

Contribuições do conceito e da abordagem de metabolismo urbano para a avaliação do custo das decisões ambientais

Eugenia Aumond Kuhn, Miguel Aloysio Sattler, Lucas Dorneles Magnus

Eugênia Aumond Kuhn, Miguel Aloysio Sattler, Lucas Dorneles Magnus. Contribuições do conceito e da abordagem de metabolismo urbano para avaliação do custo das decisões ambientais. *Thésis*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 3, p. 282-298, jan./out. 2017

data de submissão: 13/10/2016
data de aceite: 25/04/2017

Eugenia Aumond Kuhn é Arquiteta (UFRGS); Doutora em Engenharia Civil (UFRGS); professora do Centro Universitário Ritter dos Reis – UniRitter; eugeniaakuhn@gmail.com

Miguel Aloysio Sattler é Engenheiro Civil e engenheiro Agrônomo; Doutor (University of Sheffield) e pós doutor (University of Liverpool) em Ciências Ambientais Ligadas à Edificação; professor titular do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (UFRGS); masattler@gmail.com

Lucas Dorneles Magnus Graduando em Arquitetura e Urbanismo; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); lucas.magnus@ufrgs.br

Resumo

Intrinsecamente associado ao conceito de ecologia urbana está o de metabolismo urbano, o qual dá origem a pesquisas com o intuito de estimar a interferência dos sistemas urbanos na estabilidade dos fluxos de materiais e energia da biosfera. Ambos os conceitos, originados em meados do século XX, difundiram-se internacionalmente. A partir da revisão bibliográfica em bases de artigos científicos identificaram-se mais de 20 estudos, conduzidos na última década, aplicando a abordagem de metabolismo a municípios e regiões metropolitanas reais. O crescente número de pesquisas se deve à consolidação de planos de ação internacionais para o desenvolvimento sustentável. Apesar da profusão de pesquisas recentes, a maior parte das iniciativas é desenvolvida no contexto europeu, contando, inclusive, com um método padrão a orientá-las. A lacuna de estudos de cidades latino-americanas fomentou a tese de doutorado da primeira autora deste artigo, na qual se realizou a primeira caracterização dos fluxos de materiais associados ao metabolismo de um município brasileiro (caso de Feliz, RS). Para tanto, fez-se um extenso trabalho de identificação e de coleta de dados e o desenvolvimento de procedimentos metodológicos específicos para seu tratamento. O presente artigo tem por objetivo, a partir dos resultados obtidos e dos procedimentos metodológicos desenvolvidos, discutir as potenciais contribuições do conceito e da abordagem de metabolismo urbano para avaliação do custo das decisões ambientais no contexto brasileiro. Espera-se contribuir com o tema através: a) da análise das relações entre ecologia urbana, metabolismo urbano e avaliação de custos ambientais; b) da identificação das atividades de tomada de decisão as quais os resultados obtidos poderiam oferecer suporte; c) da análise das possibilidades e limitações ao se pretender caracterizar o metabolismo de um número maior de municípios brasileiros e d) de uma discussão dos desenvolvimentos futuros neste tema de pesquisa.

Palavras-chave: ecologia urbana. metabolismo urbano. sustentabilidade urbana.

Abstract

The concept of urban ecology is linked to the concept of urban metabolism that tries to estimate the interference of urban systems in the stability of flows of materials and energy historically established in the biosphere. Both concepts originated in the



mid-twentieth century and spread internationally. A literature review on more than 20 scientific articles, written over the past decade identified the metabolic approach being applied to cities, municipalities and metropolitan areas. The growing number of research is due to the consolidation of international action plans for sustainable development. It was also identified that most of the researches were developed in the European context, where a standard method begins to be established. The absence of such type of studies in Latin America fomented the doctoral dissertation of the first author of this article, in which the first characterization of material flows associated to the metabolism of a Brazilian municipality was carried out (municipality of Feliz, State of Rio Grande do Sul). An extensive search led to data identification and collection, as well as to the development of specific methodological procedures for their treatment. From the results obtained and methodological procedures developed, this article aims to discuss potential contributions of the urban metabolism concept and approach to the assessment of the costs of environmental decisions in Brazilian settings. Contributions are made by: a) an analysis of the relationship between urban ecology, urban metabolism and assessment of environmental costs; b) the identification of the decision-making activities whose results it could support; c) the analyses of the possibilities and limitations to characterizing the metabolism of Brazilian cities and d) a discussion on future developments in this area of research.

Keywords: urban ecology . urban metabolism. urban sustainability.

Resumen

El concepto de la ecología urbana esta relacionado con el concepto de metabolismo urbano, lo que conduce a la investigación con el fin de estimar la interferencia de los sistemas urbanos en la estabilidad de los flujos de materiales y energía en la biosfera. Ambos conceptos se originaron in la segunda mitad del siglo XX y se extendió a nivel internacional. A partir de una revisión de la literatura, se identificaron más de 20 estudios realizados durante la década pasada, la aplicación del enfoque metabólica a las ciudades, municipios y áreas metropolitanas. El creciente número de investigaciones se debe a la consolidación de los planes de acción internacionales para el desarrollo sostenible. A pesar de la reciente profusión de investigación, la mayoría de las iniciativas se desarrollan en el contexto europeo, donde un método estándar empieza a ser establecido. La laguna de estudios de ciudades de América Latina fomentó la tesis doctoral del primer autor de este artículo, en el que la primera caracterización de información de flujos de materiales asociados con el metabolismo de un municipio brasileño se llevó a cabo (Feliz, RS). Por lo tanto, se llevó a cabo un extenso trabajo para la identificación y recopilación de datos, así como el desarrollo de procedimientos metodológicos específicos para su tratamiento. A partir de los resultados obtenidos y los procedimientos metodológicos desarrollados, este artículo tiene como objetivo discutir las posibles contribuciones del concepto y enfoque relacionado con el metabolismo urbano para evaluar el costo de las decisiones ambientales en el contexto brasileño. Las contribuciones se hacen mediante: a) el análisis de la relación entre la ecología urbana, metabolismo urbano y la evaluación de los costos ambientales; b) la identificación de las actividades de toma de decisiones cuyos resultados podrían apoyar; c) el análisis de las posibilidades y limitaciones para caracterizar el metabolismo de un mayor número de ciudades brasileñas y d) un análisis de la evolución futura de esta área de investigación.

Palabras clave: ecología urbana. metabolismo urbano. sostenibilidad urbana.

Introdução

O conceito de ecologia urbana surge por volta de 1960, com os posicionamentos críticos sobre o crescimento econômico e seus efeitos ambientais, bem como com a consolidação do campo da ecologia de ecossistemas. No período, nasciam críticas severas à cidade industrial. Para citar apenas um exemplo, Mumford (1961), denunciou o mito das megalópolis e, como outros contemporâneos, previu os conflitos das cidades industriais.

Desde então, a noção de sustentabilidade vem ocupando espaço crescente nas discussões internacionais sobre desenvolvimento. Além disso, alguns pesquisadores, a exemplo de Costa (1999), afirmam que parte significativa desse debate, nos países desenvolvidos, se concentra no papel das cidades. Evidências em sintonia com essa afirmação podem ser encontradas na Agenda Habitat (1996), um dos principais planos de ação internacional para o desenvolvimento sustentável.

Silva (2000), contudo, destaca que embora haja um aparente consenso, na esfera discursiva, quanto ao reconhecimento dos problemas que atingem as sociedades e as cidades contemporâneas e da necessidade de superá-los, ele é desfeito, no instante em que passa a requerer proposições objetivas. Especificamente no que se refere à dimensão ambiental, tal dificuldade se estabelece, entre outros motivos, devido à lacuna de conhecimento existente sobre como e em que extensão os diferentes sistemas, padrões e atividades locais (municipais ou urbanas) impactam os sistemas naturais, nas escalas local, regional e global (ALBERTI, 1996).

Estudos no campo da ecologia urbana buscam tais respostas em pesquisas com diferentes abordagens. Uma das mais perseguidas adota o conceito de metabolismo urbano, que busca estimar a interferência dos sistemas urbanos na estabilidade dos fluxos de materiais e energia da biosfera.

Apesar do crescimento do número de pesquisas recentes adotando a abordagem de metabolismo urbano, a maior parte delas tem sido desenvolvida no contexto europeu, contando inclusive, com um método padrão a orientá-las. Particularmente escassos são os estudos de metabolismo de cidades latino-americanas. Esta lacuna foi decisiva para a realização a tese de doutorado da primeira autora deste artigo (KUHN, 2014), pioneira caracterização dos fluxos de materiais associados ao metabolismo de um município brasileiro (caso de Feliz, RS).

O presente artigo tem por objetivo, a partir dos resultados obtidos e dos procedimentos metodológicos desenvolvidos por Kuhn (2014), **discutir as potenciais contribuições do conceito e da abordagem de metabolismo urbano para a avaliação do custo das decisões ambientais no contexto brasileiro**. Espera-se atingir esse objetivo por meio de três discussões. A primeira, desenvolvida na seção 2, apresenta uma análise das contribuições teóricas, investigando as relações entre os conceitos de ecologia urbana, metabolismo urbano e avaliação de custos ambientais. A segunda busca identificar contribuições práticas, com o auxílio da identificação das atividades de tomada de decisão às quais o tipo de resultados obtidos nos estudos de metabolismo poderia oferecer suporte (seção 3). A seguir, na seção 4, faz-se uma análise de possibilidades e limitações para se caracterizar o metabolismo de um número maior de cidades brasileiras. Por fim, conclui-se o artigo com uma síntese dos desenvolvimentos futuros desejáveis neste tema.

Relações entre ecologia urbana, metabolismo urbano e avaliação de custos ambientais

Desenvolvimento e estado da arte das pesquisas no campo da ecologia urbana e metabolismo urbano

A expressão ecologia urbana foi aplicada, desde sua origem, para designar, no mínimo, duas grandes linhas de pesquisa, investigando diferentes fenômenos urbanos. Uma delas, desenvolvida a partir da segunda década do século XX, foi muito difundida pelos trabalhos na chamada “Escola de Chicago”, com estudos sociológicos, na linha de ecologia humana aplicada aos fenômenos associados ao crescimento das grandes cidades, em particular nos Estados Unidos (CIDADE, 2012).

Outra linha, difundida a partir da década de 1960, origina-se da transposição das discussões do campo da ecologia de ecossistemas em decorrência da Teoria Geral dos Sistemas, desenvolvida em meados do século XX (FISCHER-KOWALSKI, 1998). O conceito de ecologia urbana, nesta linha, parte de uma visão de que a cidade pode ser vista como um ecossistema em sentido amplo: “uma unidade ambiental, dentro da qual todos os elementos e processos do ambiente são inter-relacionados e interdependentes, de modo que uma mudança em um deles resultará em alterações em outros componentes” (MOTA, 1981, p. 15).

É nesta segunda linha pesquisa, que surge o **conceito de metabolismo urbano**, a partir do reconhecimento de que os sistemas urbanos, em analogia aos sistemas naturais, apresentariam um metabolismo. Wolman (1965) foi o primeiro a tentar operacionalizar o conceito para o entendimento dos sistemas urbanos, quantificando as entradas e as saídas de materiais e de energia de uma cidade americana hipotética, de um milhão de habitantes.

Para Broto, Alen e Rapoport (2012), a inovação fundamental no estudo de Wolman, dentro da ecologia urbana, foi a de realizar uma adequação dos estudos de "ecologia nas cidades" para estudos de "ecologia das cidades". Enquanto os primeiros se concentram em explicar como padrões e processos biofísicos dentro dos limites das cidades são diferentes daqueles ocorrentes em ambientes "naturais", os segundos salientam como as cidades processam os materiais e a energia oriundos e/ou destinados aos ambientes circundantes. Esta última perspectiva caracteriza a cidade como um ecossistema integrando um sistema maior e utiliza o conceito de metabolismo para descrever as interações entre os subsistemas urbanos dentro de uma região (BROTO; ALLEN; RAPOPORT, 2012).

Os primeiro textos sobre ecologia urbana foram bem recebidos internacionalmente e levaram a UNESCO - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* - a conduzir o programa, lançado em 1971, denominado Homem e Biosfera, o qual também tinha em seu escopo a análise detalhada de Roma, Barcelona e Hong Kong. Contudo, o interesse pela aplicação do conceito de metabolismo às cidades sofreu uma redução na década de 1980. Em 1983 ocorreu, no Japão, um simpósio sobre metabolismo urbano, mas poucos artigos foram publicados, destacando-se apenas um, apresentado por Girardet (KENNEDY; PINCETL; BUNJE, 2010). O autor apontava como principal causa dos impactos ambientais transferidos das cidades para outras regiões o "metabolismo linear" das cidades, onde recursos são consumidos em altas taxas nas cidades, metabolizados e depois expelidos como resíduos. A chave para a redução desses impactos estaria no estabelecimento de um "metabolismo circular", no qual, tanto o consumo de recursos, quanto a emissão de resíduos seriam reduzidos. Esta proposta é, nos anos 2000, resgatada por Rogers e Gumuchdjan (2014), que adota o "metabolismo semicircular" como um dos paradigmas do modelo de cidade sustentável.

A partir do início da década de 1990, estudos de metabolismo aplicados a cidades começaram a ressurgir

lentamente até, a partir dos anos 2000, passaram a apresentar um crescimento exponencial. A partir de uma revisão bibliográfica em bases de artigos científicos, foram identificados mais de 20 estudos, conduzidos nos últimos 16 anos, aplicando a abordagem de metabolismo a cidades, municípios e regiões metropolitanas. Além disso, em 2007, o *Journal of Industrial Ecology* dedicou uma edição exclusiva ao metabolismo das cidades, a qual contou com 10 artigos teóricos, de autores ligados a diferentes áreas do conhecimento (BAI, 2007).

O crescimento no número de pesquisas está diretamente associado à consolidação de planos de ação internacionais para o desenvolvimento sustentável. Assim, para alguns pesquisadores, como Kennedy e Hoornweg (2012), se os governos locais pretendem verdadeiramente adotá-lo, então a coleta de dados acerca do metabolismo urbano tem de se tornar uma atividade recorrente e muito mais cidades devem começar a avaliar o seu desempenho ambiental.

O direcionamento de olhares para a escala territorial local e, particularmente, para as cidades se deve ao reconhecimento de que significativas pressões, principalmente ambientais, são geradas a partir das mesmas e transferidas para além dos seus limites, atingindo, tanto as áreas do seu entorno, como regiões distantes do globo (BAI, 2007). O assim denominado encurtamento das distâncias, possibilitado pelos meios de transporte contemporâneos, o crescimento dos mercados globalizados, bem como a transferência da lógica industrial para as atividades primárias, tem aumentado a complexidade das relações das cidades entre si, das cidades com suas áreas rurais circundantes e das cidades com os processos ambientais que, local, regional e globalmente lhe dão suporte.

No que se refere aos desdobramentos metodológicos do conceito de metabolismo, observa-se que a maior parte das pesquisas de metabolismo urbano conduzidas na última década adota como referência o Guia Metodológico Eurostat (EUROSTAT, 2001), o qual foi desenvolvido, originalmente, para a avaliação do metabolismo físico das economias nacionais europeias. É neste continente que a maior parte das pesquisas recentes tem sido desenvolvida, de modo que cada estudo propõe adaptações e adequações desse Guia para a escala municipal, a partir da disponibilidade de dados do contexto onde estão inseridos. Uma razão adicional para o uso do Guia Metodológico Eurostat é que, com a padronização das categorias de fluxos agrupados e de procedimentos desenvolvidos, os re-

sultados dos metabolismos de diferentes cidades podem ser comparados. Além disso, o Guia apresenta também uma proposta de um conjunto de indicadores derivados da contabilidade metabólica.

É interessante mencionar que em todos os estudos desenvolvidos, a unidade de análise é delimitada pelas fronteiras administrativas da região analisada. Assim, em geral, os estudos englobam recortes territoriais que correspondem, fazendo-se uma analogia com a organização político-administrativa brasileira, a municípios ou regiões metropolitanas.

Os únicos estudos de metabolismo urbano no Brasil foram os desenvolvidos por Conke e Ferreira (2015) para Curitiba e por Kuhn (2014) para o município de Feliz, RS. O metabolismo de Curitiba é investigado a partir de um número reduzido de fluxos específicos, que seriam representativos do metabolismo global. Os autores adotam um método simplificado proposto por Kennedy e Hoornweg (2012), no escopo do que denominam de *Abbreviated Urban Metabolism Studies*.

No estudo de Feliz, são adotados os procedimentos gerais e a classificação de fluxos proposta pelo método Guia Metodológico Eurostat como guia dos dados a serem coletados. Assim, foi investigada a totalidade dos fluxos formais (capturados por fontes oficiais ou estatísticas) de origem humana que ingressam ou deixam o município. Este método demanda uma compilação exaustiva dos fluxos entradas e saídas do sistema. No lado das entradas, foi estimada a extração local e a importação a partir de outros municípios, regiões ou países. Entre as saídas são incluídos resíduos, emissões aéreas, efluentes líquidos e exportações para outros municípios, regiões ou países.

É apontada como sendo particularmente difícil a obtenção de dados relativos aos fluxos de importações e exportações municipais. Como alternativa para o contexto brasileiro, desenvolveu-se um conjunto de procedimentos, que extrai dados de Notas Fiscais Eletrônicas (NF-e), que conta com a ajuda de um *software* desenvolvido para conversão automatizada, usando a linguagem de programação Java. Esses procedimentos são apresentados de forma simplificada no presente artigo, mas podem ser consultados em Kuhn (2014), onde são detalhadamente descritos.

Os dados que tem origem nas NF-e foram fornecidos pela Secretaria da Fazenda do Rio Grande do Sul, por meio de um conjunto de planilhas Excel em que constavam todos os produtos comercializados entre

empresas de Feliz e de outros municípios, ao longo de 2011. Devido ao fato de estarem desagregados ao nível do produto individual, ocorrente em cada transação comercial, e de estarem registrados em diversas unidades de medida, os procedimentos envolveram, inicialmente, a conversão da unidade de medida existente para toneladas. Posteriormente, de acordo com o seu código NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) e com base no Guia Metodológico Eurostat, cada produto foi categorizado segundo: a) seu nível de processamento; b) sua composição e; c) sua posição, capítulo e seção superior na estrutura NCM.

A figura 01 apresenta os resultados em seu maior nível de agregação, segundo sua composição predominante. Outros gráficos e diagramas foram produzidos a partir das demais formas de categorização. O método também permite a análise ao nível do produto individual (entrada, saída e consumo de gasolina ou cimento, por exemplo) e o cálculo de indicadores para comparação entre cidades (ver exemplo na seção 3.2).

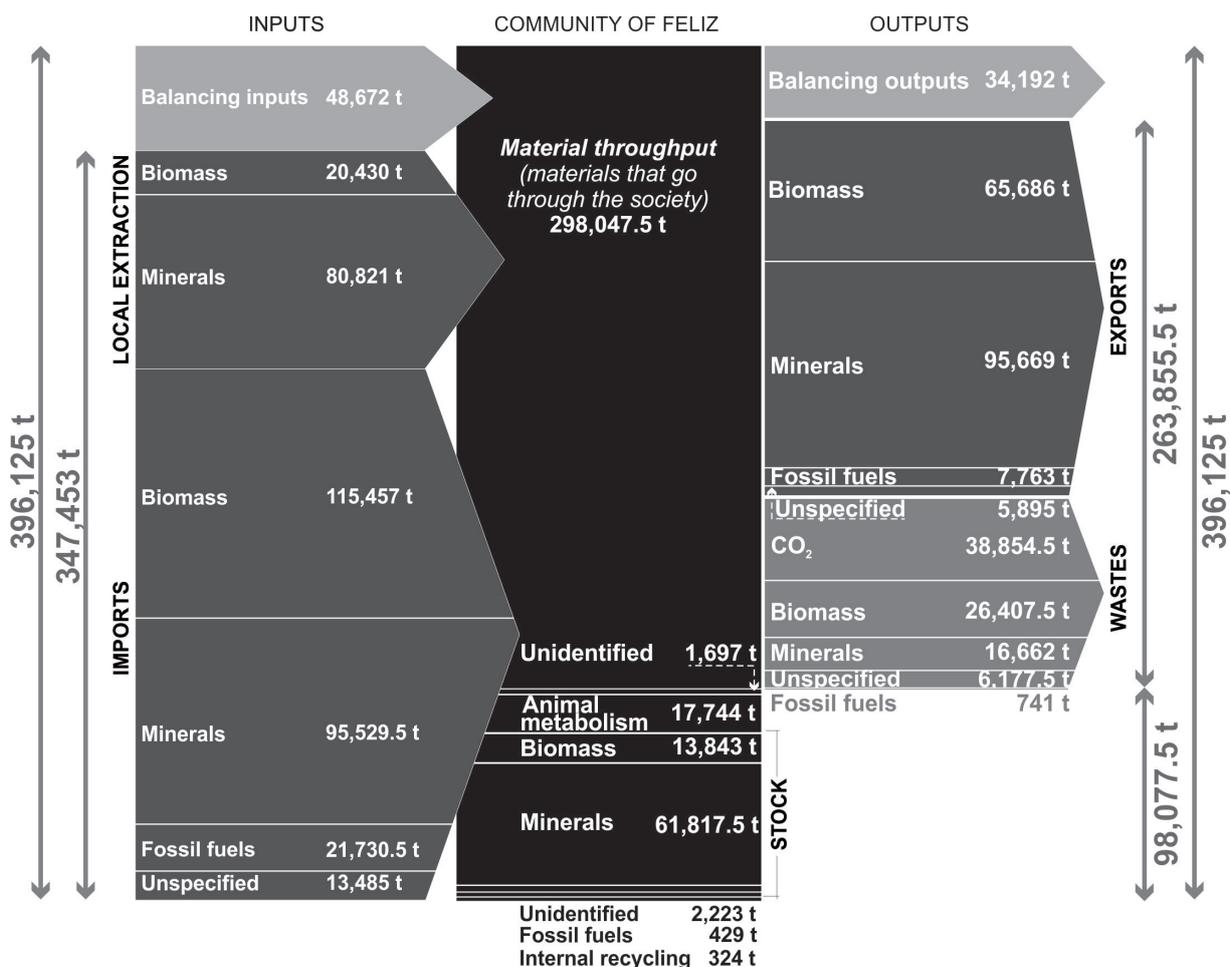


Figura 1 Fluxos de materiais do município de Feliz, no ano de 2011, por composição, em toneladas. Fonte: Kuhn, 2014

Metabolismo urbano e custos ambientais

Analisados a partir dos conceitos apresentados na seção anterior, os municípios são considerados sistemas abertos, dependentes do ambiente exterior para que parte de suas funções sejam supridas, através da provisão de recursos e da assimilação de resíduos (BAI, 2007). Todos os recursos demandados pelo sistema são chamados **entradas** (*inputs*), as quais podem ser extraídas do ambiente local ou podem chegar ao sistema por meio de outros sistemas (outros municípios, por exemplo). Materiais extraídos ou processados localmente e depois exportados, assim como os materiais expelidos, depois de serem “metabolizados”, são denominados **saídas** (*outputs*).

Todas as interações entre o sistema e o ambiente são expressas em termos de fluxos de massa e energia, que podem ser vistas como **cadeias de causas e efeitos**. Esse encadeamento é provocado por processos e atividades humanas, fontes de **cargas ambientais**, que, por sua vez, acarretam uma série de mecanismos intermediários até, em último grau, provocarem um impacto ambiental final. As cargas ambientais, entendidas como saídas diretas dos processos, são apresentadas na forma de consumo de recursos ou de geração de emissões, as quais são identificadas pelos estudos de metabolismo. Suas decorrências imediatas são os efeitos ambientais, que se caracterizam como a primeira reação do ambiente circundante. Por fim, impactos ambientais ocorrem em decorrência dos efeitos ambientais e, usualmente, envolvem aparente perda ou ganho para a sociedade, para um grupo de pessoas ou para um indivíduo específico (*IEA ANNEX 31 - ENERGY RELATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS*, 2004).

Geralmente, uma cadeia de causas e efeitos é mais longa e intrincada do que parece, sendo que, em sistemas complexos como as cidades, essas redes tendem a ser extremamente complexas. Para estudar os potenciais impactos finais de uma carga ambiental, modelos de laboratório têm sido desenvolvidos (FEMIA; MOLL, 2005). No entanto, eles fornecem apenas representações simplificadas das verdadeiras interações ambientais, que abrangem milhares de espécies vivas e a totalidade de condições que as rodeiam. Mensurar os impactos finais das cadeias de causa e efeito é mais difícil do que mensurar aqueles intermediários ou os efeitos diretos de cargas ambientais, pois não há disponibilidade de dados confiáveis e modelos suficientemente robustos que permitam a mensuração dos impactos finais, permanecendo, assim, demasiadamente limitados (*UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME*, 2003).

Devido às incertezas na previsão dos impactos ambientais finais, a grande maioria dos estudos de metabolismo urbano fica restrita à estimativa das cargas ambientais (fluxos de materiais). Assim, os resultados, em geral, são predominantemente quantitativos e descritivos.

Apenas foi encontrada uma pesquisa buscando estimar impactos finais, a partir de procedimentos para associar os resultados de fluxos de materiais às ferramentas (*softwares*), apropriados para Avaliação do Ciclo de Vida (VAN DER VOET et al, 2005).

No estudo desenvolvido por Kuhn (2014), a autora optou por não converter os resultados em potenciais impactos, pois se considerou que as incertezas e imprecisões relacionadas a esses procedimentos frustrariam os esforços de se estimar os fluxos de materiais de Feliz com maior precisão. Assim, a avaliação do metabolismo foi feita de forma analítica ou comparativa.

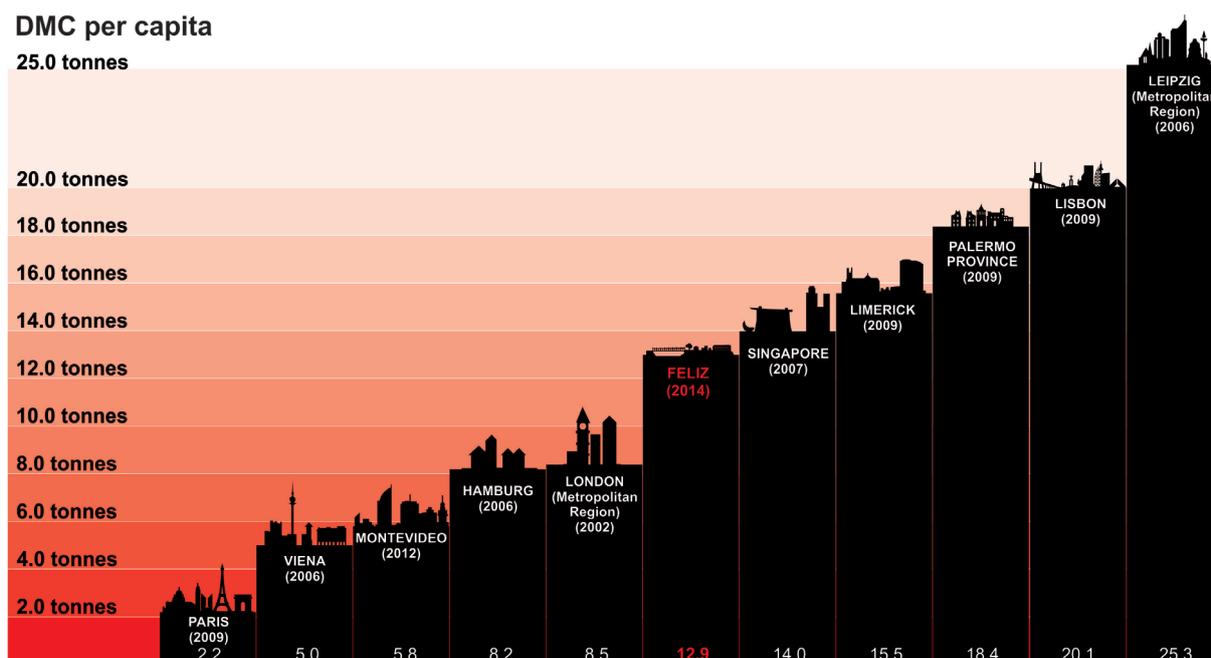


Figura 2
Comparação de indicadores DMC já estimados em estudos de metabolismo urbano, em toneladas per capita.
Fonte: própria

A avaliação analítica é feita de diversas formas. Buscou-se identificar em que setores do município são observados iniciativas que promovam o fechamento dos ciclos de materiais. Também foi possível identificar fluxos críticos específicos, com alto potencial contaminante. No que se refere à análise comparativa, pode-se confrontar indicadores de diferentes cidades.

A figura 2 apresenta a comparação do indicador de consumo (*Domestic Material Consumption* - DMC),

por exemplo. Ressalta-se, entretanto, que esta figura deve ser analisada com cautela, pois os estudos ilustrados foram realizados por diferentes autores, em diferentes datas. Comparações diretas demandariam o uso de fontes de dados comuns.

Por fim, os resultados também podem se avaliados a partir das categorias, como composição, criadas e descritas na seção anterior.

Metabolismo urbano e as decisões ambientais

Tem sido crescentemente reconhecido o variado potencial de usos dos resultados de pesquisas em metabolismo urbano como suporte às decisões ambientais, tendo em vista a riqueza de informações geradas a partir delas. Entretanto, observa-se que os estudos de metabolismo urbano em sua maior parte concentram-se no ambiente científico de modo que poucos exemplos de aplicações como suporte à decisão em situações concretas são encontrados na literatura.

Para tornar a análise apresentada nesta seção mais objetiva, inicialmente identificam-se as três atividades principais, distintas e complementares vinculadas ao desenvolvimento urbano: gestão, planejamento e projeto. A partir das atividades mencionadas acima, discute-se, nas subseções seguintes, o potencial de uso dos resultados de estudos de metabolismo urbano.

Suporte à gestão municipal

Os resultados dos estudos de metabolismo aplicados à gestão municipal parecem ser os mais evidentes, considerando que uma variedade de fluxos está diretamente relacionada à infraestrutura e aos procedimentos cotidianos de administração. Entre eles, destacam-se os fluxos de resíduos sólidos urbanos, de resíduos de construção e de demolição, de água e de esgoto. Observa-se que as responsabilidades da gestão municipal são, em muitas regiões, pelo menos no Brasil, distribuídas entre secretarias que tratam com funções municipais específicas e que, frequentemente, também são responsáveis pelo planejamento de ações futuras. Nesse caso, provavelmente, cada órgão estaria interessado em resultados de fluxos bastante específicos, sendo mais informativos resultados detalhados, do que altamente agregados.

Suporte ao planejamento

As atividades de planejamento urbano podem ocorrer em diferentes escalas administrativas (33): escala na-

cional, regional, macrolocal, mesolocal e microlocal. O suporte à decisão nas atividades relacionadas a cada escala de ação envolverá demandas por informações distintas.

Nas escalas nacional e regional de planejamento, os resultados dos estudos de metabolismo agregados sob a forma de indicadores permitem monitorar e comparar municípios entre si, bem como comparar indicadores locais com indicadores regionais e nacionais. Além disso, se aplicado em escala ampla, seria possível compreender o papel dos diferentes perfis de municípios, na rede regional e/ou nacional, no que se refere ao suprimento e ao consumo de recursos. Como consequência, seria possível estabelecer políticas ambientais e de desenvolvimento específicas.

Na **escala local de planejamento**, uma das alternativas para a aplicação dos resultados dos estudos de metabolismo é **integrá-los aos relatórios de diagnósticos ambientais**, de modo a servir de suporte ao desenvolvimento de planos e de políticas locais. Neste sentido, parece particularmente promissor associar estudos de metabolismo ao processo de elaboração da **Agenda 21 local** ou de **planos estratégicos semelhantes**. Como exemplo dessa associação, encontraram-se três casos na literatura. O mais recente é o projeto ANAFLUMPA (Análise dos fluxos de materiais de Palermo), do qual várias corporações locais participaram, incluindo a municipalidade¹ de Palermo e a Agência de Proteção Ambiental Regional (FEMIA; FALCITELLI, 2009).

¹ O termo municipality é usado pelos autores.

Resultados de estudos de metabolismo também podem ser usados para investigar efeitos de futuras mudanças nos fluxos municipais. Para isto, podem-se usar técnicas de elaboração de cenários associadas às tendências observadas no aumento ou redução dos fluxos de materiais, ao longo de séries temporais.

Suporte ao projeto

Quanto ao uso dos resultados de fluxos de materiais no projeto urbano, há referência ao desenvolvimento de um projeto, desenvolvido por um grupo de estudantes do curso de arquitetura do MIT, para a reconstrução sustentável de New Orleans (FERNANDEZ; QUINN, 2007).

Segundo Dielmann (2009), projetos urbanos na escala microlocal desempenham um papel determinante na redução dos recursos demandados e dos resíduos gerados durante os processos de construção, visto

que a opção por diferentes tipologias, técnicas construtivas e materiais terão, como resultado, diferentes magnitudes de fluxos, bem como diferentes impactos ambientais. Além disso, as características das edificações também serão determinantes de uma série de fluxos futuros, sobretudo fluxos de energia. A expressividade dos reflexos ambientais de diferentes projetos urbanos pode ser estimada ao se considerar que a maior parte dos recursos naturais extraídos pelo homem seja destinada à construção civil, e que o setor seja um dos maiores consumidores de energia e emissores de gases de efeito estufa (*UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2003*).

Ainda segundo Deilmann (2009), a abordagem de metabolismo também pode ser incluída no debate da influência da forma da cidade no consumo de recursos e na geração de resíduos.

Possibilidades e desafios para a caracterização do metabolismo de municípios brasileiros

Apesar do reconhecimento do potencial de usos dos resultados de pesquisas em metabolismo urbano como suporte às decisões ambientais, no Brasil, este campo de investigação está em fase inicial de desenvolvimento. As duas iniciativas empreendidas originam-se do meio acadêmico e não de uma necessidade empírica de informações por parte de órgãos de administração municipal.

Esta constatação é preocupante por apontar que não há uma tendência de que os custos ambientais, tais como aqueles avaliados nos estudos de metabolismo, venham a ser considerados nos processos decisórios municipais, pelo menos, a curto prazo. A falta de interesse por parte dos gestores está, provavelmente, relacionada ao tipo e ao local onde se manifestam os impactos ambientais decorrentes dos fluxos caracterizados pelos estudos de metabolismo.

No Brasil, as prioridades ambientais urbanas parecem ser distintas, por exemplo, daquelas da Comunidade Europeia. Segundo Niza, Rosado e Ferrão (2009), a gestão sustentável dos recursos naturais tem recebido particular atenção da política ambiental e de desenvolvimento, na medida em que, parte dos mais importantes documentos das políticas dessa comunidade aborda essa questão.

Segundo Costa (1999), a discussão ambiental urbana no Brasil parece estar concentrada em itens associa-

dos ao saneamento básico ou à saúde e à qualidade de vida. Tal quadro está associado ao fato de a maior parte das cidades ainda não ter conseguido resolver um nível mais básico, qual seja o de acesso aos principais bens e serviços urbanos. Acselrad (1999) complementa que o enfoque da qualidade de vida, em certos casos, também se deve à tentativa de promoção de uma imagem que marque a cidade por seu patrimônio biofísico, estético e cultural, de modo a atrair capitais na competição global.

Observa-se que os municípios brasileiros ainda parecem muito longe de assumirem compromissos ambientais claros e, mais longe ainda, de rever seus padrões de uso e de distribuição dos recursos, o que implicaria em rever também uma infinidade de processos e de atividades que lhes dão origem. O questionamento dos padrões de desenvolvimento e a inclusão de requisitos ambientais relacionados à gestão dos recursos são, frequentemente, associados a barreiras para o desenvolvimento econômico ou aumento da qualidade de vida urbana. Além disso, os benefícios ambientais da redução dos fluxos de recursos e de resíduos, frequentemente, não são percebidos diretamente no território que dá origem aos mesmos.

No que diz respeito às alternativas e desafios metodológicos para o desenvolvimento de estudos de metabolismo urbano no contexto brasileiro, a partir das duas experiências prévias desenvolvidas, apontam-se dois caminhos. O primeiro, na linha daquele desenvolvido por Conke e Ferreira (2015), embora mais limitado no número de fluxos de materiais estimados, encontra menos restrições relacionadas à aquisição e ao sigilo de dados. Além disso, os dados exigem, aparentemente, pouco processamento além da simples agregação.

O segundo caminho, na linha da pesquisa conduzida por Kuhn (2014) e dos estudos recentes desenvolvidos no continente europeu, fornece informações adicionais e deles podem ser extraídos indicadores, que permitem a comparação do metabolismo de diferentes municípios. Pressupõe-se a possível replicabilidade do método, que, embora demandante, pode ser facilitada por softwares, como o desenvolvido por Kuhn (2014), para a conversão automatizada de dados.

Entretanto, este método foi estado exclusivamente em um município pequeno, de modo que a reprodução em municípios maiores ou regiões metropolitanas requereria ser testada, para verificação de seus efeitos. Um aspecto crítico da reprodução do método são as possíveis restrições de acesso a uma importante fonte

de dados utilizada, as NF-e, como as da Secretaria da Fazenda, em função de sigilo fiscal.

Conclusões

O presente artigo teve por objetivo discutir as potenciais contribuições do conceito e da abordagem de metabolismo urbano para avaliação do custo das decisões ambientais no contexto brasileiro. O desenvolvimento desta discussão foi iniciado com uma revisão de literatura acerca das relações entre os conceitos de ecologia urbana e de metabolismo urbano, apresentando suas origens, controvérsias e desdobramentos recentes. Desta revisão, constatou-se que as contribuições teóricas resultantes da adoção do conceito e da abordagem de metabolismo, para avaliação dos custos ambientais, estão relacionadas ao fato de se ancorarem em teorias (como a Teoria dos Sistemas) e em modelos (como os modelos de causa e efeito) consolidados.

No que se refere às contribuições práticas, discutiu-se os principais benefícios e as possibilidades de inserção nas três principais atividades vinculadas ao desenvolvimento urbano: gestão, planejamento e projeto.

Por fim, discutiram-se as possibilidades e desafios para a caracterização do metabolismo de um número maior de municípios brasileiros. Como alternativas metodológicas, aponta-se já terem sido propostos dois caminhos: um simplificado, porém mais expedito; e outro, mais completo, porém mais demandante.

Quanto aos desafios relacionados ao interesse das administrações municipais em considerar custos ambientais em seus nos processos decisórios, constatou-se que, em curto prazo, essa não parece ser uma demanda existente.

A partir das discussões desenvolvidas, apontam-se como desejáveis os seguintes desenvolvimentos futuros nos estudos de metabolismo urbano no contexto brasileiro: a) teste da replicabilidade e aprimoramento dos métodos desenvolvidos ou adaptados ao contexto nacional; b) ampliação do número de casos estudados, buscando identificar padrões e, a partir deles, efetuar generalizações acerca da relação entre variáveis urbanas e fluxos de materiais; c) desenvolvimento de estudos de potenciais aplicações práticas, avaliando o interesse de diferentes agentes sociais e representantes de diversos setores municipais.

Referências

- ACSELRAD, H. Discursos da sustentabilidade urbana. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, maio. 1999. v. 1, p. 79–89.
- ALBERTI, M. Measuring urban sustainability. *Environmental Impact Assessment Review*, 1996. v. 16, n. 4–6, p. 381–424.
- BAI, X. Industrial ecology and the global impacts of cities. *Journal of Industrial Ecology*, Spring. 2007. v. 11, n. 2, p. 1–6.
- BROTO, V. C.; ALLEN, A.; RAPOPORT, E. Interdisciplinary perspectives on urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 2012. v. 16, n. 6, p. 851–861.
- CIDADE, L. C. F. A questão ambiental urbana: perspectivas de análise. *Anais: Encontros Nacionais da ANPUR*, 1 fev. 2012. v. 6, n. 0. Available in: <<http://unuhoopedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/anais/article/view/1606>>.
- CONKE, L. S.; FERREIRA, T. L. Urban metabolism: measuring the city's contribution to sustainable development. *Environmental Pollution*, jul. 2015. v. 202, p. 146–152.
- COSTA, H. Desenvolvimento urbano sustentável: uma contradição de termos? *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, 1999. v. 2, n. 2, p. 55–71.
- DEILMANN, C. Urban metabolism and the surface of the city. *Guiding principles for spatial development in Germany*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, p. 1–16.
- EUROSTAT. *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide*. Luxembourg: Statistical Office of the European Union, 2001.
- FEMIA, A.; FALCITELLI, F. The Anaflumpa project: economy-wide MFA at a local level - the case of the Italian province of Palermo. In: CONACCOUNT 2008. Urban Metabolism: Measuring the Ecological City, 2009, Praga. *Anais...* Praga: Charles University Environment Center, 2009. p. 408–429.
- FEMIA, A.; MOLL, S. *Use of MFA-related family of tools in environmental policy-making: overview of possibilities, limitations and existing examples of application in practice*, working paper. p.31. European Environment Agency, Copenhagen.
- FERNANDEZ, J.; QUINN, D. *Urban metabolism: ecologically sensitive construction for a sustainable New Orleans*. Available in: <http://web.mit.edu/djq/Public/Thesis/Holcim_April_07_David_Quinn.pdf>.
- FISCHER-KOWALSKI, M. Society's metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 1998. v. 2, n. 1, p. 61–78.
- IEA ANNEX 31 - ENERGY RELATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. Environmental framework. [S.l.], 2004. Available in: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/concepts.htm>>.
- KENNEDY, C.; HOORNWEG, D. Mainstreaming urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 2012. v. 16, n. 6, p. 780–782.
- KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 2011. v. 159, n. 8, p. 1965–1973.
- KUHN, E. A. *Metabolismo de um município brasileiro de pequeno porte: o caso de Feliz, RS*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Available in: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96657>>.
- MOTA, S. *Planejamento urbano e preservação ambiental*. Fortaleza: Edições UFC, 1981.

MUNFORD, L. *The city in history: its origins, its transformations, and its prospects*. New York: Harcourt, Brace & World, 1961.

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

ROGERS, R.; GUMUCHDJIAN, P. *Cidades para um pequeno planeta*. 1. ed. São Paulo: Gustavo Gili (BR), 2014.

SILVA, S. *Indicadores de sustentabilidade urbana: as perspectivas e as limitações da operacionalização de um referencial sustentável*. São Carlos: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana).

SOUZA, M. L. De. *Mudar a cidade: uma introdução ao planejamento e à gestão urbanas*. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Evaluation of environmental impacts in life cycle assessment. [S.l.], 2003. Available in: <http://rosinant.antenna.nl/scnet/fmpro?-db=scnetres_.fp3&format=rescatpub.html&-view>.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME - UN-HABITAT. *The Habitat Agenda*. Istanbul: UN-HABITAT, 1996.

VAN DER VOET, E. et al. *Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries*. CML report 166. Leiden, Holanda: European Community, 2005.

WOLMAN, A. The metabolism of cities. *Scientific American*, 1965. v. 213, p. 179–190.