

Metabolismo urbano como alternativa para a abordagem ecossistêmica dos municípios brasileiros: uma urgência ignorada?

Urban metabolism as an alternative for the ecosystemic approach of Brazilian municipalities: an ignored urgency?

Metabolismo urbano como alternativa para el enfoque ecosistémico de los municipios brasileños: ¿una urgencia ignorada?

DOI: 10.55905/oelv22n6-101

Receipt of originals: 05/10/2024

Acceptance for publication: 05/31/2024

Eugenia Aumond Kuhn

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Porto Alegre, RS, Brasil

E-mail: eugenia.kuhn@ufrgs.br

Lucas Dorneles Magnus

Mestre em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Instituição: Secretaria de Obras Públicas do Rio Grande do Sul

Endereço: São Leopoldo, RS, Brasil

E-mail: lucasdmagnus@gmail.com

RESUMO

A gestão de recursos e resíduos tem sido colocada como requerimento para os governos locais. No contexto da América Latina, o consumo de materiais poderá mais que dobrar entre 2015 e 2050, a menos que haja uma reorientação estratégica para o desenvolvimento de municípios mais eficientes e sustentáveis. Frente ao desafio, o artigo tem por objetivo identificar e discutir contribuições da abordagem de metabolismo urbano (MU) para a compreensão e planejamento ecossistêmico dos municípios brasileiros. O método compreendeu duas etapas. A primeira, de revisão bibliográfica internacional, buscou estabelecer os conceitos e o estado da arte. A segunda etapa evoluiu dois conjuntos de atividades: a) busca em repositórios internacionais por casos de aplicações da abordagem de MU no planejamento municipal; b) demonstração de aplicações no contexto brasileiro, a partir de dois estudos de caso desenvolvidos pelos autores. Conclui-se que a abordagem ecossistêmica dos municípios brasileiros é uma urgência até então ignorada e que há caminhos e demandas para o desenvolvimento da abordagem de MU, tanto na pesquisa científica, quanto no planejamento municipal.

Palabras-chave: Metabolismo Urbano, Municípios Brasileiros, Planejamento Urbano, Gestão de Recursos e Resíduos.

ABSTRACT

The management of resources and waste has been established as a requirement for local governments. In the context of Latin America, material consumption could more than double between 2015 and 2050 unless there is a strategic reorientation towards the development of more efficient and sustainable cities. Faced with this challenge, the article aims to identify and discuss contributions of the urban metabolism (UM) approach to the understanding and ecosystemic planning of Brazilian municipalities. The method comprised two stages. The first stage, an international literature review, sought to establish concepts and the state of the art. The second stage involved two sets of activities: a) search for national and international cases of the UM approach in municipal planning; b) demonstration of applications in the Brazilian context, based on two case studies developed by the authors. It is concluded that the ecosystemic approach to Brazilian municipalities is an urgent issue that has so far been ignored, and that there are pathways and demands for the development of both scientific research in UM and municipal planning.

Keywords: Urban Metabolism, Brazilian Municipalities, Urban Planning, Resource and Waste Management.

RESUMEN

La gestión de recursos y residuos se ha establecido como un requisito para los gobiernos locales. En el contexto de América Latina, el consumo de materiales podría más que duplicarse entre 2015 y 2050, a menos que haya una reorientación estratégica hacia el desarrollo de ciudades más eficientes y sostenibles. Frente a este desafío, el artículo tiene como objetivo identificar y discutir las contribuciones del enfoque de metabolismo urbano (MU) para la comprensión y planificación ecosistémica de los municipios brasileños. El método comprendió dos etapas. La primera, una revisión bibliográfica internacional, buscó establecer conceptos y el estado del arte. La segunda etapa involucró dos conjuntos de actividades: a) búsqueda de casos de aplicaciones nacionales e internacionales del enfoque de MU en la planificación municipal; b) demostración de aplicaciones en el contexto brasileño, a partir de dos estudios de caso desarrollados por los autores. Se concluye que el enfoque ecosistémico de los municipios brasileños es una urgencia hasta ahora ignorada y que hay caminos y demandas para el desarrollo, tanto de la investigación científica en MU como en la planificación municipal.

Palabras clave: Metabolismo Urbano, Municipios Brasileños, Planificación Urbana, Gestión de Recursos y Residuos.

1 INTRODUÇÃO: METABOLISMO URBANO NA DISCUSSÃO AMBIENTAL SOBRE O DESENVOLVIMENTO DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS

O papel que as cidades e os municípios desempenham na crescente demanda de recursos e na geração de resíduos sólidos, líquidos e gasosos tem sido foco de discussões e de publicações sobre desenvolvimento sustentável ocorridas no espaço público internacional nas últimas décadas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021; United Nations, 2017), sobretudo num contexto de crise climática e ecológica iminente e cada vez mais aguda.

A globalização complexificou as dinâmicas urbanas e as suas relações com outras cidades e regiões, as quais são marcadas pela lógica da sociedade em rede, na qual fluxos de informação, econômicos e de recursos naturais são movimentados através de distâncias e em escalas muito maiores do que anteriormente (Castells, 1996).

Assim, as cidades e municípios contemporâneos não podem ser associados a meros impactos locais. Significativas pressões ambientais são geradas internamente, mas transferidas para além das suas fronteiras, atingindo ecossistemas do seu entorno, bem como territórios distantes (Bai, 2007).

Nesse contexto da sociedade de fluxos, a gestão de recursos e resíduos tem sido colocada como um requerimento para as municipalidades. Evidências desse debate podem ser encontradas em documentos desenvolvidos pela Organização das Nações Unidas, a exemplo do relatório *The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization* (United Nations Environmental Program, 2018). O relatório aponta que há uma necessidade premente de uma abordagem transformadora e integrada dos fluxos de recursos e resíduos (United Nations Environmental Program, 2018).

Especificamente no contexto da América Latina e Caribe (ALeC), o relatório *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe: requerimientos futuros de recursos y potenciales rutas de actuación* oferece estimativas e uma compreensão sobre o peso atual e tendencial das cidades ALeC em termos de consumo de materiais (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021). A publicação, que adota a abordagem de metabolismo urbano (MU), indica que, em 2050, 90% da população da

região viverá em áreas urbanas e que o consumo de materiais poderá mais que dobrar em relação a 2015, a menos que haja uma reorientação estratégica para o desenvolvimento de cidades mais eficientes e sustentáveis.

No Brasil, historicamente, a política de meio ambiente e a política urbana apresentaram trajetórias independentes no que se refere aos marcos legais e às teorias e conceitos que lhes dão suporte (Emiliano, 2015). Para Costa (1999), inclusive, por muito tempo os conceitos de urbano e de ambiental foram tomados como opostos e conflitantes, tanto nos ambientes acadêmicos, quanto nas práticas de planejamento. Essa autora já apontava, entretanto, uma tendência de aproximação, identificada em capítulos e artigos específicos das principais Leis que regulamentam as políticas urbanas.

O Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/ 2001) faz referência ao papel das cidades no que se refere aos padrões de uso dos recursos naturais, ao estabelecer que é objetivo da política urbana, entre outras diretrizes, a “adoção de padrões de produção e consumo de bens e serviços e de expansão urbana compatíveis com os limites da sustentabilidade ambiental, social e econômica do Município e do território sob sua área de influência” (Brasil, 2001).

Apesar do aparente esforço, Costa, Campante e Araújo (2011) apontam fragilidades na abordagem ambiental dada pelos governos municipais brasileiros, restritos somente à agenda verde, onde o meio ambiente é tratado apenas sob o prisma da arborização urbana e da preservação de espaços livres e unidades de conservação, ignorando a agenda marrom. Essa última agenda engloba desafios recorrentes e comuns aos meios de subsistência humanos em áreas urbanas, como poluição, esgotamento (e degradação) de recursos naturais e carências de saneamento (United Nations Human Settlements Programme, 2009), os quais não podem ser enfrentados exclusivamente a partir de ações relacionadas às áreas verdes. São problemas com complexos vínculos entre si e que estão relacionados à gestão dos fluxos de recursos e resíduos ocorrentes no território local.

Identificam-se, no contexto nacional, algumas razões possíveis para as fragilidades mencionadas:

- a) Fluxos de recursos e resíduos são de difícil visualização por parte de gestores,



planejadores e urbanistas pelo fato de serem dinâmicos e de não serem facilmente representados, na forma de mapas e plantas, como é comum aos profissionais (Kuhn, 2014);

- b) Políticas setoriais pouco integradas na escala nacional e também em gabinetes distintos das prefeituras (Costa, Campante e Araújo, 2011);
- c) Limitações de estrutura técnica de planejamento das prefeituras municipais. Entre elas, destacam-se, a baixa capacidade de produzir e sistematizar conhecimentos sobre a realidade local (Costa, Campante e Araújo, 2011).

No campo da pesquisa científica, fluxos de recursos e resíduos são temas centrais na discussão ambiental. Dentro do campo da ecologia urbana, MU tem se consolidado como abordagem para esses estudos. A maior parte, entretanto, tem sido desenvolvida no contexto europeu, no qual se observa, inclusive, o uso dessas informações como suporte para a solução de problemas urbanos reais. Particularmente escassos são os estudos de metabolismo de cidades latino-americanas e, especificamente, brasileiras.

Em face dessa lacuna, **o presente artigo tem por objetivo identificar e discutir potenciais contribuições da abordagem de metabolismo urbano para a compreensão e planejamento ecossistêmico dos municípios brasileiros.** A pesquisa justifica-se pela necessidade de mais estudos que apoiem ações de implementação da Nova Agenda Urbana (United Nations, 2017), bem como os Objetivos 11 e 12 do Desenvolvimento Sustentável (Nações Unidas, 2024): “*tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis*”; e “*garantir padrões sustentáveis de consumo e produção*”.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Buscou-se alcançar o objetivo do presente trabalho por meio duas etapas que resultaram nas discussões apresentadas nas seções três e quarto deste artigo, respectivamente.

A primeira etapa envolveu a revisão bibliográfica internacional, focada em identificar a articulação entre a abordagem de metabolismo urbano e o campo do

conhecimento da Ecologia Urbana. Buscou-se estabelecer os conceitos e caracterizar o histórico recente e o estado da arte. Essa revisão está apresentada na seção 3 e tem como finalidade possibilitar a compreensão das discussões posteriores que são objetivo principal do trabalho. Assim, dedicou-se particular atenção a estabelecer relações entre fluxos de materiais e impactos ambientais (seção 3.1) e a apresentar os procedimentos metodológicos envolvidos (seção 3.2).

A segunda etapa da pesquisa visou atender de maneira mais direta ao objetivo central, concentrando-se na aplicabilidade dos resultados dos estudos de MU para a resolução de problemas concretos. Essa etapa desenvolveu-se a partir de dois conjuntos de atividades. O primeiro envolveu a busca por casos de aplicações nacionais e internacionais, a qual foi realizada, tanto em plataformas de artigos científicos (Scopus e Web of Science) buscando casos documentados, como diretamente no Google, buscando departamentos e/ou agências governamentais locais com esse foco. A busca foi realizada nos idiomas português, inglês e espanhol e, uma seleção de dois casos é apresentada na seção 4.1. O critério para a seleção foi a disponibilidade informações.

O segundo conjunto de atividades envolveu demonstração de potenciais aplicações no contexto brasileiro, a partir de dois estudos de caso desenvolvidos pelos autores (seção 4.2). Ambos foram focados em estratégias para a promoção da circularidade nos fluxos de resíduos. O primeiro envolveu a quantificação da geração de resíduos da agropecuária e a estimativa de potencial aproveitamento energético, além da identificação de programas governamentais que pudessem dar suporte à implantação de um projeto nesse sentido. O segundo envolveu a quantificação e a análise espacial de destinação de resíduos sólidos urbanos (RSU) dos municípios do Rio Grande do Sul.

3 ECOLOGIA URBANA E METABOLISMO URBANO: CONCEITOS E MÉTODOS

O campo de conhecimento denominado Ecologia Urbana, difundiu-se a partir da década de 1960, originando-se da transferência e adaptação dos conhecimentos no campo da Ecologia de Ecossistemas, a qual se estabeleceu em definitivo ancorado na Teoria

Geral dos Sistemas, surgida em meados do século XX (Fischer-Kowalski, 1998). Enquanto o campo da Ecologia de Ecossistemas se dedica ao estudo dos padrões e processos "naturais" pouco afetados pelos seres humanos, para a Ecologia Urbana, os processos humanos e as estruturas construídas são elementos chave. Para Forman (2014, p. 3), esse campo “estuda as interações entre organismos, estruturas construídas e ambientes físicos, em lugares onde os seres humanos estão concentrados”.

Os estudos de MU constituem-se em uma das áreas de investigação da Ecologia Urbana e originam-se da constatação de que os sistemas urbanos, em correspondência aos sistemas naturais, possuem um metabolismo. Kennedy, Cuddihy e Engel Yan (2007, p. 44) o definem da seguinte maneira: “A soma total dos processos técnicos e socioeconômicos que ocorrem nas cidades, resultando em crescimento, produção de energia e eliminação de resíduos”.

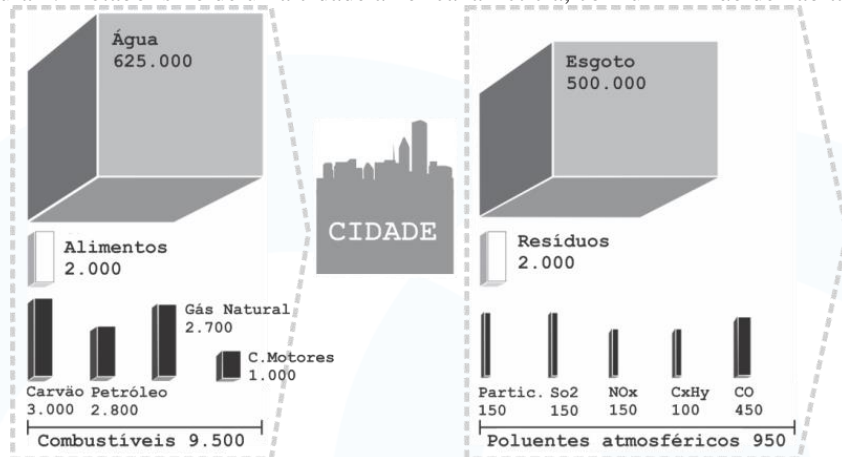
A operacionalização desse conceito apareceu pela primeira vez na publicação de Wolman, em 1965, que quantificou os fluxos básicos de materiais e de energia movimentados por uma cidade americana fictícia, com um milhão de habitantes (Wolman, 1965). A Figura 1 mostra, no lado das entradas (à esquerda), as demandas de água, alimentos e combustíveis, e no lado direito (saídas), os “produtos metabolizados” resultantes do consumo e processamento das entradas, em termos de resíduos sólidos, efluentes líquidos e poluentes atmosféricos.

A inovação principal no estudo de Wolman, na visão de Broto, Alen e Rapoport (2012), foi a de promover uma migração dos estudos de “ecologia nas cidades” para estudos de “ecologia das cidades”, utilizando o conceito de metabolismo para descrever as interações entre as cidades e os ambientes circundantes e identificando os impactos dos subsistemas urbanos dentro de um determinado recorte territorial.

Inicialmente, o UM obteve significativa repercussão internacional, conduzindo a UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) a lançar, em 1971, o programa chamado Homem e Biosfera. Em 1993, o trabalho de Herbert Girardet destacou-se ao introduzir a ideia “metabolismo linear” para descrever os fluxos urbanos (Figura 2a). O autor apontava que essa seria a principal causa da transferência de impactos ambientais para outras regiões. A redução de impactos demandaria, então, um

“metabolismo circular” (Figura 2b) (Kennedy, Pincetl e Bunje, 2011).

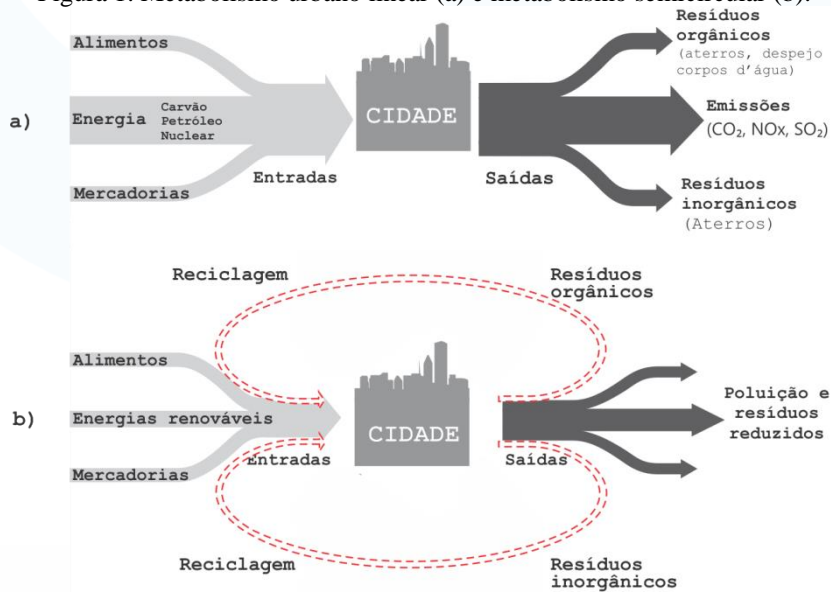
Figura 1. Metabolismo de uma cidade americana fictícia, com um milhão de habitantes.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Wolman (1965).

A proposta de Girardet é resgata por Rogers e Gumuchdjian (2001) ao incorporar o modelo de “metabolismo semicircular” entre os paradigmas propostos para um modelo da cidade sustentável para o século XXI.

Figura 1. Metabolismo urbano linear (a) e metabolismo semicircular (b).



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Rogers e Gumuchdjian (2001).

Desde então, nas duas últimas décadas, estudos de metabolismo urbano passaram a apresentar um crescimento exponencial, estimulados pela consolidação de planos de ação internacional para o desenvolvimento sustentável, que reconhecem o papel central da gestão de recursos e resíduos urbanos para o alcance de seus objetivos.

3.1 RELAÇÕES ENTRE FLUXOS DE MATERIAIS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Para compreender a relação entre fluxos de materiais e impactos ambientais, considera-se a sociedade humana existente dentro dos limites do município um sistema aberto, que depende do ambiente/sistema natural local e de ambientes/sistemas exteriores para provisão de recursos e assimilação de resíduos (Bai, 2007). Os recursos naturais demandados são denominados “entradas”. Resíduos exportados para natureza são denominados “saídas”. As interações acima descritas ocorrem através de fluxos de massa e energia, que dão origem a cadeias de causas e efeitos, conforme Figura 3.

Figura 3. Cadeia de causas e efeitos provocada pelos processos e atividades humanas urbanas.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de International Initiative for a Sustainable Built Environment, 2004.

Quaisquer atividades humanas que utilizam materiais ou energia são, inicialmente, fontes de cargas ambientais. Essas são percebidas como saídas imediatas de processos, apresentadas na forma de consumo de recursos ou geração de resíduos. Suas implicações diretas são os efeitos ambientais, ou seja, as primeiras reações do ambiente circundante. Os efeitos, por sua vez, dão origem a impactos ambientais, os quais usualmente representam perdas ou ganhos para a sociedade na escala global ou regional (International Initiative for a Sustainable Built Environment, 2004).

Cadeias de causas e efeitos são longas, intrincadas e dinâmicas e, em sistemas complexos como as cidades, essas tramas tendem a ser impossíveis de mapear de forma confiável (International Initiative for a Sustainable Built Environment, 2004). Por essa razão, estudos de MU focam-se na estimativa das cargas ambientais. Está subjacente a ideia de que a redução dos fluxos se justifica por representar uma conseqüente redução de impactos em toda a cadeia.

3.2 CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO METABOLISMO URBANO

Com o reconhecimento da relevância da abordagem de MU para a questão ambiental urbana, impõe-se o desafio do desenvolvimento de métodos que permitam quantificar, identificar as características e demonstrar o enorme volume de fluxos de materiais movimentados pelas cidades. Por essa razão, a partir dos anos 2000, esse tem sido um dos tópicos de concentração das iniciativas envolvendo MU.

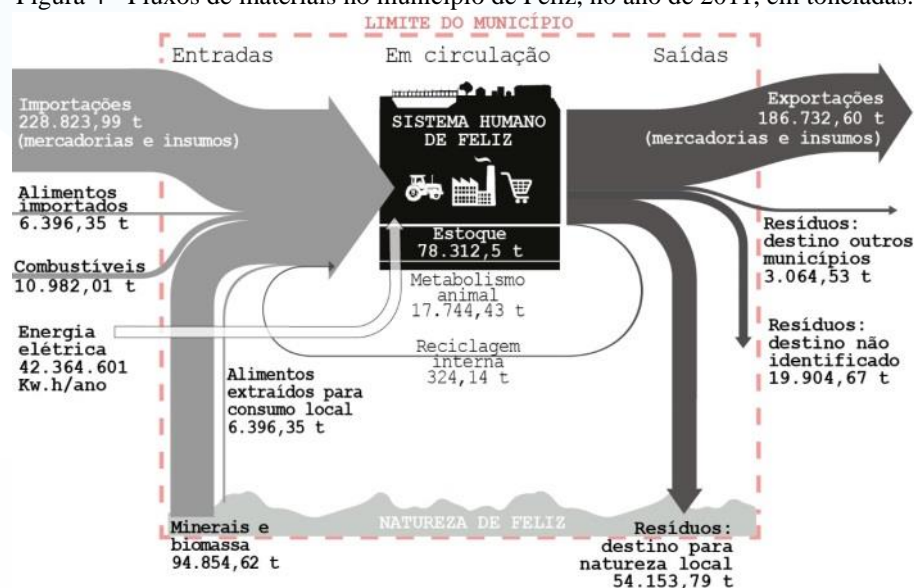
Parte significativa das pesquisas que vem sendo conduzidas na última década têm sido desenvolvidas no contexto europeu e tem adotado, como referência, o Guia Metodológico desenvolvido pela agência estatística europeia Eurostat (2001). Esse guia foi elaborado, originalmente, para a avaliação da demanda material das economias nacionais. Propostas de adaptação desse método para a escala local têm sido desenvolvidas e adotadas para o estudo de municípios e cidades europeias (Barles, 2009; Niza, 2009).

A vantagem da opção pela utilização de uma referência metodológica única é a possibilidade de comparação dos resultados obtidos pelo estudo de diferentes cidades.

Esse método propõe que sejam investigados, além dos fluxos relacionados diretamente às demandas dos habitantes, como alimentos e resíduos domiciliares, também aqueles movimentados pelos setores da economia, tais como insumos para a produção. Em relação aos modelos apresentados anteriormente por Wolman (1965), Girardet (1993) e Rogers e Gumuchdjian (2001) para descrever o MU (Figuras 1 e 2), observa-se um aumento na quantidade de fluxos incluídos nas análises e de complexidade na representação do sistema.

No contexto brasileiro há, apenas, dois estudos até o momento, um desenvolvido por Conke e Ferreira (2015), para Curitiba, capital do Paraná, e outro, pela primeira autora deste artigo em 2014, para o município de Feliz, no estado do Rio Grande do Sul (Kuhn, 2014). Neste artigo será dado foco no estudo aplicado ao caso do município de Feliz que, pelas vantagens já apresentadas, adotou como referência os procedimentos gerais e a classificação de fluxos proposta pelo Guia Eurostat. Entretanto, devido às diferenças de fontes de dados presentes no contexto europeu e brasileiro, técnicas específicas para obtenção e processamento de dados tiveram que ser desenvolvidas nessa pesquisa. Os resultados podem ser observados na Figura 4, sendo classificados em seu maior nível de agregação possível.

Figura 4 - Fluxos de materiais no município de Feliz, no ano de 2011, em toneladas.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados estimados por Kuhn (2014).



Pelo lado das entradas, mostram-se os materiais importados de fora do município ou extraídos de sua natureza local. Nas saídas, diferenciam-se as exportações de produtos dos fluxos de resíduos. No centro da figura estão representados os materiais em circulação (processados internamente), o estoque e a reciclagem que ocorre dentro do município. Materiais estocados são, geralmente, obras da construção civil e bens duráveis.

Inúmeras análises podem ser desenvolvidas a partir de representações como essa. Conclui-se, por exemplo, que Feliz apresenta um metabolismo predominantemente linear. Uma parcela irrisória é reciclada internamente. Informações mais detalhadas podem ser obtidas desmembrando-se os resultados.

4 DA CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO AO SUPORTE À DECISÃO

A partir dos resultados fornecidos por estudos de MU, demonstrados na seção anterior, identificam-se oportunidades de convertê-los em informações capazes de subsidiar os cidadãos ou a gestão municipal no que se refere às decisões relacionadas ao planejamento das suas cidades. Entretanto, no contexto brasileiro, ainda não se encontram referências a aplicações reais desse tipo de abordagem. Nesta seção, apresenta-se, inicialmente, uma seleção de dois exemplos trazidos a partir de casos internacionais, existentes e consolidados e, a seguir, duas demonstrações de como as informações obtidas em estudos de caso de pesquisas nacionais podem ser utilizadas em ações que promovam a abordagem ecossistêmica e a sustentabilidade do metabolismo das cidades.

4.1 APLICAÇÕES INTERNACIONAIS

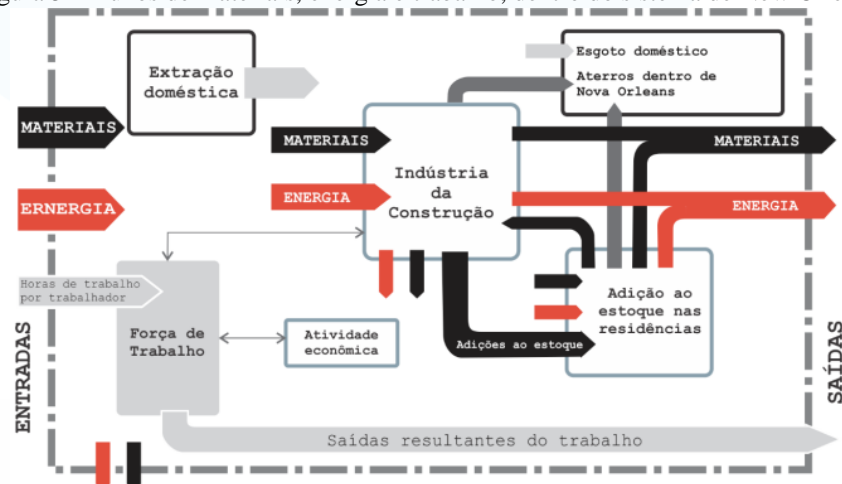
Alguns exemplos internacionais se destacam no uso de dados acerca do metabolismo de cidades para o planejamento e gestão de seus territórios. Um deles, na Espanha, envolveu a criação de uma Agencia de Ecologia Urbana de Barcelona – BCN Ecologia. Trata-se de um consórcio, criado e gerido por representantes de três entes federativos: a cidade de Barcelona, a área metropolitana de Barcelona e a província da Catalunha (equivalente ao nível estadual no Brasil). O consórcio realiza projetos

destinados a instituições públicas, fundações, organizações e empresas. Adota como modelo conceitual o que chama de Urbanismo Ecológico, integrando mobilidade, energia, resíduos, água, biodiversidade e coesão social (Ajuntament de Barcelona, 2019). Esse caso pode servir de referência para solucionar o problema da abordagem fragmentada dos problemas urbanos, a partir de secretarias e departamentos isolados, tal como é frequente no Brasil.

Entre os projetos desenvolvidos pela BCN Ecologia, um exemplo é aquele para o distrito Figueres, que se baseia diretamente na abordagem de MU. Criou-se uma Agência de Recursos Metabólicos, com responsabilidade de manutenção e busca de autossuficiência do distrito, em termos de energia, água, resíduos e outros fluxos.

Outro exemplo internacional é o desenvolvimento de um projeto para a reconstrução sustentável de New Orleans. O estudo de alternativas foi desenvolvido por estudantes das Universidades de Toronto e do MIT (Lotfi; Daneshpour, 2016). Nele, utilizou-se a caracterização dos resíduos de construção civil gerados pela destruição da cidade em 2005. Esse mapeamento permitiu que os destroços do furacão Katrina pudessem servir de matéria prima para a própria construção civil, diminuindo a demanda de materiais para a reconstrução da cidade. Os resultados desse levantamento foram expressos na forma de uma cadeia de fluxos (Figura 5).

Figura 5 - Fluxos de materiais, energia e trabalho, dentro do sistema de New Orleans.



Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Quinn e Fernández, 2007.

Nesse caso específico, a partir da informação prévia acerca do estoque de residências existentes na época do desastre e da composição média dessas residências, houve a recondução dos resíduos para a indústria da construção, ao invés de conduzi-los inteiramente para o aterro. Quinn e Fernandez (2007) dimensionaram inclusive gastos energéticos e de trabalho humano, considerando que a “ecologia da construção” da cidade deveria ir além dos dados técnicos, trabalhando de forma sensível em relação aos recursos humanos disponíveis.

4.2 METABOLISMO URBANO COMO ABORDAGEM PARA COMPREENSÃO E PLANEJAMENTO ECOSISTÊMICO DOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS

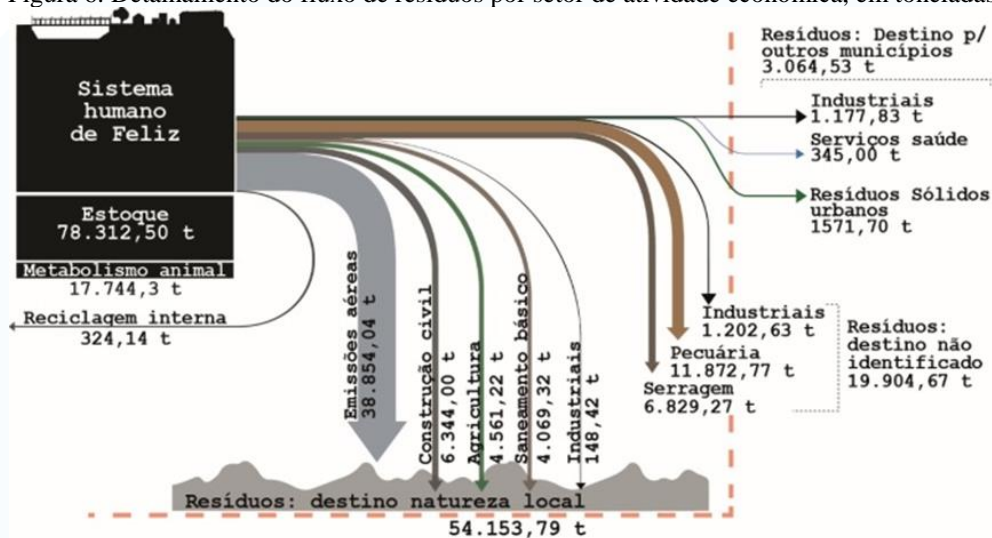
No Brasil, onde parte das cidades ainda não conseguiu resolver plenamente o nível básico de acesso aos serviços de infraestrutura urbana, as informações fornecidas por modelos de MU podem ser particularmente úteis para aprimorar o gerenciamento desses fluxos. Apresentam-se nesta seção dois exemplos de como a abordagem de MU pode ser aplicada na gestão de resíduos sólidos urbanos na escala municipal e regional.

Na escala municipal, uma compreensão desse potencial pode ser obtida a partir do caso de Feliz, desmembrando-se os resultados agregados apresentados na Figura 4, seção 1.3. A Figura 6, em complemento, detalha dos fluxos de resíduos. Nela estão demonstrados quais setores da economia são responsáveis pela sua geração. Também é possível verificar, que, tratando-se exclusivamente de resíduos sólidos, aqueles oriundos da pecuária predominam em magnitude. O mau gerenciamento dos resíduos de suínos e aves desse setor, segundo o único diagnóstico e plano ambiental realizado para município (Prefeitura Municipal de Feliz, 2007), tem como impactos ambientais, a contaminação do solo e da água e a liberação de emissões atmosféricas. O documento não apresenta informações mais específicas sobre a magnitude desses resíduos, como é possível obter com estudos de MU.

Realizado o estudo de UM para Feliz (Kuhn, 2014) e verificada a representatividade dos resíduos da pecuária frente aos demais, identificou-se a existência de um projeto, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) em parceria

com uma agência alemã, denominado Projeto de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Brasil, 2023). O projeto atua junto aos órgãos governamentais para geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do biogás gerado por diversas fontes, entre eles, de resíduos agropecuários.

Figura 6. Detalhamento do fluxo de resíduos por setor de atividade econômica, em toneladas.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados estimados por Kuhn (2014).

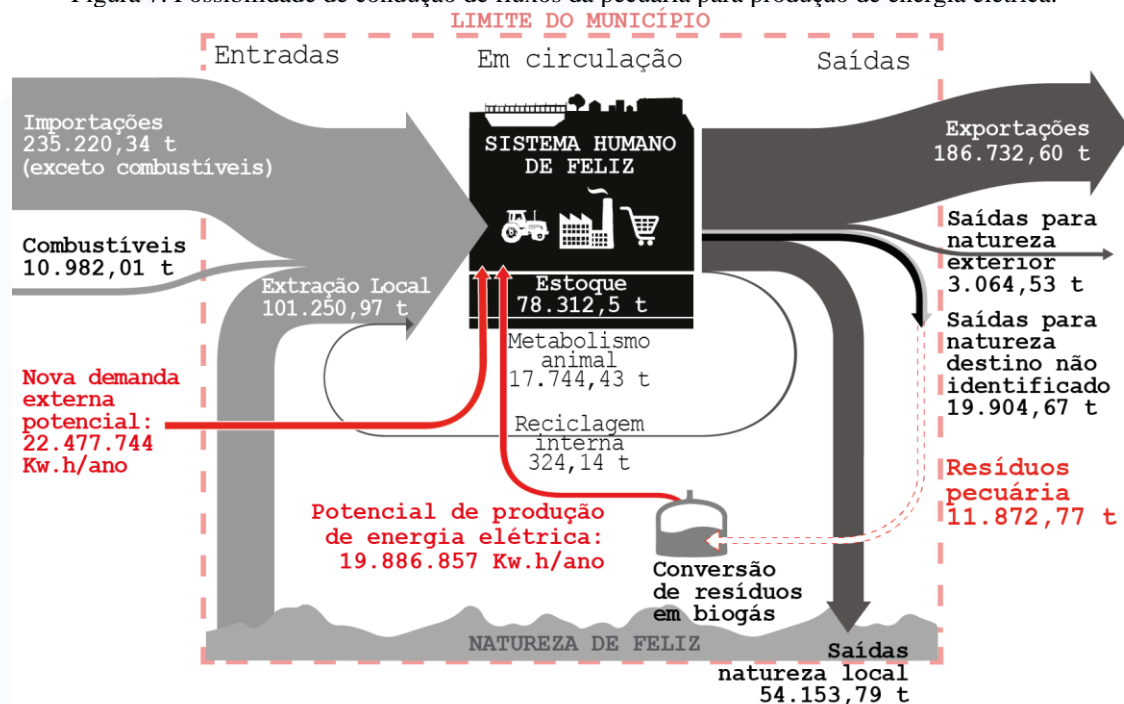
A partir dessa oportunidade, Mattos (2014) estimou o potencial de conversão dos resíduos da pecuária de Feliz em biogás e, posteriormente, em energia elétrica. A Figura 7 ilustra, em vermelho, as mudanças que ocorreriam no metabolismo do município ao se introduzir essa iniciativa. Verificou-se um potencial de produção de energia elétrica equivalente a 19.886.557 Kw.h/ano, ou seja, capaz de suprir cerca de 45% da demanda real de energia elétrica do município no mesmo período.

É possível observar como a abordagem de MU facilita a identificação dos fluxos a serem priorizados, a visualização do metabolismo do município de forma sistêmica e, por conseguinte, de oportunidades para fechamento de ciclos e promoção do metabolismo semicircular nas cidades.

Outro potencial de uso das informações obtidas em estudos de caso de MU pode ser observada se extrapolando a ideia de gerenciar resíduos em escala local para escalas maiores. Em virtude da carência de recursos em nível municipal e da existência de

pequenas municipalidades, muitas prefeituras agrupam-se para contratação associada de uma única empresa (consórcios públicos). Entretanto, a falta de mapeamento e análise dos fluxos entre municípios e aterros pode estar acarretando gastos energéticos excessivos, sobretudo em relação ao transporte desses materiais.

Figura 7. Possibilidade de condução de fluxos da pecuária para produção de energia elétrica.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados estimados por Kuhn (2014) e Mattos (2014).

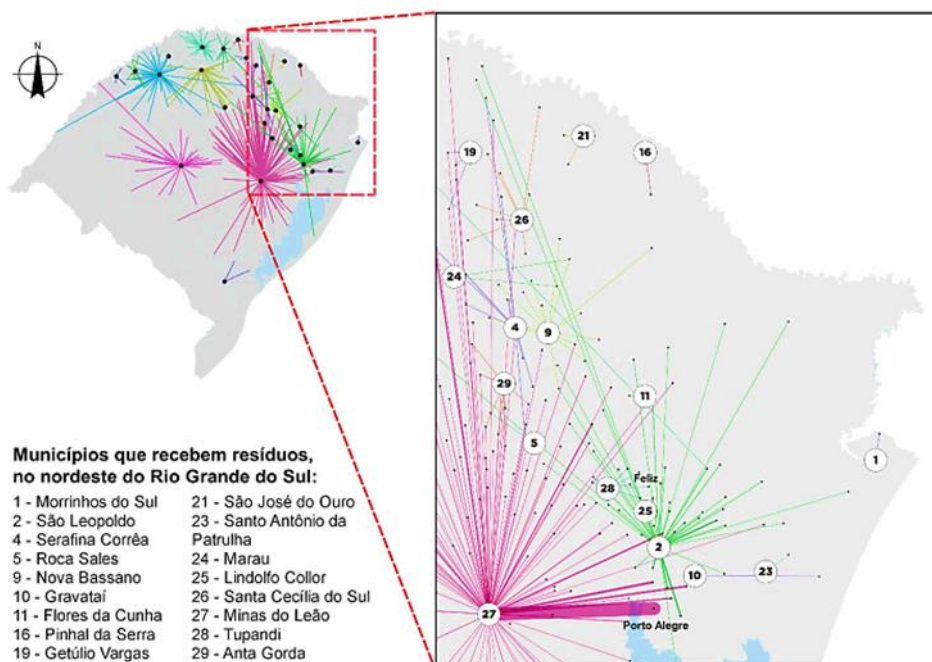
O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (Brasil, 2019) fornece dados que podem ser utilizados para mapear e gerir os caminhos percorridos entre a geração e destinação final de resíduos.

A Figura 8 apresenta os fluxos totais de resíduos do Rio Grande do Sul, no ano de 2016. As linhas conectam o município de origem e o município do aterro de destino (numerados e com nome do município identificado na legenda da figura). As diferentes cores distinguem conjuntos de municípios que enviam resíduos para um mesmo aterro.

Percebe-se que o critério de escolha do aterro de destino por parte das administrações municipais não corresponde, necessariamente, à menor distância. Além disso, a concentração da disposição final em poucos e grandes aterros, tal como aqueles

localizados nas cidades de Minas do Leão e São Leopoldo, no Rio Grande do Sul (ampliados no retângulo da figura), geram transportes de resíduos de cidades muito distantes, os quais poderiam ser encaminhados para aterros mais próximos, reduzindo os impactos dos transportes. Rearranjos desta ordem encontram-se no âmbito de pesquisas ainda em andamento pelos autores.

Figura 8. Fluxos de resíduos sólidos urbanos do Rio Grande do Sul, em 2016, em toneladas.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos dados de RSU disponíveis no SNIS (Brasil, 2019).

5 CONCLUSÕES

O artigo teve como objetivo demonstrar contribuições da abordagem de metabolismo urbano para uma visão e um tratamento ecossistêmico das cidades brasileiras. Iniciou-se com a apresentação das bases conceituais e metodológicas da abordagem. A seguir, casos internacionais, demonstrando estruturas administrativas e projetos focados em tratar os problemas das cidades a partir da abordagem de MU, permitiram visualizar possibilidades de superação das fragilidades do contexto nacional ao tratá-los de forma isolada. Aproximou-se, então, a discussão da realidade nacional,

apresentando-se estudos de caso desenvolvidos pelos autores. Os estudos demonstram que o mesmo um pequeno e produtivo município apresenta um metabolismo predominantemente linear, com percentual ínfimo de reciclagem interna. Essa característica faz com que sejam muito demandantes de novos recursos e enfrentem problemas ambientais relacionados ao volume e a má gestão dos resíduos gerados. Também se observa que a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Rio Grande do Sul também carece de um olhar sistêmico, pois, além dos impactos diretos da disposição final, o critério de escolha do aterro de destino por parte das administrações municipais desconsidera os impactos indiretos decorrentes do transporte. Esses resultados corroboram com as evidências apresentadas no relatório *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe: requerimientos futuros de recursos y potenciales rutas de actuación* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2021) e reforçam a necessidade de uma reorientação estratégica para o desenvolvimento mais eficiente e sustentável na escala local. Conclui-se que a abordagem ecossistêmica dos municípios brasileiros é uma urgência até então ignorada e que há caminhos e demandas para o desenvolvimento, tanto da pesquisa científica em MU, quanto da aplicação da abordagem no planejamento municipal.

REFERÊNCIAS

- AJUNTAMENT DE BARCELONA. **The organization – government bodies**. Disponível em: <<https://ajuntament.barcelona.cat/en/municipal-organisation/find-out>>. Acesso em: 25 ago. 2019.
- BAI, X. Industrial ecology and the global impacts of cities. **Journal of Industrial Ecology**, Spring, v. 11, n. 2, p. 1–6. 2007.
- BARLES, S. Urban Metabolism of Paris and Its Region. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 6, p. 898–913, 2009.
- BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 - Estatuto da Cidade**. Brasília, 2001.
- BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento–SNIS**. Disponível em: <<http://appsniis.mdr.gov.br/indicadores-hmg/web/site/index>>. Acesso em: junho de 2019.
- BRASIL. **Projeto de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS**. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/probiogas>>. Acesso em: junho de 2023.
- BROTO, V. C.; ALLEN, A.; RAPOPORT, E. Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 16, n. 6, p. 851–861, 2012. doi:10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x.
- CASTELLS, M. **A Sociedade em rede - Volume I**. São Paulo: Paz e Terra, 2005, 8º ed.
- CONKE, L. S.; FERREIRA, T. L. Urban metabolism: measuring the city’s contribution to sustainable development. **Environmental Pollution**, v. 202, p. 146–152. jul. 2015.
- COSTA, H. S. M. de. Desenvolvimento urbano sustentável: uma contradição de termos? **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, n. 2, p. 55–71, 1999.
- COSTA, H. S. M de.; CAMPANTE, A. L. G.; ARAUJO, R. P. Z. de. Dimensão Ambiental nos planos diretores de municípios brasileiros: um olhar panorâmico sobre a experiência recente. In: SANTOS Jr, O. A. dos; MONTANDON, D. T. (orgs). **Os planos diretores municipais Pós-Estatuto da Cidade: balanço crítico e perspectivas**. Rio de Janeiro: Letra Capital; Observatório das Metrópoles, 2011, p.173-217.
- EMILIANO, E. O de. Integração das políticas setoriais urbanas e ambientais: alguns diálogos possíveis. In: XVI Encontro Nacional da ANPUR, 18 maio 2015, Belo Horizonte. Disponível em: <http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenapur/issue/view/5>. Acesso em: 25 ago. 2019.
- EUROSTAT. **Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide**. Luxembourg: Statistical Office of the European Union, 2001.
- FISCHER-KOWALSKI, M. Society’s Metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 1, p. 61–78, 1998. doi:10.1162/jiec.1998.2.1.61.

FORMAN, R. T. T. **Urban Ecology: Science of cities**. Nova York: Cambridge University Press, 2014.

INTERNATIONAL INITIATIVE FOR A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT - IISBE. **IEA ANNEX 31 Energy-Related Environmental Impact of Buildings: environmental framework**, 2004. Disponível em: <http://www.iisbe.org/annex31/pdf/B_environmental.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. **Environmental Pollution**, v. 159, n 8–9, set. 2011, p. 1965-1973, 2010. doi:10.1016/j.envpol.2010.10.022.

KENNEDY, C.; CUDDIHY, J.; ENGEL-YAN, J. The Changing Metabolism of Cities. **Journal of Industrial Ecology**, v. 11 n. 2, p. 43–59, 2007. doi:10.1162/jie.2007.1107.

KUHN, E. A. Análise dos Fluxos de Materiais de um município brasileiro de pequeno porte: o caso de Feliz/RS. 2014. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, porto Alegre. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/10183/96657>>.

LOTFI, A.; DANESHPOUR, S. A.. Analysis and evaluation of the ecological restoration of the city with an emphasis on Urban Metabolism. **Open Journal of Ecology**, n. 6, p. 377-386, 2016. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2016.67036>

MATTOS, F. R. T. de. **Biogás: estudo do potencial energético e proposta de aproveitamento, através do uso de biodigestores, para o município de Feliz/RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/107532>>.

NAÇÕES UNIDAS. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. 2024. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 06 de junho de 2024.

NIZA, S.; ROSADO, L.; FERRÃO, P. Urban Metabolism: Methodological advances in urban material flow accounting based on lisbon case study. **Journal of Industrial Ecology**, v. 13, n. 3, p. 384–405, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FELIZ. Plano Ambiental. Feliz: Prefeitura Municipal de Feliz, 2007.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. **El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe: requerimientos futuros de recursos y potenciales rutas de actuación**. Ciudad de Panamá, Panamá. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/es/resources/informe/el-peso-de-las-ciudades-en-america-latina-y-el-caribe-requerimientos-futuros-de>. Acesso em: 24 fev 2023.

QUINN, D.; FERNANDEZ, J. **Urban Metabolism: Ecologically Sensitive Construction for a Sustainable New Orleans**. 2007. Disponível em: <<https://www.lafargeholcim-foundation.org/forum/2nd-forum/StudentPosters>>. Acesso em: 25 ago. 2019.

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. **Cidades para um pequeno planeta**. Tradução: Di Marco, Anita Regina; Zollinger, Carla. Barcelona: Ed. Gustavo Gili S.A., 1ª ed. 2001.

UNITED NATIONS. **New Urban Agenda**. Resolução 71/256, Assembleia Geral das Nações Unidas, em 23 de dez. 2016. Nova York: United Nations, 2017. Disponível em: <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-English.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2019.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. International Resource Panel. **The Weight of Cities: Resource Requirements of Future Urbanization**. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A. Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S. 2018. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. **Planning sustainable cities: Global Report on human settlements 2009**. Londres: Earthscan, 2009. Disponível em: <<http://mirror.unhabitat.org/categories.asp?catid=555>>. Acesso em: 25 ago 2019.

WOLMAN, A. The Metabolism of Cities. **Scientific American**, n.213, p.179–90, 1965.