores				
1º	Anhembi	Providers	4.15	0.7217
2º	Natividade da Serra	Providers	3.69	0.6728
3º	Redenção da Serra	Providers	3.52	0.7403
4º	Areias	Providers	3.32	0.6328
5º	Lagoinha	Providers	3.14	0.6999
Menores valores				
1º	São Caetano do Sul	Developed Receivers	0.00	0.8773
2º	Diadema	Developed Receivers	2.29×10^{-5}	0.8004
3º	Santos	Capital Receivers	4.19×10^{-5}	0.8702
4º	Cubatão	Developed Receivers	7.37×10^{-5}	0.7852
5º	Taboão da Serra	Developed Receivers	7.56×10^{-5}	0.8018

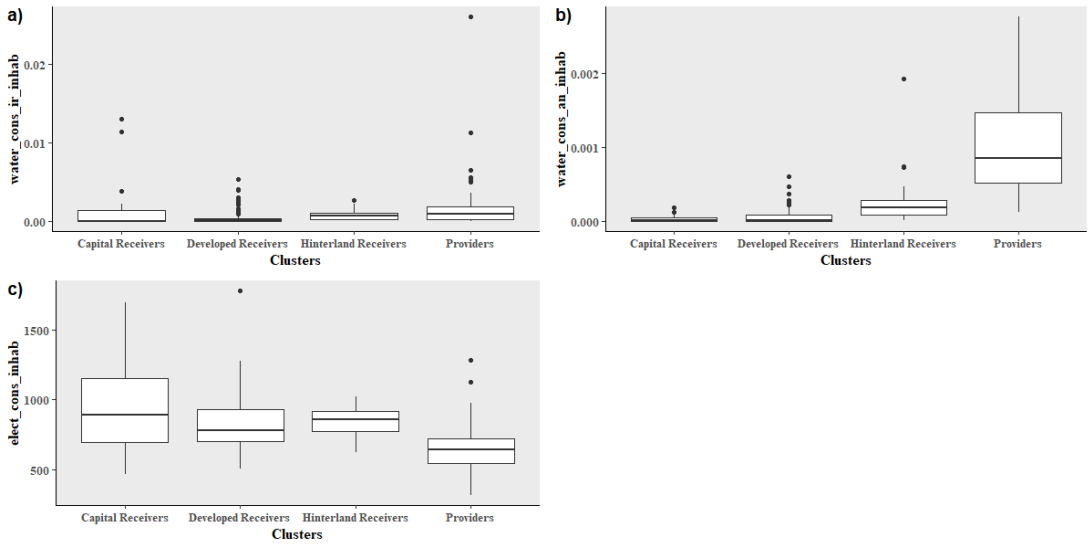
Os municípios de Natividade da Serra, Anhembi, Redenção da Serra e Areias registraram as maiores proporções de cobertura vegetal, quantidade de terras dedicadas à produção agropecuária e os menores Índices de Firjan (Tabelas 2-3). Por outro lado, a menor área de cobertura vegetal e de produção agropecuária foi verificada para São Caetano do Sul; o que não surpreende, pois essa área possui o maior Índice de Firjan de toda a MMP e é totalmente urbanizada.

4.2. Indicadores de nexo na MMP

A Figura 6 apresenta uma comparação da dispersão dos dados entre os *clusters* para o fluxo de água utilizado na agricultura irrigada e na dessedentação animal (ambos proporcionais à população). Os municípios do *cluster Providers* mostraram uma maior variação de dados para agricultura irrigada e dessedentação animal. De acordo com os dados coletados para os 180 municípios, a média do fluxo de água consumida para dessedentação animal foi de 3.69×10^{-4} l/s/hab. ± 6.12×10^{-4} l/s/hab., enquanto que a média do consumo da irrigação foi de 1.09×10^{-3} l/s/hab. ± 2.64×10^{-3} l/s/hab. A Figura 6 confirma que os provedores de SE são os mesmos municípios que registram iniquidades, o que é demonstrado pelo baixo nível de desenvolvimento humano. Além disso, a Figura 6c mostra o consumo total de energia por habitante entre os municípios

com uma média de 790.2 ± 217.6 kWh/hab., indicando um possível *trade-off* dentro do nexo.

Figura 6. Dispersão de dados (por habitante) de acordo com o consumo total de eletricidade e água para irrigação e dessedentação animal na MMP.



5. Discussão

5.1. Injustiças ambientais e IVA na MMP

Neste estudo, os resultados da clusterização dos municípios da MMP nos permitiu verificar que a heterogeneidade da dispersão de dados observada para o *cluster Providers* (Figura 2; Tabelas 2-3) revelou injustiças ambientais quanto ao desenvolvimento humano e à provisão, fluxo e acesso dos recursos água, energia e alimentos. Este achado sustenta a nossa hipótese de que a injustiça pode ocorrer na relação de suporte de SE e proporção de infraestrutura verde em associação a indicadores de baixo desenvolvimento humano. Além disso, esses resultados contrastam com a literatura existente que tende a relacionar positivamente justiça social com a IVA (WOLCH et al., 2014).

Outros estudos também têm contribuído com avaliações similares de regiões metropolitanas, mas eles não compararam recortes territoriais urbanos tão abrangentes como o da MMP (MARIA et al., 2019; DE MIRANDA et al., 2014). Especificamente, nossa abordagem fornece um ponto de vista diferenciado, que é intrínseco ao contexto local (municípios com provisão de IVA e SE) por fazer referência a um sistema urbano complexo onde as inequidades

aparecem interrelacionados e as singularidades municipais estão desconectadas do nível regional (ANDERSON et al., 2019; ARAÚJO JÚNIOR, 2008).

Essa afirmativa se justifica na medida em que os municípios que integram o *cluster Providers* (provedores de água e alimentos) apoiam o desenvolvimento regional, contribuindo para a provisão de SE, que são fundamentais para a manutenção da vida e sustentação de atividades econômicas. No entanto, esses mesmos municípios são os mesmos que apresentam os piores indicadores de emprego e renda, saúde e educação, bem como os *trade-offs* causados pela prestação desses serviços. Afinal, esse tipo de compensação ocorre quando o fornecimento de um SE é dificultado ou comprometido pela priorização de outro (RODRÍGUEZ et al., 2016; HAASE et al., 2014).

Quanto ao objetivo principal do nosso estudo, que é identificar vencedores e perdedores na MMP, identificamos os municípios menos favorecidos por essa complexa equação e buscamos chamar atenção para os grupos de cinco municípios ranqueados nas Tabelas 2-3. Dada importância dos *trade-offs* de SE (Rodríguez et al., 2006) e do nexo, entendemos que os municípios de Anhembi, Natividade da Serra, Redenção da Serra, Areias e Lagoinha (todos do *cluster Providers*), reconhecidos por abrigarem a maior quantidade de hectares de terras dedicadas à atividade agropecuária, podem não estar aproveitamento plenamente os benefícios de SE culturais e de regulação em comparação com outros municípios da região macrometropolitana. Afinal de contas, a atividade agropecuária altera a paisagem e pode comprometer a paisagem local (LEIP et al., 2015), que são elementos essenciais para a prestação desses dois serviços associados à prosperidade e ao bem-estar.

Esses mesmos municípios, com exceção de Lagoinha, também apresentaram a maior quantidade de hectares de cobertura vegetal por habitante (Tabela 2), o que indica que podem representar a condição oposta de municípios como São Caetano do Sul (*Developed Receivers*), por exemplo, que é totalmente urbanizado e tem um elevado grau de desenvolvimento humano. Na MMP, os municípios provedores de água e alimentos que possuem cobertura nativa são limitados pela lei a intensificar atividades econômicas que garantem a preservação ambiental; assim, deveriam ter outros tipos de incentivos para

garantir o desenvolvimento econômico e humano. Além disso, a quantidade de água que é destinada às atividades de irrigação e dessedentação animal (Figs. 6a-6b) constituem-se de bens que são aproveitados por outros municípios da Macrometrópole.

No entanto, outros benefícios como insumos agrícolas, mercado e oportunidades de trabalho que são providenciados pelos municípios categorizados como recebedores de água e alimentos não deveriam ser desconsiderados no processo de elaboração de políticas, que também precisa levar em conta o abastecimento e consumo de recursos naturais em um recorte territorial extremamente urbanizado como o da MMP. Porém, considerando os desafios de desenvolvimento sustentável (UN, 2015), o desenvolvimento humano desses municípios não deve comprometer a provisão de SE culturais e de regulação, bem como a qualidade de vida em municípios classificados como provedores de água e alimentos (GEBRE; GEBREMEDHIN, 2019; MIDDLETON et al., 2015).

Assim, considerando o planejamento atual da região macrometropolitana, autores como Torres et al. (2019) desacreditam que esse cenário atual de desigualdade possa ser diferente no futuro, tendo em vista as diferenças de investimentos financeiros alocados em projetos de infraestrutura para as regiões metropolitanas; em outras palavras, a região metropolitana de São Paulo continuará sendo detentora da maior quantidade de capital. Nossos achados também corroboram com essa informação, pois os *clusters Capital* e *Developed Receivers* agregam a região metropolitana de São Paulo e a cidade de São Paulo, que abriga um contingente populacional de 28.431.730 habitantes que corresponde a 84,4% da população total da MMP.

Em relação às garantias de proteção da infraestrutura verde, provisão de SE e geração de emprego e renda, o Plano de Ação da Macrometrópole sugere uma série de alternativas; cabendo destaque à execução de ações direcionadas ao turismo sustentável e pagamentos de SE a partir da implantação do Programa de Remanescentes Florestais da Política de Mudanças Climáticas do Estado de São Paulo (PEMC, 2009). No entanto, essas políticas não contextualizam as relações de injustiça ambiental aqui descritas (Figs. 2-6; Tabelas 2-3). E como alternativa à promoção de desenvolvimento sustentável para os municípios inseridos no *cluster Providers*, tem-se a possibilidade de conferir uma

remuneração financeira como garantia à conservação ambiental, mesmo esse tipo de intervenção não excluindo os *trade-offs* entre SE (MATTHIES et al., 2016, PATTANAYAK et al., 2010; JACK et al., 2008).

O turismo sustentável tem sido cotado como uma alternativa ao desenvolvimento pelo Plano de Ação da Macrometropole, sugerindo que certas unidades de conservação da MMP podem ser exploradas a partir de parcerias estabelecidas com o setor privado. No entanto, embora a ideia de explorar a multifuncionalidade dos ecossistemas em uma perspectiva de manejo sustentável seja positiva, a introdução de novos *stakeholders* do setor privado pode comprometer a efetividade dessa política pública (LEACH et al., 2019, STEPHENSON, 2012).

Diante dessas informações, há uma preocupação de que a distribuição de benefícios pode não ser homogênea e justa entre os residentes locais e organizações públicas e privadas (TORRES et al., 2019; SUWARNO et al., 2015). A inclusão de terceiros pode representar uma política marginal, reforçando a falta de políticas mais robustas e voltadas ao desenvolvimento da MMP que conferem proteção à infraestrutura verde regional; por exemplo, municípios como Natividade da Serra, Bofete e Redenção da Serra (do *cluster Providers*) poderiam se beneficiar das atividades de turismo ecológico devido aos seus baixos indicadores de desenvolvimento humano apresentados neste estudo (Tabelas 2-3).

Portanto, é necessário que um modelo de gestão dedicado aos desafios macrometropolitanos se engaje em uma análise responsável dos benefícios obtidos pela IVA no território, a fim de garantir que eles sejam distribuídos entre todos os atores envolvidos. Além disso, a associação entre desenvolvimento humano e limites ecológicos continua exigindo novas interpretações, pois o IDH-M não contempla dimensões ecológicas (aplicamos o FIMD, que é análogo a este índice) (MACCARI, 2014; Bravo, 2014). Da mesma forma, em relação aos indicadores de nexo, acreditamos que a análise aqui realizada para a Macrometrópole permite explorar conjuntamente os déficits entre desenvolvimento humano, justiça ambiental e possibilidades de busca de sinergias entre os fluxos de abastecimento de água, energia e alimentos.

Apesar dos *trade-offs* do nexo se apresentarem como grandes desafios para os tomadores de decisão, lidar com esses *trade-offs* não é necessariamente

uma panaceia; ao contrário, esses desafios devem ser vistos como alternativas capazes de nortear políticas públicas comprometidas com a eficiência, maior equidade e justiça ambiental (VIRA et al., 2012).

5.2. Análise da IVA sob a perspectiva dos trade-offs do nexo água-energia-alimentos

Ao explorar as interações entre os setores do nexo, os clusters de municípios recebedores são proeminentes por serem importantes demandantes de energia per capita. Tanto o *Capital Receivers* quanto o *Developed Receivers*, por seus grandes contingentes populacionais, também são representativos da demanda total da Macrometrópole. Embora a energia elétrica que abastece a MMP venha principalmente de outras regiões como da usina de Itaipu que está localizada na fronteira do Brasil com o Paraguai, o seu fornecimento e escassez estão em relação elementar com a formação da MMP no sentido analítico do nexo. Essa demanda de energia, por exemplo, pode estar relacionada à contaminação da represa Billings, que é um enorme reservatório próximo ao município de São Paulo. Essa contaminação ocorreu pela falta de planejamento diante das fortes pressões causadas pelo crescimento populacional e industrial do século XX (GIATTI et al., 2016). A represa Billings foi priorizada para geração de energia e controle de enchentes e, portanto, recebeu altas cargas de água poluída em seu escoamento (HORTELLANI et al., 2013; ROCHA et al., 1985).

O *trade-off* desse passivo ambiental ocorreu em resposta ao atendimento de pressões desenvolvimentistas, comprometendo a possibilidade de usos múltiplos e sinergias entre as dimensões do nexo água-energia-alimentos. Atualmente, a busca contínua por águas em locais distantes do território gera disputas e gastos adicionais de energia; e em parte, essa busca ocorre em decorrência da impossibilidade de uso da água para a própria represa Billings (GIATTI et al., 2016).

O outro lado do *trade-off* do nexo água-energia é o caso do Sistema Cantareira, que abastece o município de São Paulo e seu entorno. A água desse sistema é importada de quatro municípios mineiros: Camanducaia, Extrema, Itapeva e Toledo, todos do *cluster Providers*. Da mesma forma, para abastecer essa mesma área altamente urbanizada, inaugurou-se o sistema de

abastecimento de água São Lourenço que importa água dos municípios de Ibiúna e Juquitiba (*cluster Capital Receivers*) que estão localizados a 70 km de distância. Assim, a água de uma fonte distante usada para substituir recursos hídricos historicamente degradados em áreas densamente urbanizadas exige mais energia para o transporte e restringe a capacidade dos municípios provedores de usar a água para seu próprio desenvolvimento. De acordo com Rodríguez et al. (2006), esta categoria de *trade-off* refere-se à tomada de decisão voltada à prestação imediata de um SE, comprometendo tal serviço ou outros serviços no futuro. Tal tendência relaciona-se a um paradigma predominante da engenharia sanitária e à tomada de decisão centralizada (POUPEAU et al., 2018; JACOBI et al., 2015). Sendo assim, em nosso estudo, notamos que os *trade-offs* do nexo no território da MMP estão emaranhados por meio de horizontes espaço-temporais.

No que se refere ao Plano Diretor de Recursos Hídricos da Macrometrópole Paulista (DAEE, 2013), a capacidade do território de mitigar o problema central da escassez de recursos hídricos é referida sob a perspectiva de reversibilidade (RODRÍGUEZ et al., 2006) que supõe novas alternativas por meio da redução dos *trade-offs*. Assim, analiticamente, a centralidade das questões hídricas alinha-se com a aplicabilidade da proposta do nexo, bem como com o reconhecimento da importância da IVA que favorece a provisão de SE (BARBOSA et al., 2019).

Até 2035, a vazão do consumo total de água na MMP está estimada em 283,07 m³/s pelo DAEE (2013), sendo que, desse total, 134,41 m³/s será destinada ao abastecimento urbano, 61,80 m³/s à irrigação e 86,86 m³/s às indústrias. Comparando essas demandas estimadas com o consumo medido em 2008, a agricultura irrigada demandaria um volume adicional de 17,8 m³/s para se equiparar à demanda futura, o que representa um aumento de 40,5% para o setor. No entanto, entende-se que a atual infraestrutura hídrica da Macrometrópole não é capaz de garantir essa vazão; necessitando, dessa maneira, de “um novo sistema de larga escala para aumentar significativamente a disponibilidade de água bruta” (DAEE, 2013, p. 4), além de ações de controle operacional que poderiam reduzir a vazão de quase 300 m³/s para 251,44 m³/s.

O delicado quadro em termos de escassez hídrica e sua centralidade na abordagem do nexo também apresentam desafios adicionais face às possibilidades extremas representadas pelas mudanças climáticas. Nesse sentido, a severa crise hídrica de 2014-2016 demonstrou as vulnerabilidades da Região Metropolitana de São Paulo e de toda a MMP, que se tornaram nitidamente interligadas pela escassez. Essa crise da água tem como um de seus determinantes as mudanças climáticas que colocou em evidência um novo padrão de seca e a insuficiência da informação para a gestão, incapacidade de respostas previamente delimitadas e falta de governança (TORRES et al., 2019; SINISGALLI et al., 2018; BROTO; BULKELEY, 2013).

Em nossa análise, entendemos, também, que os municípios do *cluster Providers* devem tornar-se alvos de planejamento, não apenas no sentido da escassez hídrica. Em vez disso, as interrelações de IVA, SE e seus respectivos fluxos por meio do nexo devem orientar a busca por sinergias na redução de *trade-offs*, bem como fornecer melhores condições de vida ao reparar as injustiças ambientais evidenciadas (Figs. 2-6, Tabelas 2-3). Além disso, otimizar a conservação dos recursos locais como a preservação da água nas proximidades dos grandes centros urbanos pode amenizar a pressão das importações de água de longa distância, reduzindo *trade-offs* de eletricidade e mantendo a disponibilidade de água para a produção de alimentos (PERRONE et al., 2011) em municípios com essa vocação territorial. Nesse contexto, a abordagem do nexo pode criar sinergias dentro de estruturas de governança cada vez mais sofisticadas que podem se tornar cada vez mais adaptáveis às mudanças climáticas (URBINATTI et al., 2020; MPANDELLI et al., 2018; PAHL-WOSTL, 2009).

Ao considerar o escopo da abordagem do nexo água-energia-alimentos, explorar indicadores para as interações e *trade-offs* entre os setores envolvidos é desafiador. Além disso, alguns autores desenvolveram estudos e estratégias de intervenção com base na correspondência de fluxo, eficiência e impacto ambiental, e estes estão relacionados às demandas por água, energia e alimentos (ARTHUR et al., 2019; ALBRECHT et al., 2018). Portanto, em nosso estudo, exploramos a relação com a energia de duas maneiras diferentes. Em primeiro lugar, existe uma condição pertinente de injustiça, pois o *cluster Providers* também apresenta os níveis mais baixos de consumo de energia por

habitante (Fig. 6c). Em segundo lugar, a energia é intrínseca à questão histórica da gestão da água para todo o território.

Neste estudo, o nexo torna-se um elemento de interesse considerável, pois é uma possibilidade de otimização dos fluxos entre a disponibilidade de recursos naturais (IVA) e a provisão de ES. Desse modo, ao compreender o nexo como possibilidade de ações direcionadas a fluxos, eficiências e impactos, pode haver uma busca por sinergias. No entanto, essas alternativas também devem ter o objetivo de mitigar as injustiças ambientais que constituem-se de um elemento de insustentabilidade na dinâmica do território.

6. Conclusões

Analisando a IVA das cidades da região estudada junto à sua capacidade de prover SE em proporção às suas populações, este estudo revelou relações de injustiça ambiental. A princípio, pessoas em municípios diferentes têm direitos equivalentes, mas aqueles que residem nos municípios categorizados como provedores suprem as necessidades de seus pares no sistema macrometropolitano e não contam com as mesmas oportunidades em termos de desenvolvimento humano. Nesse sentido, diante da interdependência e escassez de recursos na Macrometrópole, remediar esse tipo de injustiça pode ser um importante avanço que garante e otimiza o fornecimento de SE.

O território macrometropolitano, por possuir municípios altamente distintos que são dependentes e interligados entre si, apresenta-se como um desafio analítico e demanda planejamento e ações intersetoriais assertivas. Diante disso, a técnica *self-organizing map* facilitou a identificação de clusters que se distinguiram entre perdedores e vencedores quanto à IVA e provisão de SE essenciais para a sustentabilidade da região; além disso, ainda evidenciou as desigualdades de oportunidades de inclusão social e desenvolvimento humano.

A abordagem do nexo água-energia-alimentos permanece sendo um desafio, mas pode contribuir para a interpretação de *trade-offs* relevantes em um sistema urbano ou território macrometropolitano. Concomitantemente, este estudo se limitou a recortes que integram os elementos do nexo e suas

interações. Os aspectos referentes à energia, por exemplo, foram minimamente contemplados devido à indisponibilidade de dados (para todos os municípios). Aqui, o recurso energia foi analisado como um elemento intrínseco às interações espaço-temporais dentro do nexo por meio do histórico regional de buscar água cada vez mais longe, a fim de suprir as necessidades de onde há uma maior concentração populacional.

Além dessas restrições, os dados de abastecimento de água e de alimentos sob a abordagem do nexo puderam ser considerados para analisar *trade-offs* com as demandas de energia para o abastecimento populacional e o problema sistêmico de escassez hídrica. Neste estudo, ainda destacamos a pertinência do desenvolvimento humano relativizado dentro dos limites ecológicos e da justiça.

As grandes aglomerações urbanas são influenciadas por suas centralidades associadas à aglomeração populacional e por suas atividades econômicas. No entanto, a partir deste estudo, nós acreditamos que um outro tipo de centralidade ficou evidente; a de uma centralidade constituída pela garantia de SE por meio da IVA que está sujeita a *trade-offs* associados à escassez. Neste estudo, reforçamos, também, que os municípios da MMP identificados como provedores e detentores dos piores indicadores de qualidade de vida demonstram externalidades e contradições inerentes à lógica do desenvolvimento humano. Esses municípios classificados como fornecedores de água e alimentos são, portanto, centrais para os sistemas de suporte à vida e para a prosperidade econômica da Macrometrópole.

A contradição primária, nesse sentido, é que o desenvolvimento humano em uma vasta aglomeração urbana deve ser entendido por meio de interdependências territoriais. Assim, regiões com papel fundamental no abastecimento de SE podem ter uma baixa taxa de desenvolvimento humano, além de serem um ponto quente em termos de suporte ecológico. Portanto, regiões provedoras requerem alternativas para garantir a provisão de SE e mitigação de possíveis injustiças ambientais.

Agradecimentos

Este trabalho é parte das atividades do projeto temático em andamento intitulado Governança Ambiental da macrometrópole paulista face à variabilidade

climática, processo nº 15/03804-9, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e apoiado pelo Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais.

Os autores também agradecem ao suporte financeiro recebido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processos nº 309840/2018-0 e 309840/2018-0), além dos outros suportes recebidos pela FAPESP (2017/17796-3; 2019/24479-0; e 2019/12804-3).

References

ALBRECHT, T. R., CROOTOF, A., SCOTT, C. A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environ. Res. Lett.** 13, 043002, 2018.

Alves, A., Vojinovic, Z., KAPELAN, Z., SANCHEZ, A., GERSONIUS, B. Exploring trade-offs among the multiple benefits of green-blue-grey infrastructure for urban flood mitigation. **Sci. Total Environ**. 703, 134980, 2019.

ALVIM, A. T. B., RUBIO, V. M., BÓGUS, L. M. C. Conflicts, vulnerable areas and sustainability in São Paulo Macrometropolis. **Ambient. Soc**. 23, e01331, 2020.

ANDERSSON, E., LANGEMEYER, J., BORGSTRÖM, S., MCPHEARSON, T., HAASE, D., KRONENBERG, J., BARTON, D.N., DAVIS, M., NAUMANN, S., RÖSCHEL, L., BARÓ, F. Enabling Green and Blue Infrastructure to Improve Contributions to Human Well-Being and Equity in Urban Systems. **Bioscience** 69, 566–574, 2019.

ANGUELOVSKI, I., MARTÍNEZ ALIER, J. The “Environmentalism of the Poor” revisited: Territory and place in disconnected glocal struggles. **Ecol. Econ**. 102, 167–176, 2014.

ARTHUR, M., LIU, G., HAO, Y., ZHANG, L., LIANG, S., ASAMOAH, E.F., LOMBARDI, G.V. Urban food-energy-water nexus indicators: A review. **Resour. Conserv. Recycl**. 151, 104481, 2019.

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

BARBOSA, A., MARTÍN, B., HERMOSO, V., ARÉVALO-TORRES, J., BARBIÈRE, J., MARTÍNEZ-LÓPEZ, J., DOMISCH, S., LANGHANS, S.D., BALBI, S., VILLA, F., DELACÁMARA, G., TEIXEIRA, H., NOGUEIRA, A.J.A., LILLEBØ, A.I., GIL-JIMÉNEZ, Y., MCDONALD, H., IGLESIAS-CAMPOS, A. Cost-effective restoration and conservation planning in Green and Blue Infrastructure designs. A case study on the Intercontinental Biosphere Reserve of the Mediterranean: Andalusia (Spain) – Morocco. **Sci. Total Environ**. 652, 1463– 1473, 2019.

BELLEZONI, R.A., SHARMA, D., VILLELA, A.A., PEREIRA JUNIOR, A.O. Water-energyfood nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás, Brazil: An analysis with regional input-output matrix. Biomass and Bioenergy 115, 108–119, 2018.

BENITES-LAZARO, L.., MELLO-THÉRY, N. Empowering communities? Local stakeholders' participation in the Clean Development Mechanism in Latin America. **World Dev**. 114, 254–266, 2019.

BENITES-LAZARO, L. L., ANDRADE, C. **Clean Development Mechanism: Key Lessons and Challenges in Mitigating Climate Change and Achieving Sustainable Development**, in: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2019. Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11863-9

BENITES-LAZARO, L. L., GIATTI, L. L., SOUSA JUNIOR, W. C., GIAROLLA, A. Land-waterfood nexus of biofuels: Discourse and policy debates in Brazil. **Environ. Dev.** 33, 100491, 2020.

BERETTA, I. Some Highlights on the Concept of Environmental Justice and its Use**. e-cadernos CES** 17, : 136-162, 2012.

BIGGS, E. M., BRUCE, E., BORUFF, B., DUNCAN, J. M. A., HORSLEY, J., PAULI, N., MCNEILL, K., NEEF, A., VAN OGTROP, F., CURNOW, J., HAWORTH, B., DUCE, S., IMANARI, Y. Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. **Environ. Sci. Policy** 54, 389–397, 2015.

BRAVO, G. The Human Sustainable Development Index: New calculations and a first critical analysis. Ecol. Indic. 37, 145–150. Castán Broto, V., 2017. Urban Governance and the Politics of Climate change. **World Dev**., 2014.

CASTÁN BROTO, V., BULKELEY, H. A survey of urban climate change experiments in 100 cities. **Glob. Environ. Chang**. 23, 92–102, 2013.

COVARRUBIAS, M. The nexus between water, energy and food in cities: towards conceptualizing socio-material interconnections. **Sustain. Sci**. 14, 277–287, 2019.

DAEE. **Plano Diretor de Aproveitamento dos Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista.** 2013 [WWW Document]. URL http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1112:plano-diretor-de-aproveitamento-dos-recursos-hidricos-para-a-macrometropole paulista&catid=42:combate-a-enchentes (accessed 7.14.19).

EMPLASA, 2014. Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040. Coleção Carteira de Projetos do PAM. [WWW Document]. URL https://emplasa.sp.gov.br/Comunicacao/Releases/Release/PAM-2013-2040-ganhaquatro-publicacoes (accessed 7.17.17).

EPA. **Environmental Justice Related Terms As Defined Across the PSC Agencies**, 1998.

ERNSTSON, H. The social production of ecosystem services: A framework for studying environmental justice and ecological complexity in urbanized landscapes. Landsc. **Urban Plan.** 109, 7–17, 2013.

ESCOBEDO, F.J., GIANNICO, V., JIM, C.Y., SANESI, G., LAFORTEZZA, R. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? **Urban For. Urban Green**. 37, 3–12, 2019.

EUROPEAN COMMISION**. Green Infrastructure - Environment - European Commission,** 2012. [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm (accessed 5.12.20).

FILHO, W.L., BARBIR, J., SIMA, M., KALBUS, A., NAGY, G.J., PALETTA, A., VILLAMIZAR, A., MARTINEZ, R., AZEITEIRO, U.M., PEREIRA, M.J., MUSSETTA, P.C., IVARS, J.D., SALGUEIRINHO OSÓRIO DE ANDRADE GUERRA, J.B., DE SILVA NEIVA, S., MONCADA, S., GALDIES, C., KLAVINS, M., NIKOLOVA, M., GOGU, R.C., BALOGUN, A.L., BOUREDJI, A., BONOLI, A. Reviewing the role of ecosystems services in the sustainability of the urban environment: A multi-country analysis. **J. Clean. Prod**. 262, 121338, 2020.

GEBRE, T., GEBREMEDHIN, B. The mutual benefits of promoting rural-urban interdependence through linked ecosystem services. **Glob. Ecol. Conserv**. 20, e00707, 2019.

GHOFRANI, Z., SPOSITO, V., FAGGIAN, R.. A Comprehensive Review of Blue-Green Infrastructure Concepts. **Int. J. Environ. Sustain.** 6, 15–36, 2017.

GIATTI, L., JACOBI, P., FAVARO, A., EMPINOTTI, V. O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estud. Avançados** 30, 43–61, 2016.

GIZ, ICLEI, 2014. **Operationalizing the Urban NEXUS Towards resource-efficient and integrated cities and metropolitan regions Case Studies Content** [WWW Document]. URL http://www2.gtz.de/urbanet/opencommunity/focus/urbannexus.asp (accessed 6.22.20).

GONDHALEKAR, D., RAMSAUER, T. Nexus City: Operationalizing the urban WaterEnergy-Food Nexus for climate change adaptation in Munich, Germany. **Urban Clim**. 19, 28–40, 2017.

HEARD, B.R., MILLER, S.A., LIANG, S., XU, M. Emerging challenges and opportunities for the food–energy–water nexus in urban systems. **Curr. Opin. Chem. Eng.** 17, 48–53, 2017.

HOFF, H. **Understanding the Nexus. Background paper for the Bonn2011 Nexus Conference**: Stock. Environ. Inst. 1–52, 2011.

HORTELLANI, M. A., SARKIS, J. E. S., MENEZES, L. C. B., BAZANTE-YAMAGUISHI, R., PEREIRA, A. S. A., GARCIA, P. F. G., MARUYAMA, L. S.,

GÊNOVA DE CASTRO, P. M. Assessment of metal concentration in the Billings Reservoir sediments, São Paulo State, Southeastern Brazil. J. Braz. Chem. Soc. 24, 58-67, 2013.

JACKA, B. K., KOUSKYA, C., SIMSA, K. R. E. Designing payments for ecosystem services: Lessons from previous experience with incentive-based mechanisms. **Proc. Natl. Acad. Sci**. U. S. A. 105, 9465–9470, 2008.

JACOBI, P.R., CIBIM, J., LEÃO, R. DE S. Crise hídrica na Macrometrópole Paulista e respostas da sociedade civil. **Estud. Avançados** 29, 27–42, 2015.

KATI, V., JARI, N. Bottom-up thinking-Identifying socio-cultural values of ecosystem services in local blue-green infrastructure planning in Helsinki, Finland. **Land use policy** 50, 537–547, 2016.

KOHONEN, T., 2001. **The Self-Organizing Map**, 3rd ed. Springer. https://doi.org/10.1109/5.58325

LAMOND, J., EVERETT, G. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. Landsc. **Urban Plan.** 191, 103639, 2019.

LANGEMEYER, J., CONNOLLY, J. J. T. Weaving notions of justice into urban ecosystem services research and practice. **Environ. Sci. Policy** 109, 1–14, 2020.

LEACH, K., GRIGG, A., O'CONNOR, B., BROWN, C., VAUSE, J., GHEYSSENS, J., WEATHERDON, L., HALLE, M., BURGESS, N. D., FLETCHER, R., BEKKER, S., KING, S., JONES, M. A common framework of natural capital assets for use in public and private sector decision making. **Ecosyst. Serv**. 36, 100899, 2019.

LEIP, A., BILLEN, G., GARNIER, J., GRIZZETTI, B., LASSALETTA, L., REIS, S., SIMPSON, D., SUTTON, M.A., DE VRIES, W., WEISS, F., WESTHOEK, H. Impacts of European livestock production: Nitrogen, sulphur, phosphorus and greenhouse gas emissions, land-use, water eutrophication and biodiversity. **Environ. Res. Lett**. 10, e115004, 2015.

MACCARI, N. Environmental Sustainability and Human Development: A Greening of Human Development Index. **SSRN Electron. J**, 2014. https://doi.org/10.2139/ssrn.2426073

MATTHIES, B. D., KALLIOKOSKI, T., EYVINDSON, K., HONKELA, N., HUKKINEN, J. I., KUUSINEN, N. J., RÄISÄNEN, P., VALSTA, L.T. Nudging service providers and assessing service trade-offs to reduce the social inefficiencies of payments for ecosystem services schemes. **Environ. Sci. Policy** 55, 228–237, 2016.

MEA. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis Report**, 2005.

MEEROW, S., NEWELL, J. P. Urban resilience for whom, what, when, where, and why? **Urban Geogr.** 40, 309–329, 2019.

MIDDLETON, C., ALLOUCHE, J., GYAWALI, D., ALLEN, S. The Rise and Implications of the Water-Energy-Food Nexus in Southeast Asia through an Environmental Justice Lens. **Water Altern**. 8, 627–654, 2015.

OLIVEIRA, J. A. P. DE, DOLL, C. N. H., SIRI, J., DREYFUS, M., FARZANEH, H., CAPON, A. Urban governance and the systems approaches to health-environment co-benefits in cities. Cad. Saude Publica 31, S25–S38, 2015.

PAHL-WOSTL, C. Governance of the water-energy-food security nexus: A multilevel coordination challenge. Environ. Sci. Policy 92, 356–367, 2019.

PATTANAYAK, S. K., WUNDER, S., FERRARO, P. J. Show me the money: Do payments supply environmental services in developing countries? Rev. Environ. Econ. Policy 4, 254–274, 2010.

PERRONE, D., MURPHY, J., HORNBERGER, G. M. Gaining perspective on the waterenergy nexus at the community scale. Environ. Sci. Technol. 43, 4228–4234, 2011.

POUPEAU, L., DELPHINE, R., MERCIER, G., MASSARDIER, E., JACOBI, P. Water conflicts and hydrocracy in the Americas: coalitions, networks, policies. Ramirez-Andreotta, M., 2019. Chapter 31 – Environmental Justice, in: Environmental and Pollution Science. pp. 573–583, 2018.

ROCHA, A. A., PEREIRA, D. N., DE PADUA, H. B. Produtos de pesca e contaminantes químicos na água da Represa Billings, São Paulo (Brasil). Rev. Saude Publica 19, 401–410, 1985.

RODRÍGUEZ, J. P., BEARD, T. D., BENNETT, E. M., CUMMING, G. S., CORK, S. J., AGARD, J., DOBSON, A. P., PETERSON, G. D. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. Ecol. Soc. 11, 28, 2006.

ROMERO-DUQUE, L. P., TRILLERAS, J. M., CASTELLARINI, F., QUIJAS, S. Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: How do they contribute to urban planning? Sci. Total Environ. 728, 138780, 2020.

SCHLOSBERG, D. Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature, Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature, 2007.

SETO, K. The Routledge Handbook of Urbanization and Global Environmental Change, The Routledge Handbook of Urbanization and Global Environmental Change, 2015. https://doi.org/10.4324/9781315849256

SETO, K.C., GOLDEN, J.S., ALBERTI, M., TURNER, B.L. Sustainability in an urbanizing planet. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 114, 8935–8938, 2017.

SINISGALLI, P. A. D. A., FRACALANZA, A. P., GIATTI, L. L., TADEU, N. D. Consequências socioeconômicas da crise da água em São Paulo, in: Livro Branco Da Água. A Crise Hídrica Na Região Metropolitana de São Paulo Em 2013-2015: Origens, Impactos e Soluções. pp. 74–88, 2018.

SIRAKAYA, A., CLIQUET, A., HARRIS, J. Ecosystem services in cities: Towards the international legal protection of ecosystem services in urban environments. Ecosyst. Serv. 29, 205–212, 2018.

SUWARNO, A., HEIN, L., SUMARGA, E. Who Benefits from Ecosystem Services? A Case Study for Central Kalimantan, Indonesia. **Environ. Manage.** 57, 331–344, 2016.

SVARSTAD, H., BENJAMINSEN, T.A. Reading radical environmental justice through a political ecology lens. **Geoforum** 108, 1–11, 2020.

THE WORLD ECONOMIC FORUM, 2011. **Water Security: The Water-Food-Energy-Climate Nexus [**WWW Document]. World Econ. Forum. URL http://islandpress.org/watersecurity (accessed 4.5.19).

TORRES, P.H., FERREIRA RAMOS, R., GONÇALVES, L. Conflitos ambientais na Macrometrópole Paulista : Paranapiacaba e São Sebastião 1. **Ambient. Soc.** 22, 2019.

TRAVASSOS, L. R. F. C., ZIONI, S. M., TORRES, P.H.C., DE SOUZA FERNANDES, B., ARAUJO, G. M., 2020. Heterogeneity and spatial fragmentation in the Sao Paulo macrometropolis: The production of borders and holes. **Ambient. e Soc**. 23, e01801.

UNDP. **Human development report**, 1990 [WWW Document]. URL http://hdr.undp.org/sites/default/files/reports/219/hdr_1990_en_complete_nostats.p df (accessed 8.8.19).

UNITED NATIONS, 2015. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.** A/RES/70/1, United Nations General Assembly.

URBINATTI, A. M., BENITES-LAZARO, L. L., CARVALHO, C. M. DE, GIATTI, L. L. The conceptual basis of water-energy-food nexus governance: systematic literature review using network and discourse analysis. **J. Integr. Environ. Sci**. 1–23.

VILLASENOR, E., ARENCIBIA-JORGE, R., CARRILLO-CALVET, H. Multiparametric characterization of scientometric performance profiles assisted by neural networks: a study of Mexican higher education institutions. **Scientometrics** 110, 77–104, 2020, 2017.

VIRA, B., ADAMS, B., AGARWAL, C., BADIGER, S., HOPE, R.A., KRISHNASWAMY, J., KUMAR, C. Negotiating trade-offs choices about ecosystem services for poverty alleviation. **Econ. Polit. Wkly**. 47, 67–75, 2012.

WALKER, G. Environmental justice: Concepts, evidence and politics, Environmental Justice: Concepts, Evidence and Politics. Ward, J.H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **J. Am. Stat. Assoc**. 58, 236–244, 2012.

WELL, F., LUDWIG, F. Blue–green architecture: A case study analysis considering the synergetic effects of water and vegetation. **Front. Archit. Res.**, 2019.

WOLCH, J. R., BYRNE, J., NEWELL, J. P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities “just green enough.” Landsc. **Urban Plan**. 125, 234–244, 2014.

ZHANG, P., ZHANG, L., CHANG, Y., XU, M., HAO, Y., LIANG, S., LIU, G., YANG, Z., WANG, C. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. **Resour. Conserv. Recycl**. 142, 215–224, 2019.

ZHU, Z., REN, J., LIU, X. Green infrastructure provision for environmental justice: Application of the equity index in Guangzhou, China. **Urban For. Urban Green**. 46, 126443, 2019.

Material suplementar

1. Lista dos municípios com suas respectivas siglas e clusters.

Siglas	Municípios	Clusters
BE	Bertioga	Capital Receivers
BM	Biritiba Mirim	Capital Receivers
CAR	Caraguatatuba	Capital Receivers
IBI	Ibiúna	Capital Receivers
ITN	Itanhaém	Capital Receivers
JUQ	Juquitiba	Capital Receivers
MOC	Mogi das Cruzes	Capital Receivers
MOG	Mogi Guaçu	Capital Receivers
PIE	Piedade	Capital Receivers
PRE	Peruíbe	Capital Receivers
SAN	Santos	Capital Receivers
SBC	São Bernardo do Campo	Capital Receivers
SLO	Salesópolis	Capital Receivers
SP	São Paulo	Capital Receivers
SS	São Sebastião	Capital Receivers
UB	Ubatuba	Capital Receivers
ALU	Alumínio	Developed Receivers
AME	Americana	Developed Receivers
AN	Artur Nogueira	Developed Receivers
APA	Aparecida	Developed Receivers
AR	Araçariguama	Developed Receivers
ARA	Araras	Developed Receivers
ARU	Arujá	Developed Receivers
ASP	Águas de São Pedro	Developed Receivers

BA	Barueri	Developed Receivers
BJP	Bom Jesus dos Perdões	Developed Receivers
BOI	Boituva	Developed Receivers
CAB	Carapicuíba	Developed Receivers
CAI	Caieiras	Developed Receivers
CAJ	Cajamar	Developed Receivers
CAP	Capivari	Developed Receivers
CAU	Cabreúva	Developed Receivers
CER	Cerquilho	Developed Receivers
CH	Charqueada	Developed Receivers
CLP	Campo Limpo Paulista	Developed Receivers
CON	Conchal	Developed Receivers
COR	Cordeirópolis	Developed Receivers
COS	Cosmópolis	Developed Receivers
COT	Cotia	Developed Receivers
CRU	Cruzeiro	Developed Receivers
CUB	Cubatão	Developed Receivers
DIA	Diadema	Developed Receivers
EA	Embu das Artes	Developed Receivers
EC	Engenheiro Coelho	Developed Receivers
EF	Elias Fausto	Developed Receivers
EG	Embu-Guaçu	Developed Receivers
EX	Extrema	Developed Receivers
FM	Francisco Morato	Developed Receivers
FR	Franco da Rocha	Developed Receivers
FV	Ferraz de Vasconcelos	Developed Receivers
GRU	Guarulhos	Developed Receivers
GUA	Guararema	Developed Receivers
GUJ	Guarujá	Developed Receivers
HOL	Holambra	Developed Receivers
HOR	Hortolândia	Developed Receivers
IND	Indaiatuba	Developed Receivers
IPE	Iperó	Developed Receivers
IRA	Iracemápolis	Developed Receivers
IS	Itapecerica da Serra	Developed Receivers
ITP	Itapevi	Developed Receivers
ITQ	Itaquaquecetuba	Developed Receivers
ITV	Itupeva	Developed Receivers
JAN	Jandira	Developed Receivers
JAR	Jarinu	Developed Receivers
JCR	Jacareí	Developed Receivers
JGA	Jaguariúna	Developed Receivers
JUN	Jundiaí	Developed Receivers

LE	Leme	Developed Receivers
LOU	Louveira	Developed Receivers
MAI	Mairinque	Developed Receivers
MAP	Mairiporã	Developed Receivers
MAU	Mauá	Developed Receivers
MGG	Mongaguá	Developed Receivers
MM	Monte Mor	Developed Receivers
NO	Nova Odessa	Developed Receivers
NP	Nazaré Paulista	Developed Receivers
OS	Osasco	Developed Receivers
PAU	Paulínia	Developed Receivers
PBJ	Pirapora do Bom Jesus	Developed Receivers
PD	Pedreira	Developed Receivers
PG	Praia Grande	Developed Receivers
POA	Poá	Developed Receivers
RAF	Rafard	Developed Receivers
RGS	Rio Grande da Serra	Developed Receivers
RP	Ribeirão Pires	Developed Receivers
RPE	Rio das Pedras	Developed Receivers
SA	Santo André	Developed Receivers
SAP	Santo Antônio de Posse	Developed Receivers
SAT	Salto	Developed Receivers
SBO	Santa Bárbara d'Oeste	Developed Receivers
SCS	São Caetano do Sul	Developed Receivers
SDP	Santana de Parnaíba	Developed Receivers
SG	Santa Gertrudes	Developed Receivers
SI	Santa Isabel	Developed Receivers
SLS	São Lourenço da Serra	Developed Receivers
SN	Serra Negra	Developed Receivers
SOR	Sorocaba	Developed Receivers
SPP	Salto de Pirapora	Developed Receivers
SR	São Roque	Developed Receivers
SUM	Sumaré	Developed Receivers
SUZ	Suzano	Developed Receivers
SV	São Vicente	Developed Receivers
TRE	Tremembé	Developed Receivers
TS	Taboão da Serra	Developed Receivers
VAL	Valinhos	Developed Receivers
VGP	Vargem Grande Paulista	Developed Receivers
VI	Vinhedo	Developed Receivers
VO	Votorantim	Developed Receivers
VP	Várzea Paulista	Developed Receivers

AMP	Amparo	Hinterland Receivers
AT	Atibaia	Hinterland Receivers
BOT	Botucatu	Hinterland Receivers
BP	Bragança Paulista	Hinterland Receivers
CAC	Caçapava	Hinterland Receivers
CAMP	Campinas	Hinterland Receivers
COC	Conchas	Hinterland Receivers
CP	Cachoeira Paulista	Hinterland Receivers
GUG	Guaratinguetá	Hinterland Receivers
ITB	Itatiba	Hinterland Receivers
ITU	Itu	Hinterland Receivers
LI	Limeira	Hinterland Receivers
LOR	Lorena	Hinterland Receivers
MOM	Mogi Mirim	Hinterland Receivers
PDM	Pindamonhangaba	Hinterland Receivers
PFE	Porto Feliz	Hinterland Receivers
PIC	Piracicaba	Hinterland Receivers
RC	Rio Claro	Hinterland Receivers
SJC	São José dos Campos	Hinterland Receivers
SOC	Socorro	Hinterland Receivers
SPD	São Pedro	Hinterland Receivers
TAT	Tatuí	Hinterland Receivers
TAU	Taubaté	Hinterland Receivers
ALA	Alambari	Providers
AN	Analândia	Providers
ANH	Anhembi	Providers
ARE	Areias	Providers
AS	Araçoiaba da Serra	Providers
BOF	Bofete	Providers

CA	Camanducaia	Providers
CAN	Canas	Providers
CL	Cesário Lange	Providers
COB	Corumbataí	Providers
CPA	Capela do Alto	Providers
IGA	Igaratá	Providers
IPN	Ipeúna	Providers
IT	Itapeva	Providers
JAM	Jambeiro	Providers
JOP	Joanópolis	Providers
JUM	Jumirim	Providers
LAG	Lagoinha	Providers
LAV	Lavrinhas	Providers
LP	Laranjal Paulista	Providers
MAS	Monte Alegre do Sul	Providers
ML	Monteiro Lobato	Providers
MOB	Mombuca	Providers
MOR	Morungaba	Providers
NS	Natividade da Serra	Providers
PB	Pedra Bela	Providers
PIN	Pinhalzinho	Providers
PIQ	Piquete	Providers
PIR	Piracaia	Providers
POR	Porangaba	Providers
PR	Pereiras	Providers
PRB	Paraibuna	Providers
PTM	Potim	Providers
QUA	Quadra	Providers
QUE	Queluz	Providers
ROS	Roseira	Providers
RS	Redenção da Serra	Providers
SAR	Sarapuí	Providers
SB	Santa Branca	Providers
SIL	Silveiras	Providers
SLN	Saltinho	Providers
SLP	São Luiz do Paraitinga	Providers
SMS	Santa Maria da Serra	Providers
TI	Tietê	Providers
TO	Toledo	Providers
TP	Torre de Pedra	Providers
TU	Tuiuti	Providers
VAR	Vargem	Providers

5. CONCLUSÕES

Explorar o nexo a partir de indicadores ainda é uma prática recente dentre os trabalhos publicados. A princípio, ainda não foram desenvolvidas metodologias específicas para isso, mas há um consenso acadêmico de que a combinação de técnicas e instrumentos consolidados para outras abordagens analíticas facilita a obtenção de resultados mais promissores e efetivos; o que contribui com uma compreensão mais holística das interdependências entre recursos diante dos princípios (ambiental, social e econômico) que estruturam o escopo da abordagem do nexo apresentado na conferência de Bonn. Nesse sentido, esta dissertação dedicou-se a explorar a (in)sustentabilidade a nível municipal do nexo e seus *trade-offs* por meio da proposta e validação de uma matriz de indicadores, tendo como base a estrutura teórico-conceitual do modelo FPSEEA (OMS) e os 180 municípios da região macrometropolitana, que serviram de unidade experimental de análise. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Como possibilidade de servir de instrumento para explorar e identificar causalidades entre os *trade-offs* inerentes ao nexo, o modelo FPSEEA demonstrou-se viável por facilitar a identificação de indicadores num contexto analítico mais amplo e interdisciplinar. Porém, para um recorte territorial mais extenso como o da MMP, que estabelece fortes relações de dependência de recursos fora de seus limites político-administrativos, a indisponibilidade de informação exigida para compor os eixos mais superiores do modelo junto à falta de padrões espaço-temporais para a divulgação dos dados é uma das limitações para o entendimento das associações entre o eixo de FM e os demais. Como consequência disso, a elaboração de intervenções sinérgicas entre os três setores pode ficar comprometida. Cabe ressaltar que este estudo também não considerou a participação social em sua metodologia, o que configura-se como mais uma limitação.
- Considerando o processo de urbanização caótico e predatório da MMP, alguns dos indicadores que foram selecionados para a matriz permitiram comparações intermunicipais a partir de *clusters* que demostraram uma

nova centralidade de municípios para a região. Essa nova centralidade é composta pelas cidades que sustentam o desenvolvimento regional por meio da provisão de SE e recursos fundamentais à manutenção da vida e da prosperidade econômica, como a água que serve de subsídio para a produção de alimentos e energia. Entretanto, essa relação de provisão e consumo entre os próprios municípios da Macrometrópole é marcada por injustiças em termos de acesso às mesmas oportunidades para os setores de emprego e renda, saúde e educação.

- Os municípios da região macrometropolitana que registram os menores índices de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) são os mesmos que detém a maior quantidade de hectares de terra com infraestrutura verde, que favorece a provisão de SE hídricos e, também, de alimentos e energia. Além disso, esses mesmos municípios que se apresentam como provedores, também demonstram possuir as maiores vazões de água consumida para atividades de irrigação e dessedentação animal.

Dado o exposto, admite-se que o nexo ainda constitui-se de um desafio epistemológico e de gestão agravado pela tradição de produzir dados setoriais que dificultam a gestão da informação dedicada a trabalhar na perspectiva das interdependências do nexo.

A MMP, enquanto unidade experimental de análise, demonstrou ser um território desafiador para a análise das interdependências entre água, energia e alimentos. Afinal, trata-se de um território complexo com quase duzentos municípios com necessidades e níveis de desenvolvimento humano divergentes, dificultando a gestão sustentável regional dos *trade-offs* produzidos pela cadeia produtiva do nexo.

Nesse sentido, os municípios que integram essa nova centralidade divergente ao acúmulo de capital, devem ser encarados como elementos estratégicos para a otimização dos SE e conservação das infraestruturas verde e azul que sustentam a prosperidade e o desenvolvimento humano da região macrometropolitana.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, T. R.; CROOTOF, A.; SCOTT, C. A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environ. Res. Lett**, v. 13, p. 1-27, 2018.

ALIER, J. M. **O ecologismo dos pobres**. 2. ed. São Paulo: Editora Contexto 2007.

ALISSON, E.; ARANTES, J. T. Produção da agricultura paulista aumenta em mais de 90% nas últimas duas décadas. **Agência FAPESP**, São Paulo, 26 de set. de 2016. Disponível em: . Acesso em: 15 de set. de 2018.

ALLOUCHE, J.; MIDDLETON, C.; GYAWALI, D. Technical Veil, Hidden Politics: Interrogating the Power Linkages behind the Nexus. **Water Alternatives**, n. 8, v. 1., 2015.

ARAÚJO-PINTO, M.; PERES, F.; MOREIRA, J. C. Utilização do modelo FPEEEA (OMS) para a análise dos riscos relacionados ao uso de agrotóxicos em atividades agrícolas do estado do Rio de Janeiro. **Ciênc. saúde coletiva**, vol.17, n. 6, p. 1543- 1555, 2012.

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

BENITES-LAZARO, L. L. et al. Land-water-food nexus of biofuels: Discourse and policy debates in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, 100491, 2020.

BENITES-LAZARO, L. L.; ANDRADE, C. Clean Development Mechanism: Key Lessons and Challenges in Mitigating Climate Change and Achieving Sustainable Development. In: **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. 19 ed. Elsevier, 2019, p. 1-14.

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, p. 756-73, 2015.

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

CÔRTES et al. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. **Estud. av.**, v. 29, n. 84, p. 6-26, 2015.

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Plano de aproveitamento de recursos hídricos para a Macrometrópole Paulista**. 2013.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo de Energia Elétrica.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/consumo-de-energiael%C3%A9trica>. Acesso em: 15 de set. de 2018.

FAVARO, A. K. M. do I. et al. Inequities and Challenges for a Metropolitan Region to Improve Climate Resilience. In: FILHO, L. W.; AZEITEIRO, U. M.; ALVES, F. (Eds.). **Climate Change and Health. Improving Resilience and Reducing Risks**. New York: Springer International Publishing Switzerland, 2016. p. 420-33.

FONTANA, M. D. et al. The water-energy-food nexus research in the Brazilian conext: What are we missing?. **Environmental Science & Policy**, v. 112, p. 172-80, 2020.

GALLOPÍN, G. C. Indicators and Their Use: Information for Decision-making. Part One-Introduction. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. Chichester: Wiley, 1997. cap. 1, p. 13-27.

GALLOPÍN, G. C. Indicators and Their Use: Information for Decision-making. Part One-Introduction. In: MOLDAN, B.; BILHARZ, S. (Eds.). **Sustainability Indicators. A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development**. Chichester: Wiley, 1997. p. 13-27.

GENTRY-SHIELDS, J.; BARTRAM, J. Human health and the water environment: using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease. **Sci Total Environ.**, v. 468, p. 306-14, 2014.

GIATTI, L. L. et al. Nexos de exclusão e desafios de sustentabilidade em uma periferia urbana. **Cad. Saúde Pública**, v. 35, n. 7, e00007918, 2019.

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

HANES, R. J.; GOPALAKRISHNAN, V.; BAKSHI, B. R. Including nature in the food-energy-water nexus can improve sustainability across multiple ecosystem services. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 137, p. 214-28, 2018.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estud. av.**, v. 22, n. 63, p. 131-58, 2008.

HOFF, H. **Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus**. Estocolmo: Stockholm Environment Insitute, 2011.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2009**. França, 2009.

JACOBI, P. R.; GIATTI, L. L. Nexos para a sustentabilidade: a busca por uma nova racionalidade. **Ambient. soc.**, v. 20, n. 2, p. 2017.

KJELLSTROM, T.; CORVALÁN, C. Frameworks for the development of environmental health indicators. **World Health Stat Q**, v. 48, n. 2, p. 144-54, 1995.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological Cybernetics**, v. 43, p. 59-69, 1982.

LECK, H. et al. Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. **Geography Compass**, n. 9, v. 8, p. 445-60, 2015.

LECKE, H. et al. Tracing the Water-Energy-Food Nexus: Description, Theory and Practice. **Geography Compass**, v. 9, p. 445-60, 2015.

LOPES, A. C. S.; MENEZES, M. C.; ARAUJO, M. L. O ambiente alimentar e o acesso a frutas e hortaliças: “Uma metropole em perspectiva”. **Saude soc.**, v. 26, n. 3, p. 764-73, 2017.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa**. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

MARIA, N. C.; MEDEIROS-SOUSA, A. R.; SLOVIC, A. D. An Environmental Health Tipology as a Contributor to Sustainable Regional Urban Planning: The Case of the Metropolitan Region of São Paulo (MRSP). **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 2-27, 2019.

MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment**. 2005.

MEADOWS, D. H. et al. **The limits to growth. A report for the Club of Rome’s Project on the Predicament of Mankind**. 1 ed. Nova Iorque: Universe Books, 1972.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development**. Hartland, 1998.

MULLER, M. The ‘Nexus’ As a Step Back towards a More Coherent Water Resource Management Paradigm. **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, 675-94, 2015.

OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Environment Monographs N 83. OECD Core set of indicators for environmental performance reviews**: relatório técnico. Paris, 1993.

OLIVEIRA, M. L. B. C. **Possibilidades de aplicação do modelo FPSEEA/OMS na construção de indicadores de saúde ambiental**. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2007.

OPEJIN, A. K. et al. A Bibliometric Analysis of Food-Energy-Water Nexus Literature. **Sustainability**, v. 12, n. 3, p. 1-19, 2020.

OUTEIRO, L.; VILLASANTE, S. Linking Salmon Aquaculture Synergies and TradeOffs on Ecosystem Services to Human Wellbeing Constituents. **Ambio**, v. 42, n. 8, p. 1022-36, 2013.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **The Business Case for Eco-innovation**. Quênia, 2014.

SARDOKIE, S. A.; OWUSU, P. A. Bibliometric analysis of water-energy-food nexus: Sustainability assessment of renewable energy. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 29-34, 2020.

SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO. **Consumo de energia elétrica cresce 1,9% no Estado de São Paulo**. Disponível em: . Acesso em: 15 de set. de 2018.

SHI, H. et al. Coupling the water-energy-food-ecology nexus into a Bayesian network for water resources analysis and management in the Syr Darya River basin. **Journal of Hydrology**, v. 581, 124387, 2020.

SINIGALLI, P. A. d. A. et al. Consequências socioeconômicas da crise da água em São Paulo. In: BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. (Eds.). Livro branco da água. **A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018. p. 74-88.

SOBRAL, A.; FREITAS, C. M. Modelo de Organização de Indicadores para a Operacionalização dos Determinantes Socioambientais da Saúde. **Saúde Soc.**, v. 19, n. 1, p. 35-47, 2010.

SOJAMO, S. Nouns and Numbers of the Water–Energy–Security Nexus in Central Asia. **International Journal of Water Resources Development**, v. 28, n. 3, p. 399-418, 2012.

STRASSER, L.; LIPPONEN, A.; HOWELLS, M.; STEC, S.; BRÉTHAUT, C. A Methodology to Assess the Water Energy Food Ecosystems Nexus in Transboundary River Basins. **Water**, v. 8, n. 2, 2016

STUCKI, V.; SOJAMO, S. Nouns and Numbers of the Water–Energy–Security Nexus in Central Asia. **International Journal of Water Resources Development**, v. 28, n. 3, p. 399-418, 2012.

TAVARES, J. Formation of Macrometropolis in Brazil: theoretical and conceptual construction of a planning region. **EURE**, v. 44, n. 133, p. 115-34, 2018.

TORRES, P. H. C.; RAMOS, R. F.; GONÇALVES, L. R. Environmental conflicts at São Paulo Macrometropolis: Paranapiacaba and São Sebastião. **Ambient. soc.**, v. 22, e0101, 2019.

UNECE - UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISION FOR EUROPE. **Methodology for assessing the water-food-energy-ecosystem nexus in transboundary basins and experiences from its application: synthesis**. Geneva: United Nations, 2018.

URBINATTI et al. ‘Opening up’ the governance of water-energy-food nexus: Towards a science-policy-society interface based on hybridity and humility. **Science of The Total Environment**, v. 744, 140945, 2020a.

URBINATTI et al. The conceptual basis of water-energy-food nexus governance: systematic literature review using network and discourse analysis. **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v. 17, n. 2, p. 21-43, 2020b.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008.

VARDOULAKIS, S.; KINNEY, P. Grand Challenges in Sustainable Cities and Health. **Frontiers in Sustainable Cities**, v. 1, p. 1-5, 2019.

VICTOR, R. A. B. M. et al. A escassez hídrica e seus reflexos sobre os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano na Reserva da Biosfera do Cinturão Verde da cidade de São Paulo. In: BUCKERIDGE, M.; RIBEIRO, W. C. (Coord.). **Livro branco da água. A crise na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções.** 1. ed. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018, v. 1, p. 54-73.

VILLASENOR, E. et al. Multiparametric characterization of scientometric performance profiles assisted by neural networks: a study of Mexican higher education institutions. **Scientometrics**, v. 110, p. 77-104, 2017.

WARD, J. H. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. **J. Am. Stat. Assoc.**, v. 58, p. 236-244, 1963.

WBCSD - WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Co-optimizing Solutions: water and energy for food, feed and fibre**. Geneva, 2014.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **Water Security: the water-food-energy-climate nexus**. Washington: Island Press, 2011.

WICHELNS, D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective?. **Environmental Science & Polilcy**, v. 69, p. 113-23, 2017.

ZIONI et al. A Macrometrópole Paulista e os desafios para o planejamento e gestão territorial. In: TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R.; BARBI, F. (Coord.). **Governança e Planejamento Ambiental: Adaptação e Políticas Públicas na Macrometrópole Paulista**. 1. ed. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2019, v. 1, p. 90-99.

ANEXOS

ANEXO A – Eventos sobre o nexo entre água, energia e alimentos

Quadro 1 – Lista de eventos internacionais sobre o nexo por título, localização e data, de 2011 a 2014.

Título do evento	Localização (cidade e país)	Data
Bonn 2011 Nexus Conference	Bonn, Alemanha,	Novembro de 2011
Mekong Forum on Water, Food and Energy	Hanoi, Vietnã	Novembro de 2011
The Energy Water Food Stress Nexus – Nexus Discussion organised by the Royal Geographical Society and IBG	Londres, Inglaterra	Dezembro de 2012
International Conference on Regional Energy Governance and the Nexus Perspective: Challenges in the Asia Pacific Region	Kuala Lumpur, Malásia	Dezembro de 2012
Meeting - Young Professionals Perspectives on the Water and Energy Nexus	Koblenz, Alemanha	Novembro de 2012
Mekong-2-Rio International Conference on Transboundary River Basin Management	Phuket, Tailândia	Maio de 2012
Water–Energy–Food Security: New challenges and new solutions for water management Conference	Winnipeg, Canadá	Fevereiro de 2012
6th World Water Forum	Marseille, França	Março de 2012
Planet Under Pressure Conference		Março de 2012
Water, Energy, Environment and Food Nexus: Solutions and adaptation under changing climate Conference	Lahore, Paquistão	Abril de 2012
South African Water, Energy and Food Forum: “Managing the mega-nexus”	Sandton, África do Sul	Abril de 2012
Not Another Nexus? Critical Thinking On The “New Security Convergence” in Energy, Food, Climate and Water	Londres, Reino Unido	Outubro de 2012
‘Resource Efficient City‘ - Session at the ICLEI – 2012 World Congress	Rio de Janeiro, Brasil	Junho de 2012

Powering Progress Together: Forum on Energy, Water and Food Forum	Rotterdam, Holanda	Maio de 2012
“Living in the water, food and energy nexus” Conference	Johannesburg, África do Sul	Maio de 2012
Workshop on “Integrated Resource Management in Asian Cities”: The Energy, Water and Food-Security Nexus	Bangkok, Tailândia	Maio de 2012
Biofuel Production – Dissecting the Water-Energy-Land Nexus	Online	Maio de 2012
Water Food Energy Nexus—Blue aquaculture as an integrative part to minimize use of resources for animal and plant production-Workshop at 3. Water Research Horizon Conference	Berlim, Alemanha	Julho de 2012
Managing Water, Energy, & Food in an Uncertain World Conference	Sante Fe, Estados Unidos	Julho de 2012
India Water Week - 2013 theme focused on water-energy-food nexus: “Water, Energy and Food Security: Call for Solutions”	Nova Delhi, Índia	Abril de 2012
Symposium on Connecting The Dots: “The Food, Energy, Water and Climate Nexus”	Universidade de Standford, Estados Unidos	Abril de 2012
World Water Week	Estocolmo, Suécia	Agosto de 2012
Initiative for Global Environmental Leadership (IGEL), Sixth Annual Conference Workshop – Nexus of Energy, Food and Water	Pensilvânia, Estados Unidos	Março de 2013
The Nexus Dialogue on Water Infrastructure Solutions regional “Anchor”	Nairóbi, Quênia Bogotá, Colômbia	Maio de 2013 Setembro de 2013
Symposium on Water, Energy and Food Nexus	Banguecoque (Tailândia) e Istambul (Turquia)	Março de 2014 e julho de 2014
Conference - “From Nebulous to Nexus: Operationalising the Water, Energy & Food Security Response”	África do Sul	Julho de 2013
Seventh Biennial Conference of the European Society for Environmental History (ESEH), “Circulating Natures: Water-Food-Energy”	Munique, Alemanha	Agosto de 2013
Policy Forum - Berlin2013: “Realizing the Water, Energy and Food Security Nexus”	Berlim, Alemanha	Novembro de 2013

First Conference of Natural Resources and Development : “Food, water and energy security: integrated science for sustainability”	Viña del Mar, Chile	Novembro de 2013
Intelligence Squared: Water, Food, Energy, Climate – Smart Solutions for 2050	Londres, Reino Unido	Abril de 2014
Earth Observations and the Water-Energy-Food Nexus Workshop	Roma, Itália	Março de 2014
Workshop on Water-Food-Energy-Ecosystems Nexus Assessment in the Sava River Basin	Croácia	Março de 2014
Sustainability in the Water-Energy-Food Nexus international conference	Bonn, Alemanha	Maio de 2014
Nexus 2014: Water, Food, Climate and Energy Conference	Chapel Hill, Estados Unidos	Março de 2014
IWA Water, Energy and Climate Conference	Cidade do México, México	Maio de 2014
11th IWA Leading Edge Conference on Water and Wastewater Technologies	Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos	Maio de 2014

Fonte: adaptado de Lecke et al. (2015).

Anexo B – Fichas técnicas dos indicaATTdores da matriz baseada no modelo FPSEEA

- **Indicadores de Força Motriz (FM)**

Nome do indicador	Grau de urbanização
Medida	%
Periodicidade mínima	Anual
Objetivo	Identificar o percentual de pessoas que residem em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de um determinado território, para adequação da infraestrutura do espaço urbano e seus equipamentos.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que orientaram a elaboração das estimativas e projeções populacionais.
Fonte	IBGE.
Método de cálculo	$\frac{\text{População urbana residente}}{\text{População total residente}} \times 100$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Densidade demográfica
Medida	hab./km^2
Periodicidade mínima	Anual
Objetivo	Identificar o número de habitantes por quilômetro quadrado em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de um determinado território, para adequação da infraestrutura do espaço urbano e seus equipamentos.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais.

Fonte	IBGE.
Método de cálculo	$$\frac{População\ total\ residente}{Área\ (em\ km^2)}$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Produto Interno Bruto (PIB) per capita
Medida	Em reais.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar o valor médio agregado por indivíduo, em moeda corrente e a preços de mercado, dos bens e serviços finais produzidos em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Contribuir para a análise da situação social, identificando espaços de concentração de pobreza. • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de interesse social em um determinado território.
Limitações	• A situação média representada pelo indicador pode estar condicionada por forte concentração de riqueza no estrato superior de renda, não deixando transparecer a existência de situações de pobreza extrema.
Fonte	IBGE.
Método de cálculo	$$\frac{População\ urbana\ residente}{População\ total\ residente} \times 100$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Índice de Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM)
Medida	0 a 1
Interpretação	Quanto mais próximo de 1, maior é o grau de desenvolvimento do município: IFDM ≤ 0,4 = baixo estágio de desenvolvimento IFDM entre 0,4 e 0,6 = desenvolvimento regular IFDM entre 0,6 e 0,8 = desenvolvimento moderado IFDM ≥ 0,8 = alto estágio de desenvolvimento

Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Aferir o grau de desenvolvimento de um determinado município por meio dos aspectos de educação, saúde e renda da população residente.
Usos	Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de um determinado território, a fim de melhorar a qualidade de vida nas cidades.
Limitações	• A dimensão ambiental não é contemplada pelo indicador; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais.
Fonte	Sistema Firjan.
Método de cálculo	$$IFDM = \frac{IFDM_{Educação} + IFDM_{Emprego\ e\ renda} + IFDM_{Saúde}}{3}$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M)
Medida	0 a 1
Interpretação	Quanto mais próximo de 1, maior é o grau de desenvolvimento do município: IDH-M ≤ 0,555 = desenvolvimento baixo IFD-M entre 0,555 e 0,699 = desenvolvimento médio IFD-M entre 0,700 e 0,799 = desenvolvimento elevado IFD-M ≥ 0,8 = desenvolvimento muito elevado
Periodicidade mínima	Decenal.
Objetivo	Aferir o grau de desenvolvimento de um determinado município por meio dos aspectos de educação, saúde e renda da população residente.
Usos	• Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de um determinado território, a fim de melhorar a qualidade de vida nas cidades.
Limitações	• A dimensão ambiental não é contemplada pelo indicador;

	• O indicador pode estar desatualizado para o período considerado, tendo em vista o longo intervalo para atualização e divulgação da informação; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações.
Fonte	IBGE.
Método de cálculo	$$IDHM = \sqrt[3]{EV} \times EI \quad \times IR$$ Onde: EV = Expectativa de vida ao nascer EI = Índice de educação IR = Índice de renda
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Temperatura média anual.
Medida	°C
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Mensurar a temperatura média anual.
Usos	• Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas climáticas e hídricas.
Limitações	• O indicador corresponde a um determinado ponto no espaço. Portanto, a extrapolação para as demais áreas deve ser ponderada.
Fonte	Inmet.
Método de cálculo	Razão entre a soma das médias mensais e o resultado divido por 12 (meses).
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Precipitação média anual.
Medida	mm
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Mensurar o nível de precipitação médio anual.
Usos	• Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas climáticas e hídricas.

Limitações	• O indicador corresponde a um determinado ponto no espaço. Portanto, a extrapolação para as demais áreas deve ser ponderada.
Fonte	Inmet.
Método de cálculo	Razão entre a soma das médias mensais e o resultado divido por 12 (meses).
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

- **Indicadores de Pressão (P)**

Nome do indicador	Vazão total de água consumida
Medida	l/s/hab.
Periodicidade mínima	Anual
Objetivo	Determinar a vazão total de água consumida por cada habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Identificar os padrões de consumo de água pelo setor; • Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas hídricas.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e de consumo hídrico.
Fonte	• ANA; IBGE.
Método de cálculo	Razão entre a vazão total de água consumida (em litros) pelo número total de habitantes.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Consumo total de eletricidade.
Medida	kWh por habitante
Periodicidade mínima	Anual
Objetivo	Determinar o consumo total de eletricidade por cada habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Identificar os padrões de consumo de eletricidade pelos municípios; • Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas energéticas.

Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e de consumo energético.
Fonte	• Portal Seade.
Método de cálculo	Razão entre o total de eletricidade consumida (em kWh) e o número total de habitantes.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Área total destinada à produção agropecuária.
Medida	ha/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar a quantidade total de terra destinada à produção agropecuária por habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar políticas públicas referentes ao planejamento territorial e energético.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e agropecuária.
Fonte	• Mapbiomas; IBGE.
Método de cálculo	$\frac{\text{Área total destinada à produção agropecuária (em hectares)}}{\text{População total residente}}$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Área total destinada à produção de cana-de-açúcar.
Medida	ha/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar a quantidade total de terra destinada à produção de cana-de-açúcar por habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar políticas públicas referentes ao planejamento territorial e energético.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador,

	referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e agropecuária.
Fonte	• IBGE.
Método de cálculo	$$\frac{\text{Área total destinada à produção de cana-de-açúcar (em hectares)}}{\text{População total residente}}$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.
Nome do indicador	Área total destinada à produção agropecuária
Medida	ha/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar a quantidade total de terra destinada à produção agropecuária por habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar políticas públicas referentes ao planejamento territorial e do setor de alimentos.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e agropecuárias.
Fonte	• IBGE; MapBiomas.
Método de cálculo	$$\frac{\text{Área total destinada à produção agropecuária (em hectares)}}{\text{População total residente}}$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

- **Indicadores de Situação (S)**

Nome do indicador	Vazão total da água consumida para dessedentação animal
Medida	l/s/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Determinar a vazão total de água consumida para dessedentação animal por cada habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.

Usos	• Identificar os padrões de consumo de água pelo setor; • Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas hídricas.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e de consumo hídrico.
Fonte	• ANA; IBGE.
Método de cálculo	Razão entre a vazão total de água consumida (em litros) para dessedentação animal pelo número total de habitantes.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Vazão total da água consumida para irrigação
Medida	l/s/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Determinar a vazão total de água consumida para irrigação por cada habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Identificar os padrões de consumo de água pelo setor; • Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas hídricas.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e de consumo hídrico.
Fonte	ANA; IBGE.
Método de cálculo	Razão entre a vazão total de água consumida (em litros) para irrigação pelo número total de habitantes.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Vazão total da água consumida para energia termelétrica
Medida	l/s/hab.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Determinar a vazão total de água consumida para geração termelétrica por cada habitante em

	determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Identificar os padrões de consumo de água pelo setor; • Servir de subsídio para a construção e manutenção de políticas públicas hídricas.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas e projeções populacionais e de consumo hídrico.
Fonte	• ANA; IBGE.
Método de cálculo	Razão entre a vazão total de água consumida (em litros) para geração termelétrica e o número total de habitantes.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Índice de consumo de eletricidade nos sistemas de abastecimento de água
Medida	kWh/m³
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Medir a quantidade anual de energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento de água, incluindo todas as unidades que compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas.
Usos	• Identificar os padrões de consumo de energia elétrica pelos sistemas de abastecimento de água; • Servir de subsídio para a otimização do serviço e elaboração de políticas públicas intersetoriais.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar os valores de consumo.
Fonte	SNIS.
Método de cálculo	$$\frac{C_1}{V_1 + V_2}$$ Onde: V_1 = Volume de água produzido V_2 = Volume de água tratado importado

	C_1 = Consumo total de energia elétrica nos sistemas de água
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Área total de cobertura vegetal
Medida	ha/hab.
Periodicidade mínima	Anual
Objetivo	Identificar a quantidade total de terra com cobertura vegetal por habitante em determinado espaço geográfico, no período considerado.
Usos	• Subsidiar políticas públicas referentes ao planejamento territorial.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais. • O indicador abrange florestas plantadas para uso comercial e formações naturais. Portanto, deve ser analisado com ressalvas.
Fonte	• IBGE; MapBiomas.
Método de cálculo	$\frac{\text{Área total com cobertura vegetal (em hectares)}}{\text{População total residente}}$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

- **Indicadores de Exposição (Ex)**

Nome do indicador	População residente em domicílios com serviço de água e esgoto inadequados
Medida	%
Periodicidade mínima	Decenal.
Objetivo	Identificar a proporção de habitantes com acesso inadequado aos serviços de água e esgoto.
Usos	• Contribuir para a análise da situação social, identificando espaços de concentração de pobreza e privação de direitos humanos básicos como o acesso à água. • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas de

	saneamento básico em um determinado território.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais.
Fonte	• IBGE
Método de cálculo	$$\frac{No\ de\ residentes\ em\ domicílios\ particulares\ com\ os\ serviços\ de\ água\ e\ esgoto\ inadequados}{Número\ total\ de\ habitantes} \times 100$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	População residente em domicílios sem energia elétrica
Medida	%
Periodicidade mínima	Decenal
Objetivo	Estimar a proporção de habitantes com acesso inadequado ao serviço de eletricidade.
Usos	• Contribuir para a análise da situação social, identificando espaços de concentração de pobreza e privação de direitos humanos básicos como o acesso à energia. • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas energéticas em um determinado território.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais.
Fonte	• IBGE.
Método de cálculo	$$\frac{Domicílios\ particulares\ permanentes\ sem\ energia\ eléetrica\ de\ companhia\ distribuidora}{Total\ de\ domicílios\ particulares\ permanentes} \times 100$$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

- **Indicadores de Efeito (E)**

Nome do indicador	Taxa de internação por doenças diarreicas agudas (DDAs)
Medida	A cada 100 mil habitantes.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar o número de casos de internações hospitalares pagas no Sistema Único de Saúde (SUS), por DDAs (códigos V01 a Y98 da CID-10), por 100 mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado.
Usos	• Analisar variações populacionais, geográficas e temporais na distribuição das taxas de internações hospitalares por DDAs, identificando situações de desigualdade e tendências que demandem ações e estudos específicos; • Subsidiar processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas, ações de prevenção e da assistência médico-hospitalar.
Limitações	• Não são consideradas as internações em unidades hospitalares sem vínculo com o SUS; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde.
Fonte	Datasus; IBGE.
Método de cálculo	$\frac{\text{Número de internações hospitalares pagas pelo SUS, por DDAs}}{\text{População total residente}} \times 100.000$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Medida	Taxa de internação por desnutrição
Medida	A cada 100 mil habitantes
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar o número de casos de internações hospitalares pagas no Sistema Único de Saúde (SUS), por desnutrição (códigos E40 a E46 da CID-10), por 100 mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado.
Usos	• Analisar variações populacionais, geográficas e temporais na distribuição das taxas de internações hospitalares por desnutrição, identificando situações de

	desigualdade e tendências que demandem ações e estudos específicos; • Subsidiar processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas, ações de prevenção e da assistência médico-hospitalar.
	• Não são consideradas as internações em unidades hospitalares sem vínculo com o SUS; • Imprecisões das bases de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde.
Fonte	Datasus; IBGE.
Método de cálculo	$\frac{\textit{Número de internações hospitalares pagas pelo SUS, por desnutrição}}{\textit{População total residente}} \times 100.000$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Prevalência de obesidade.
Medida	%
Periodicidade mínima	Mensal.
Objetivo	Estimar a magnitude da obesidade na população, em um momento determinado.
Usos	• Estimar a importância (grau de magnitude) da obesidade como um problema de saúde pública; • Analisar as variações geográficas e temporais na distribuição da prevalência da obesidade; • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas e ações de atenção à saúde.
Limitações	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde. • São consideradas apenas as notificações realizadas no âmbito do SUS. • Dados disponíveis apenas para os seguintes períodos: dez/2008; jun/2008; dez/2007; jun/2007; dez/2006.
Fonte	• IBGE; Datasus

Método de cálculo	$\frac{Número\ total\ de\ obesos}{População\ total\ residente} \times 100$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Taxa de internação por doenças respiratórias
Medida	A cada 100 mil habitantes.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar o número de casos de internações hospitalares pagas no Sistema Único de Saúde (SUS), por doenças respiratórias (códigos J00 a J99 da CID-10), por 100 mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado.
Usos	• Analisar variações populacionais, geográficas e temporais na distribuição das taxas de internações hospitalares por doenças respiratórias, identificando situações de desigualdade e tendências que demandem ações e estudos específicos; • Subsidiar processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas, ações de prevenção e da assistência médico-hospitalar.
Limitações	• Não são consideradas as internações em unidades hospitalares sem vínculo com o SUS; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde.
Fonte	Datasus; IBGE.
Método de cálculo	$\frac{Número\ de\ internações\ hospitalares\ pagas\ pelo\ SUS, por\ doenças\ respiratórias}{População\ total\ residente} \times 100.000$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Taxa de internação por doenças cardiovasculares
Medida	A cada 100 mil habitantes.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Identificar o número de casos de internações hospitalares pagas no Sistema Único de Saúde (SUS), por doenças cardiovasculares (códigos

	I00 a I99 da CID-10), por 100 mil habitantes, na população residente em determinado espaço geográfico, no ano considerado.
Usos	• Analisar variações populacionais, geográficas e temporais na distribuição das taxas de internações hospitalares por doenças cardiovasculares, identificando situações de desigualdade e tendências que demandem ações e estudos específicos; • Subsidiar processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas, ações de prevenção e da assistência médico-hospitalar.
Limitações	• Não são consideradas as internações em unidades hospitalares sem vínculo com o SUS; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde.
Fonte	Datasus; IBGE.
Método de cálculo	$\frac{\text{Número de internações hospitalares pagas pelo SUS, por doenças cardiovasculares}}{\text{População total residente}} \times 100.000$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Prevalência de dengue
Medida	%
Periodicidade mínima	• Estimar a importância (grau de magnitude) da obesidade como um problema de saúde pública; • Analisar as variações geográficas e temporais na distribuição da prevalência da obesidade; • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas e ações de atenção à saúde.
Objetivo	• Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde; • São consideradas apenas as notificações realizadas no âmbito do SUS.

Usos	Estimar a magnitude da obesidade na população, em um momento determinado.
Limitações	• Estimar a importância (grau de magnitude) da dengue como um problema de saúde pública; • Analisar as variações geográficas e temporais na distribuição da prevalência da dengue; • Subsidiar os processos de planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas e ações de atenção à saúde.
Fonte	• São consideradas apenas as notificações realizadas no âmbito do SUS; • Imprecisões da base de dados considerada para calcular o indicador, referentes à coleta das informações que serviram de base para elaborar estimativas/projeções populacionais e de saúde.
Método de cálculo	$\frac{Número\ total\ de\ casos\ confirmados\ de\ dengue}{População\ total\ residente}$
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

- **Indicadores de Ação (A)**

Nome do indicador	Índice de tratamento de esgoto
Medida	%
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Informar o percentual de esgoto coletado que é tratado antes da disposição final.
Usos	• Trata-se de um indicador utilizado em Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) e Contratos de Concessão ou Programa, devendo ser acompanhado pelos reguladores, titulares, prestadores, formuladores de políticas públicas e pela sociedade.
Limitações	• A falta de precisão nos dados deste indicador enseja uma margem de erro considerável à sua análise. • O indicador não contempla a qualidade do tratamento realizado. • Desconsidera o percentual de coleta de esgoto, o que pode induzir a erros de interpretação se analisado isoladamente.
Fonte	• SNIS

Método de cálculo	$$\frac{V_2 + V_4 + V_5}{V_1 + V_3} \times 100$$ V1 = Volume de esgotos coletado V2 = Volume de esgotos tratado V3 = Volume de esgotos bruto importado V4 = Volume de esgoto importado tratado nas instalações do importador V5 = Volume de esgoto bruto exportado tratado nas instalações do importador
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Índice de perda no sistema de distribuição
Medida	%
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Informar o percentual do volume de água distribuído que é perdido até a apuração do volume consumido pelos usuários, seja por questões técnicas (vazamentos) ou comerciais (fraudes, hidrometração deficiente etc.).
Usos	• Indicador utilizado em Planos Municipais de Saneamento Básico e contratos de concessão ou programa. Portanto, é relevante para reguladores, titulares, prestadores, formuladores de políticas públicas e sociedade.
Limitações	• Como o índices de macromedição (medição do volume distribuído) e de hidrometração (medição do volume consumido) interferem na precisão do índice de perdas, deve-se atentar para o impacto na precisão dos volumes micromedidos devido a questões como a descontinuidade, tipos de medição e vida média do parque de hidrômetros.
Fonte	SNIS.
Método de cálculo	$$\frac{V_1 + V_3 - V_2 - V_4}{V_1 + V_3 - V_4} \times 100$$ Onde: V_1 = Volume de água produzido V_2 = Volume de água consumido V_3 = Volume de água tratada importado V_4 = Volume de serviço

Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Volume de água de reuso fornecida
Medida	m^3
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Mensurar a quantidade total de água de reuso fornecida (vendida).
Usos	• Planejar e analisar a eficiência das iniciativas ambientais no contexto dos sistemas de abastecimento de água.
Limitações	• Corresponde à água fornecida pelas ETEs Barueri, Jesus Netto, Parque Novo Mundo e São Miguel, que têm instalações para a produção de água de reuso. • Os números divulgados, muitas vezes, não consideram o volume de efluentes fornecidos ao Aquapolo Ambiental (parceiro da Sabesp), que é o maior empreendimento para a produção de água de reuso industrial na América do Sul e quinto maior do mundo.
Fonte	Sabesp.
Método de cálculo	Soma do total da quantidade de água de reuso fornecida.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

Nome do indicador	Total de investimento e gastos em proteção ambiental
Medida	Em reais.
Periodicidade mínima	Anual.
Objetivo	Mensurar os investimentos e gastos com proteção ambiental, diretamente associados ao desenvolvimento e implementação dos principais programas corporativos de gestão ambiental.
Usos	Planejar e analisar a eficiência das iniciativas ambientais no contexto dos sistemas de abastecimento de água.
Limitações	Multas por não conformidade com a legislação ambiental não são contemplados por este indicador.
Fonte	Sabesp.
Método de cálculo	Soma do total de investimentos e gastos com proteção ambiental, no período considerado.
Unidade territorial sugerida para análise	Municipal.

CURRÍCULO LATTES

Mateus Henrique Amaral

Endereço para acessar este CV: http://lattes.cnpq.br/3519216236918185
ID Lattes: **3519216236918185**
Última atualização do currículo em 30/10/2020

Bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade de Franca (2016) e mestrando em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, onde está vinculado à linha de pesquisa em Saúde ambiental, modos de vida e sustentabilidade. Também é editor-assistente da revista Ambiente & Sociedade. Tem interesse nos seguintes assuntos: indicadores de sustentabilidade e de saúde, nexo urbano e saneamento. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Mateus Henrique Amaral
Nome em citações bibliográficas	AMARAL, M. H.
Lattes iD	http://lattes.cnpq.br/3519216236918185

Endereço

Formação acadêmica/titulação

2018	Mestrado em andamento em Saúde Pública (Conceito CAPES 6). Universidade de São Paulo, USP, Brasil. Título: O desafio de definir indicadores para explorar a sustentabilidade do nexo água-energia-alimentos na Macrometrópole Paulista,Orientador: Leandro Luiz Giatti. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.
2013 - 2016	Graduação em Ciências Biológicas. Universidade de Franca, UNIFRAN, Brasil. Título: Hospitalizações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAI): Brasil, 1998 a 2014. Orientador: Salvador Boccaletti Ramos. Bolsista do(a): Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, Brasil.
2011 - 2012	Curso técnico/profissionalizante em Meio Ambiente. Escola Técnica de Passos, ETEP, Brasil. Bolsista do(a): Programa de Educação Profissional, PEP, Brasil.

Leandro Luiz Giatti

Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 2

Endereço para acessar este CV: http://lattes.cnpq.br/7596494543629391
ID Lattes: **7596494543629391**
Última atualização do currículo em 27/03/2021

Professor Associado no Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Sao Judas Tadeu (1996), mestrado e doutorado em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, área de concentração Saúde Ambiental (2000 e 2004). Pesquisador CNPq nível 2, bolsa de produtividade em pesquisa. Foi pesquisador visitante na Universidade de Victoria, Canadá (2020). Orientador permanente no Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública/FSP-USP. Orientador permanente e membro da comissão de coordenação do Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade/FSP-USP. Editor adjunto da revista Ambiente & Sociedade. Atua na coordenação de sub-projeto de pesquisa junto ao INCLINE - INterdisciplinary CLimate INvEstigation Center. Membro da Comissão de Cultura e Extensão da Faculdade de Saúde Pública - USP. Pesquisador colaborador no grupo de pesquisa Meio Ambiente e Sociedade do Instituto de Estudos Avançados/IEA-USP e no Centro de Estudos de Governança Socioambiental - IEE/USP. Foi pesquisador visitante no Instituto Leônidas e Maria Deane - Fiocruz/Amazônia entre 2005 e 2009. Tem experiência na área de Saúde Pública e Sustentabilidade, com ênfase em Saúde Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: indicadores de sustentabilidade ambiental e de saúde, saneamento, ciência pós-normal, pesquisa-ação, nexo água-energia-alimentos, promoção da saúde e governança socioambiental e em saúde. **(Texto informado pelo autor)**

Identificação

Nome	Leandro Luiz Giatti
Nome em citações bibliográficas	GIATTI, L. L.;GIATTI, LEANDRO;GIATTI, LEANDRO LUIZ;GIATTI, L.L.;GIATTI, L.
Lattes iD	http://lattes.cnpq.br/7596494543629391
Orcid iD	? https://orcid.org/0000-0003-1154-6503

Endereço

Endereço Profissional	Faculdade de Saúde Pública - USP, Departamento de Saúde Ambiental. Av. Dr. Arnaldo, 715 Cerqueira Cesar 01246904 - São Paulo, SP - Brasil Telefone: (11) 30617978 Ramal: 7978 Fax: (11) 30617732 URL da Homepage: www.fsp.usp.br