

Coletânea Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade:
construindo diálogos e atuações interdisciplinares

PLANEJAMENTO URBANO E POLÍTICAS AMBIENTAIS

MÉTODOS, INSTRUMENTOS E EXPERIÊNCIAS

Wanda R. Günther
Arlindo Philippi Jr
Organizadores



PLANEJAMENTO URBANO E POLÍTICAS AMBIENTAIS

MÉTODOS, INSTRUMENTOS E EXPERIÊNCIAS

DOI: 10.11606/9786588304013

Wanda Maria Risso Günther
Arlindo Philippi Jr
Organizadores

Universidade de São Paulo
Faculdade de Saúde Pública

São Paulo

2020



“É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte e autoria, proibindo qualquer uso para fins comerciais.”

Universidade de São Paulo

Reitor: Vahan Agopyan

Vice-Reitor: Antonio Carlos Hernandes

Faculdade de Saúde Pública - FSP

Diretor: Oswaldo Yoshimi Tanaka

Vice-Diretora: Carmen S. Grilo Diniz

Conselho Editorial

Paulo Frazão (Presidente)

Angela Maria Belloni Cuenca

Carlos Augusto Monteiro

Denise Pimentel Bergamaschi

Fabiola Zioni

Gizelton Pereira Alencar

José Luis Negrão Mucci

Maria Cristina da Costa Marques

Maria do Carmo Avamilano Alvarez

Maria Tereza Pepe Razzolini

Patricia Constante Jaime

Organizadores

Wanda Maria Risso Günther

Arlindo Philippi Jr

Produção e Realização

Programa de Pós-Graduação

Ambiente, Saúde e Sustentabilidade - FSP/USP

Produção Editorial

Edu Ambiental

Secretaria Editorial

Soraia Fernandes

Foto da Capa

Marcos Akira Watanabe

**Apoio técnico da Biblioteca da
Faculdade de Saúde Pública da USP**

Av. Dr. Arnaldo, 715 - 01246-904

Cerqueira César - São Paulo - SP

<http://www.biblioteca.fsp.usp.br>

markt@fsp.usp.br

Catálogo na Publicação
Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública

Planejamento urbano e políticas ambientais: métodos, instrumentos e experiências [recurso eletrônico] / Wanda Maria Risso Günther e Arlindo Philippi Jr (Organizadores). São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2020.

299 p.: il. color. - (Coletânea Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade: construindo diálogos e atuações interdisciplinares; n. 3)

Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-88304-01-3 (eletrônico)

DOI: 10.11606/9786588304013

1. Planejamento de Cidades. 2. Política Ambiental. 3. Gestão Ambiental. 4. Sustentabilidade. 5. Saúde. 6. Meio Ambiente. 7. Qualidade Ambiental. I. Günther, Wanda Maria Risso. II. Philippi Jr, Arlindo. III. Título. IV. Série.

CDD 363.7

Coletânea Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade:
construindo diálogos e atuações interdisciplinares

Comissão Editorial

Adriana Marques Rossetto (UFSC); Antônio C. Witkoski (UFAM);
Arlindo Philippi Junior (USP); Cíntia Mara Ribas de Oliveira (UP);
Cleverson Andreoli (Andreoli Engenheiros Associados); Ednilson
Viana (USP); Gabriela Marques Di Giulio (USP); Helena Ribeiro (USP);
João Vicente de Assunção (USP); José Luiz Mucci (USP); Jairo L.
Schmitt (FEEVALE); Leandro Luiz Giatti (USP); Liliana Pena Naval
(UFT); Maria Aurora Santos da Mota (UFPA); Maria da Penha
Vasconcellos (USP); Maria do Carmo Martins Sobral (UFPE); Mario
Augusto Goncalves Jardim (MPEG); Paulo Cesar Xavier Pereira (USP);
Sonia Maria Viggiani Coutinho (USP); Soraya Nór (UFSC); Tadeu
Fabrício Malheiros (USP); Valdir Schalch (USP); Wagner Costa Ribeiro
(USP); Wanda Maria Risso Günther (USP); Wanderley Paganini (USP);
Werônica Meira de Souza (UFRPE)

Sumário

| | |
|--------------------|-----|
| Prefácio | VII |
| Apresentação | IX |

Parte I - Planejamento urbano para sustentabilidade

Capítulo 1

| | |
|---|---|
| Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para sustentabilidade na Região Metropolitana de São Paulo..... | 2 |
| Claudia Helena Leite e Marcos Campagnone | |

Capítulo 2

| | |
|--|----|
| Estrutura de avaliação de sustentabilidade urbana no planejamento de rodovias em região metropolitana..... | 25 |
| Denis Gerage Amorim e Arlindo Philippi Jr | |

Capítulo 3

| | |
|--|----|
| Poluição sonora na saúde ambiental e sua questão no planejamento urbano..... | 57 |
| Maykon Ivan Palma e Paulo Cesar Xavier Pereira | |

Parte II - Cidades: experimentações e soluções

Capítulo 4

| | |
|---|----|
| Soluções Baseadas na Natureza para redução da poluição do ar na cidade..... | 86 |
| Giuliano Maselli Locosselli | |

Capítulo 5

| | |
|---|-----|
| Sustentabilidade da mobilidade em centros urbanos: um panorama do uso e influência da bicicleta na cidade de São Paulo..... | 107 |
| Carolina C. C. Abilio e Maria da Penha C. Vasconcellos | |

V - Sumário

Capítulo 6

- Gestão da saúde e segurança do trabalho no setor de transporte ferroviário: muito além dos padrões..... 127
Leandra Antunes e Ildeberto Muniz de Almeida

Capítulo 7

- Visualização do metabolismo urbano em ambiente institucional de ensino, pesquisa e assistência à saúde..... 142
Andre Hideki Higa e Paulo César Xavier Pereira

Capítulo 8

- Desenvolvimento imobiliário em áreas contaminadas..... 163
Ana Paula Dominguez da Costa e Helena Ribeiro

Parte III - Qualidade Ambiental: métodos e instrumentos

Capítulo 9

- Distribuição espacial das concentrações de ozônio com uso de amostradores passivos em Jundiaí-SP..... 191
Edson Pacheco Júnior e Fernanda Alves Cangerana Pereira e João Vicente de Assunção

Capítulo 10

- Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: panorama europeu, japonês e paulista..... 215
Raissa Silva de Carvalho Pereira, Flávio de Miranda Ribeiro e Wanda Maria Risso Günther

Capítulo 11

- Abordagem sistêmica na valorização de resíduos sólidos orgânicos..... 244
Julia Nagle Armendro e Ednilson Viana

Capítulo 12

- Avaliação do esgotamento sanitário na ótica da sustentabilidade..... 262
Rafael Doñate Avila e Tadeu Fabrício Malheiros

Capítulo 13

| | |
|---|------------|
| Avaliação da viabilidade do reúso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo..... Marina W. Alacon Rayis e Wanderley da Silva Paganini | 274 |
| Sobre os organizadores..... | 291 |
| Sobre os autores..... | 292 |

Prefácio

Diante dos desafios contemporâneos, a Coletânea *Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade: construindo diálogos e atuações interdisciplinares* publica um novo livro, intitulado **Planejamento urbano e políticas ambientais: métodos, instrumentos e experiências**, da Faculdade de Saúde Pública da USP, organizado pela Professora Wanda Maria Risso Günther e Professor Arlindo Philippi Jr. O livro trata de temática atual e oportuna neste momento para nosso país e para o mundo, no qual interrelaciona saúde ambiental e desenvolvimento.

Os capítulos que compõem a obra constituem trabalhos apresentados majoritariamente por pesquisadores discentes e egressos do Programa de Pós-Graduação em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Universidade de São Paulo (USP), aliás, um dos dois programas profissionais no Brasil mais bem avaliados pela Área de Ciências Ambientais da CAPES.

Cabe destacar que não há como tratar de desenvolvimento sem considerar saúde e ambiente como transversais à visão necessariamente interdisciplinar exigida para a compreensão da indissociabilidade entre dinâmicas sociais e sistemas ecológicos.

A exemplo de tal relação incondicional, a Pandemia do novo coronavírus que desencadeou a COVID-19. Tal patologia vem afetando sobretudo grandes cidades, com núcleos urbanos que concentram grandes contingentes populacionais, o que implica mobilidade e aglomeração de pessoas, inconvenientes para a situação epidemiológica gerada. Ao mesmo tempo, os municípios menores também apresentam problemas, diante da pouca infraestrutura hospitalar instalada.

Neste contexto, as cidades maiores possuem predominantemente ambientes construídos, o que remete a dizer que os elementos da natureza são cada vez mais escasseados, ficando restritos quando não os tem em parques urbanos. Faz-se urgente promover e adotar uma modalidade de gestão urbana eminentemente ambiental para pensar abordagens de cidade sustentável.

Não é novidade no ambiente científico relacionar descaso ambiental com surgimento de patologias sociais¹, mas o que torna mais recentemente comum são jornais de grande circulação noticiar tal associação, como o britânico The Guardian em sua reportagem de 18 de março de 2020: *Tip of the iceberg¹: is our destruction of nature responsible for Covid-19?: As habitat and biodiversity loss increase globally, the coronavirus outbreak may be just the beginning of mass pandemics²*.

Diante das interfaces apresentadas entre Ambiente, Saúde e Sustentabilidade e a prospecção do que se espera pós-pandemia, destaca-se a oportunidade para pensar um novo projeto civilizatório, tal como sugere o diálogo em torno das experiências de ecossocioeconomias que promovem o Bem Viver. Tema este que venho pesquisando nos últimos 20 anos, e que remete não apenas a uma relação mais simétrica entre homem e natureza, mas também entre homem e homem e, ainda, que esta seja síncrona entre gerações. Em outras palavras, experiências essas que apontam uma transição da compreensão reducionista do mundo, resultante das lógicas de dominação baseada na situação binária entre sujeito e objeto, para o do entendimento sistêmico e complexo da dinâmica socioambiental, sustentada na cooperação entre sujeitos de direitos, inclusive a própria natureza.

Não me alongando mais, pois o protagonismo é dos autores e organizadores, Prof^a Wanda e Prof. Arlindo, convido e recomendo aos leitores a percorrerem os capítulos deste livro para melhor conhecê-lo.

Boa leitura

Prof. Dr. Carlos Alberto Cioce Sampaio
Professor e orientador dos Programas de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Regional/FURB e em Meio Ambiente e
Desenvolvimento/UFPR

¹ Digitando os termos “destroyed nature”.and. “diseases” no Portal de Periódicos da Capes (incorpora 266 bases de dados) e limitando as publicações dos últimos 5 anos, o resultado é de 7.340.

² Tip of the iceberg¹: is our destruction of nature responsible for Covid-19? The Guardian, London, 18/Mar/2020. Environment Session. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2020/mar/18/tip-of-the-iceberg-is-our-destruction-of-nature-responsible-for-covid-19-aoe>. Acesso em: 05 abr. 2020.

Apresentação

Por Wanda Risso Günther e Arlindo Philippi Jr

Este terceiro livro, de título *Planejamento urbano e políticas ambientais: métodos, instrumentos e experiências*, integra a Coletânea **Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade: construindo diálogos e atuações interdisciplinares** do Programa de Pós-graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.

A publicação, *online* e de acesso aberto, cumpre com um dos objetivos do Programa: dar ampla visibilidade à produção técnico-científica resultante das pesquisas realizadas pelo corpo discente e docente, com proposta de ampliar a apropriação do conhecimento técnico e científico e sua aplicação em serviços públicos, no setor produtivo e no terceiro setor. Nesta publicação, como já se tornou tradição, há a contribuição de dois capítulos de pesquisadores externos ao Programa, que discorrem, respectivamente, sobre desenvolvimento e planejamento urbano e sobre soluções baseadas na natureza.

A característica interdisciplinar do Programa, presente em suas linhas de pesquisa estruturantes, reflete a diversidade temática em escalas espaciais (local, regional e nacional), sobre as quais as pesquisas têm sido desenvolvidas para dar conta da complexidade da realidade contemporânea. Planejamento urbano abordado em diferentes enfoques, questões urbanas e seus impactos ambientais e à saúde, qualidade ambiental e instrumentos de gestão, são temáticas abordadas nos capítulos pelos seus autores, dentro de uma perspectiva sistêmica e com base em princípios da sustentabilidade. Organizada em três partes, a publicação é composta por 13 capítulos, que expressam temáticas pertinentes às investigações desenvolvidas no Programa, envolvendo aspectos ambientais, de saúde e sustentabilidade.

Na primeira parte, *Planejamento Urbano para a sustentabilidade*, os capítulos abordam questões do planejamento urbano, com discussão e reflexões sobre governança metropolitana e apresentação de instrumentos de planejamento que contemplam o contexto territorial, oferecendo

proposições de aplicação estratégica. No primeiro capítulo, os autores externos ao Programa Cláudia Leite e Marcos Campagnone abordam a governança metropolitana no Brasil, sob o título de *Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para sustentabilidade na Região Metropolitana de São Paulo*, com foco no Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) e destaque no processo de elaboração coletiva e diretrizes para ação governamental, com vistas ao desenvolvimento regional sustentável. No segundo, intitulado *Estrutura de avaliação para sustentabilidade urbana no planejamento de rodovias em região metropolitana*, os autores Denis Amorim e Arlindo Philippi Jr apresentam uma estrutura conceitual de avaliação de sustentabilidade que busca promover abordagens sistemáticas e integradas para tomada de decisão no planejamento de infraestrutura rodoviária, com base em mecanismos de avaliação dos efeitos do transporte em regiões metropolitanas brasileiras. No terceiro capítulo, *Poluição sonora na saúde ambiental e sua questão no planejamento urbano*, Maykon Palma e Paulo Cesar Pereira abordam os mapas de ruído como instrumento de planejamento e gestão urbana, conformados com base em dados de tráfego e níveis de ruído de veículos automotores no ambiente urbano, com a finalidade de prevenir ou minimizar a poluição sonora ambiente.

Na segunda parte, *Cidades: experimentações e soluções*, os autores se debruçam sobre temáticas da vida urbana com aplicação de métodos às dinâmicas cotidianas na busca de soluções sustentáveis. Assim, no capítulo quatro, Giuliano Locosselli discute soluções baseadas na natureza para minimizar impactos da poluição do ar em ambiente urbano. Conceituando o termo como ações inspiradas na natureza para iniciativas inovadoras de soluções às demandas ambientais, sociais e econômicas contemporâneas, enfoca a vegetação como notável ferramenta de trabalho. No capítulo cinco, *Sustentabilidade da mobilidade em centros urbanos: um panorama do uso e influência da bicicleta na cidade de São Paulo*, Carolina Abilio e Maria da Penha Vasconcellos discorrem sobre a influência e o lugar da bicicleta nas políticas públicas e planos de mobilidade da cidade de São Paulo ao longo dos anos, assim como sobre os padrões de uso associados a este modo de mobilidade urbana recém-incorporado no cotidiano da cidade. No capítulo seguinte, *Gestão da saúde e segurança do trabalho no setor de transporte ferroviário: muito além dos padrões*, Leandra Antunes e Ildeberto Almeida trazem uma questão invisível do transporte ferroviário: o atropelamento por trens que ocorre

XI - Apresentação

entre os trabalhadores do setor de transporte urbano, como fator de saúde e segurança do trabalho. Os autores discutem os modelos de análise de acidentes tradicionais e reducionistas propondo nova visão que integre as redes de fatores que contribuem para a ocorrência do acidente. No capítulo sete de título *Desenvolvimento imobiliário em áreas contaminadas*, Ana Paula Costa e Helena Ribeiro analisam a importância da reutilização de áreas contaminadas no contexto do desenvolvimento urbano sustentável, identificando exemplos internacionais de incentivos, reconhecimentos e premiações que podem servir de modelo e subsidiar programas de reabilitação urbana. Completando a segunda parte, o capítulo de André Higa e Paulo César Pereira, *Visualizando metabolismo urbano na universidade* aborda o metabolismo urbano, com estudo de caso no Campus São Paulo da Unifesp, empregando o método de análise de fluxo de material aplicado ao gerenciamento de resíduos sólidos como instrumento de planejamento. A visualização dos fluxos de resíduos resultantes das diversas atividades desenvolvidas no campus, disperso e complexo, permitiu analisar a geração, o destino, os desvios e possibilidades de valorização de materiais, mostrando-se como método de análise de processos de metabolismo urbano aplicável em menor escala, a nível institucional.

Com o título *Qualidade Ambiental: métodos e instrumentos*, são desenvolvidas questões e propostas relacionadas a diferentes ângulos, contemplando os componentes ar, água e resíduos do saneamento ambiental. As abordagens realizadas demonstram contribuições ao aperfeiçoamento e melhoria de métodos, instrumentos e serviços voltados ao saneamento ambiental de qualidade, fundamental para o desenvolvimento em bases sustentáveis das populações e da sociedade como um todo.

No capítulo nove, *Distribuição espacial das concentrações de ozônio com uso de amostradores passivos em Jundiaí-SP*, os autores Edson Pacheco Júnior, Fernanda Cangerana Pereira e João Vicente de Assunção apresentam estudo de caso de exposição da população ao ozônio troposférico na cidade de Jundiaí, por meio de amostragem passiva com utilização de monitor de baixo custo desenvolvido no mestrado, cujos resultados foram comparados aos obtidos em estações de medição automática instaladas em locais estratégicos. No capítulo seguinte, *Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: panorama europeu, japonês*

e paulista, os autores Raissa Pereira, Flavio Ribeiro e Wanda Günther desenvolvem um paralelo entre três países sobre a gestão de resíduos eletroeletrônicos e sistemas de logística reversa, modelos de responsabilização e regulação do setor, considerando diferentes cenários de gestão com práticas de reciclagem formal e informal. O capítulo onze, *Abordagem sistêmica na valorização de resíduos sólidos orgânicos* no ramo industrial alimentício, de Julia Armendro e Ednilson Viana, discorre sobre técnicas de valorização de resíduos sólidos orgânicos com foco no aproveitamento de resíduos de empresas do ramo alimentício industrial, com a finalidade de reduzir o volume de resíduos de aterros e promover práticas empresariais sustentáveis. O capítulo doze, *Avaliação do esgotamento sanitário na ótica da sustentabilidade*, escrito por Rafael Doñate Avila e Tadeu Fabrício Malheiros, aborda atividade integrante do saneamento básico, o esgotamento sanitário, que guarda estreita relação com o desenvolvimento sustentável, porém apresenta-se ainda precário no país. Os autores tecem análise sob a ótica dos princípios da sustentabilidade, apresentando proposta de indicadores para planejamento do setor, de modo a potencializar os impactos positivos da expansão deste serviço, que possa vencer os desafios da universalização e atender às demandas de áreas de maior vulnerabilidade. Fechando a terceira parte, o capítulo *Avaliação da viabilidade do reúso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo*, de autoria de Marina Rayis e Wanderley Paganini, desenvolve possibilidades de resposta à crise hídrica observada na Região Metropolitana de São Paulo nos anos de 2014 e 2015. A partir da avaliação da viabilidade do reúso da água produzida nas Estações de Tratamento de Esgotos da RMSP para fins de recarga de aquíferos, o reúso de esgoto tratado mostra-se interessante, ao contribuir com o aumento dos índices de disponibilidade hídrica e poder suportar variações sazonais de oferta e demanda, refletindo necessidades locais para o enfrentamento de eventos climáticos extremos.

Com este terceiro livro, a Coletânea **Interfaces Ambiente, Saúde e Sustentabilidade: construindo diálogos e atuações interdisciplinares** cumpre com os desígnios do Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, de trazer resultados consistentes e aplicáveis dos estudos e pesquisas realizados por profissionais, pesquisadores e professores comprometidos com a busca por soluções que possam efetivamente melhorar as condições de vida e bem-estar das cidades e da sociedade brasileira.

XIII - Apresentação

Os editores saúdam o espírito de cidadania dos autores desta obra, que oferecem uma contribuição intelectual cidadã, disponibilizando os conhecimentos desenvolvidos pelos seus esforços acadêmicos, científicos e profissionais, na perspectiva de ter os princípios da sustentabilidade aplicados às políticas públicas, seus planos, programas, projetos e ações, e assim, ver dias melhores para todos os habitantes do país.

Boa leitura! Bom proveito!

Parte I

Planejamento urbano para sustentabilidade

1 Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para sustentabilidade na Região Metropolitana de São Paulo

Claudia Helena Leite
Marcos Campagnone

INTRODUÇÃO

Estudos desenvolvidos no âmbito de organismos que atuam na esfera global apresentam um panorama da governança no “mundo metropolitano”, destacando os impactos do crescimento urbano acelerado de forma concentrada no território, que configuram “áreas metropolitanas”, principais geradoras da riqueza nacional, porém, que revelam imensos desafios à sustentabilidade. Na contemporaneidade, a sustentabilidade tornou-se referência central das políticas urbanas, havendo necessidade de tratar a geração de riqueza, a inclusão social, a proteção ambiental, incluindo ainda o dinamismo cultural e o “direito à cidade” como objetivos que sejam articulados democraticamente, no desenvolvimento de políticas públicas, conforme proposto no Relatório Gold IV que subsidiou os debates sobre as áreas metropolitanas no Habitat III (UN DESA, 2014; OECD, 2015; UCLG, 2016).

A ênfase na governança metropolitana, entendida como mecanismo que pode enfrentar esse desafio, vem tornando-se cada vez mais um consenso entre renomadas instituições globais, gestores públicos, acadêmicos e especialistas. Neste capítulo, será abordada a governança

metropolitana no Brasil, tendo como foco o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com destaque para seu processo de elaboração coletiva e as diretrizes para a ação governamental que promovam o desenvolvimento sustentável na região.

O PDUI-RMSP foi construído coletivamente durante três anos, sob a coordenação da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA), tendo sido aprovado em todas as instâncias com vistas ao seu encaminhamento à Assembleia Legislativa de São Paulo (ALESP) para ser aperfeiçoado pelo parlamento estadual até sua aprovação. Após aprovação tornar-se-á lei que definirá diretrizes para políticas públicas na região, definidas como Funções Públicas de Interesse Comum (FPICS), além de referencial para a revisão dos trinta e nove planos diretores dos municípios que integram a RMSP, num prazo de até três anos após sua vigência.

OS DESAFIOS DA GOVERNANÇA METROPOLITANA NA ESCALA GLOBAL

Estudos de organismos internacionais relevantes prevêem que a população urbanizada no planeta atingirá 85% em 2100 (UNPD, 2015). Em 150 anos, a população urbana terá aumentado de menos de 1 bilhão, em 1950, para 9 bilhões, em 2100. Esse rápido crescimento será especialmente observado nos países do subsaara, da Ásia e da América Latina (OECD, 2015).

Este período (1950 a 2100) está sendo caracterizado também pelo aumento das megacidades. Em 1950, Nova York e Tóquio eram as únicas aglomerações urbanas com população superior a 10 milhões. Em 2015, já existiam 29 megacidades e a previsão para 2030 é que o número de megacidades deverá aumentar para 41, com sete das dez maiores megacidades do mundo na Ásia. Essas megacidades estão adquirindo maior força econômica que a maioria dos países (OECD, 2015; UCLG, 2016).

O ritmo do crescimento urbano tem gerado um sistema global mais integrado de cidades, megacidades, megalópoles, regiões urbanas, com cidades que abrangem muitos territórios municipais,

potencializando a escala metropolitana (UCLG, 2016). Em geral, nos países em desenvolvimento, as áreas metropolitanas são circundadas por anéis de precariedades, periféricos à economia urbana, devido à falta de infraestrutura e de serviços básicos. Mesmo em países mais desenvolvidos, as áreas metropolitanas passam por processos de espraiamento urbano, com aumento da desigualdade, fragmentação social, desafios econômicos e degradação ambiental (UN-HABITAT; UCLG; LSE CITIES, 2015).

Mecanismos eficazes de governança metropolitana podem articular um bom sistema integrado de transporte público entre as áreas mais prósperas, os bairros periféricos e as “cidades dormitórios”, além de diminuir as disparidades na provisão de serviços públicos, garantindo distribuição mais equitativa, e fazer com que o uso da terra e outras políticas urbanas não aumentem ainda mais a estratificação social dos bairros.

No mundo contemporâneo, não faz sentido promover o desenvolvimento dentro de fronteiras; é preciso construir a “coesão territorial” como requisito para o desenvolvimento sustentável. Embora esse conceito esteja em construção, considera-se que compreende três dimensões: i) justiça social, no sentido de reduzir a desigualdade intrarregional (na RMS, pode-se citar Barueri e Carapicuíba ou Francisco Morato – com diferença de renda *per capita* maior que 20 vezes); ii) integração das políticas públicas com impactos territoriais (intersectorialidade e a integração interfederativa); e iii) integração territorial, no sentido de superar as fronteiras político-administrativas dos municípios e tornar as áreas mais funcionais. Nesse contexto, é necessário superar a fragmentação das jurisdições administrativas nas áreas metropolitanas, o que inibe a integração intersectorial e intergovernamental das políticas públicas, além de dificultar o planejamento (CAMPAGNONE, 2011).

As áreas metropolitanas são territórios estratégicos no jogo da competição internacional. As políticas de competitividade devem converter as áreas metropolitanas em melhores lugares para se viver e com maiores oportunidades econômicas e sociais para seus cidadãos. As áreas metropolitanas concentram cerca de 41% da população urbana do planeta e geram em torno de 60% do PIB Global (UCLG, 2016).

5 - Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado para sustentabilidade na RMSP

Com estruturas de governança fragmentadas, as áreas metropolitanas tendem a ter níveis mais baixos de produtividade: para determinado tamanho da população, uma área metropolitana com o dobro do número de municípios está associada a uma produtividade cerca de 6% menor. Esse efeito pode ser mitigado em quase metade pela existência de um órgão de governança no nível metropolitano (OECD, 2015).

A fraca governança metropolitana prejudica o potencial das áreas metropolitanas para funcionar como propulsoras do desenvolvimento nacional. A experiência tem demonstrado que não existe uma solução única para a governança metropolitana e que todos os modelos existentes precisam ser aperfeiçoados. Manter estruturas metropolitanas desatualizadas e fragmentadas pode atrasar as mudanças de poder do nível nacional para as grandes cidades dentro de um determinado país, o que enfraquece não apenas a força econômica e política dessas áreas, mas também do estado subnacional e do país em geral (CAMPAGNONE, 2017).

Constata-se também, crescente demanda pela democratização da governança metropolitana e por um papel mais representativo para os cidadãos e as partes interessadas locais. A abordagem do planejamento estratégico democrático possibilita a construção de uma visão integrada para toda a área metropolitana, contemplando as diferentes dimensões do desenvolvimento urbano sustentável. As novas tecnologias facilitam o acesso aos dados e criam oportunidades para novas formas de participação. A disponibilização de informação é fundamental para a transparência e abertura dos novos sistemas e métodos que as áreas metropolitanas podem estabelecer dentro de seus próprios arranjos institucionais.

A Agenda 2030 para o desenvolvimento identificou 17 objetivos e 169 metas relacionados aos desafios enfrentados pelas cidades. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, especificamente, procura tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Assim, os países em desenvolvimento e emergentes têm atualmente uma oportunidade sem precedentes de moldar seus futuros urbanos para o funcionamento, habitabilidade e sustentabilidade ambiental de suas cidades nas próximas décadas (UN, 2015; UNISDR, 2015).

A GOVERNANÇA METROPOLITANA NO BRASIL

No Brasil, mais da metade da população vive em territórios instituídos como Regiões Metropolitanas ou Aglomerações Urbanas. A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 25, parágrafo terceiro, atribuiu aos Estados a competência para instituir as Unidades Regionais como Regiões Metropolitanas, Aglomerações Urbanas e Microrregiões. Porém, sua regulamentação ocorreu somente em 2015 com a sanção da Lei 13.089 – denominada “Estatuto da MetrÓpole”, que fixou diretrizes gerais para o planejamento, a gestão e execução das políticas públicas em regiões metropolitanas e aglomerações urbanas instituídas pelos estados.

Em março de 2013, o Supremo Tribunal Federal (STF) publicou um acórdão da Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) 1.842/RJ, acerca da titularidade do saneamento, consagrando o sistema de gestão metropolitana [interpretação do art. 25, § 3º da CF 88], citando, como exemplo, o sistema estabelecido pela Constituição paulista para os demais estados. Nessa ADI, o STF: i) ratificou a instituição de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões como competência exclusiva dos Estados; ii) estabeleceu caráter compulsório no recorte regional, ou seja, os municípios não podem decidir sobre sua inserção na unidade regional, embora tenha preservado a autonomia municipal; e iii) definiu que o interesse comum deve prevalecer sobre o interesse local, estabelecendo um Sistema de Governança de caráter integrador e compartilhado e manteve a titularidade das FPICs como atribuição de um Colegiado composto por representantes de municípios e do governo estadual (PEDRETTI; CARVALHO, 2015).

O Estatuto da MetrÓpole estabeleceu que as regiões metropolitanas e aglomerações urbanas devem contar com um Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI), elaborado democraticamente no âmbito da estrutura de governança interfederativa e aprovado por lei estadual.

O processo de elaboração dos PDUIs deve ser transparente, democrático e acompanhado pelo Ministério Público. O plano consiste em um instrumento que estabelece, com base em processo permanente de planejamento, as diretrizes para o desenvolvimento regional. O PDUI deve incluir, dentre outros conteúdos: i) as diretrizes para as funções públicas de interesse comum, como o saneamento, a moradia, a

mobilidade urbana; ii) o macrozoneamento; iii) as diretrizes quanto à articulação dos municípios no parcelamento, uso e ocupação do solo urbano; iv) as diretrizes quanto à articulação intersetorial das políticas públicas relacionadas à unidade territorial urbana; v) a delimitação das áreas com restrições à urbanização, visando à proteção do patrimônio ambiental ou cultural, assim como das áreas sujeitas a controle especial pelo risco de desastres naturais; e vi) um sistema de acompanhamento e controle das disposições do Plano [Art. 12, parágrafo primeiro da Lei 13089 de 2015, revisado pela Lei 13683 de 2018].

A GOVERNANÇA METROPOLITANA NO ESTADO DE SÃO PAULO

Acompanhando o que vem ocorrendo, há décadas, em países da Europa e Estados Unidos, o estado de São Paulo, conforme previsto em sua Carta Constitucional de 1989, implantou de modo pioneiro a partir de 1995, a governança metropolitana em seu território, e que tem servido de exemplo e modelo em âmbito nacional. Esse sistema de integração metropolitana (estado e municípios) abrange 227 municípios que representam 2/3 da população e do PIB do estado. Foram institucionalizadas seis Regiões Metropolitanas: da Baixada Santista, Campinas, São Paulo, Vale do Paraíba e Litoral Norte, Sorocaba e Ribeirão Preto, além de três Aglomerações Urbanas: Jundiaí, Piracicaba e Franca.

Na Constituição Estadual de 1989, constou um capítulo próprio sobre a organização regional, seus objetivos, suas unidades e suas estruturas institucionais básicas, além de orientações quanto ao processo de gestão e planejamento no âmbito regional (artigos 152 a 158). A regulamentação foi dada pela Lei Complementar 760, em 1994, no âmbito do estabelecimento de diretrizes para a organização regional do estado de São Paulo, tendo definido que o território poderá ser dividido em regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões.

O sistema de governança metropolitana no estado de São Paulo estrutura-se em quatro arranjos institucionais: i) um Conselho de Desenvolvimento - de caráter normativo e deliberativo, que integra a entidade pública de caráter regional - autarquia especial, denominada

como Agência - nos casos de regiões metropolitanas; ii) um Conselho Consultivo - para elaborar propostas representativas da sociedade civil e dos vereadores dos municípios que integram a unidade regional; iii) Câmaras Temáticas, para as FPICs; e iv) os Fundos de Desenvolvimento Metropolitano, para dar suporte financeiro ao planejamento integrado e às ações conjuntas dele decorrentes, no que se refere às FPICs entre o estado e os municípios metropolitanos.

Estudos realizados, em 2012, pela secretaria de Desenvolvimento Metropolitano constataram que há uma correlação direta entre região institucionalizada e região planejada, mas há que se considerar o estágio de resolutividade de cada Unidade Regional. O processo de governança compreende um ciclo que se desenvolve com o tempo, de forma gradativa e segundo as peculiaridades e condicionantes políticas da região (CAMPAGNONE, 2019).

A REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Pelo seu dinamismo econômico e demográfico, a macrometrópole paulista destaca-se como região estratégica para o desenvolvimento nacional. Integrada por cinco das seis regiões metropolitanas paulistas (São Paulo, Campinas, Baixada Santista, Vale do Paraíba e Litoral Norte e Sorocaba) e duas das três aglomerações urbanas (Jundiaí e Piracicaba), compõe um território funcionalmente integrado em que se dá elevada influência do polo principal, o município de São Paulo e sua área de influência mais direta que conforma a RMSP.

A RMSP, principal aglomerado urbano da América do Sul, ocupa posição entre os maiores do mundo (UN, 2015) e, como tal, exerce funções econômicas e urbanas altamente complexas e diversificadas. Na RMSP, composta por 39 municípios (Figura 1), vivem aproximadamente 21,6 milhões de pessoas – quase metade (47,5%) da população paulista e 10% da brasileira (EMPLASA, 2019) e representa o centro de comando do capital nacional, abrigando segmentos relacionados à economia globalizada, sendo que seu desempenho impacta diretamente a economia do país.

Apesar de ser território de importância estratégica para a competitividade do estado de São Paulo e do Brasil, a RMSP também

apresenta deficiências de infraestrutura e serviços, além de passivos ambientais a serem equacionados. Assim, o desafio de administrar a região requer esforço de cooperação interfederativa entre os diferentes agentes públicos, o setor produtivo e a sociedade civil.

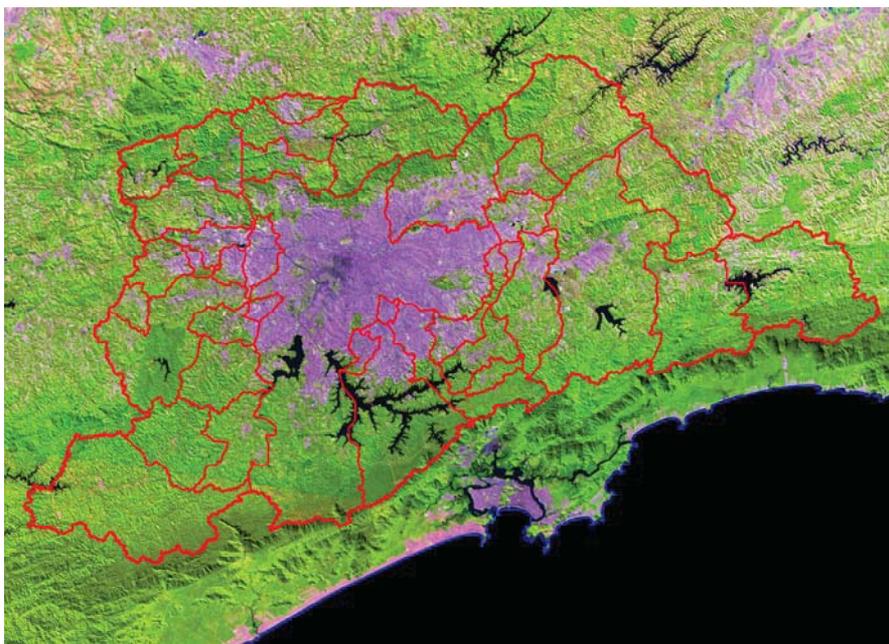


Figura 1 - Mapa da ocupação urbana e as fronteiras dos 39 municípios da RMSP

Fonte: EMPLASA (2011)

Na Figura 1 pode-se identificar a ocupação urbana (cerca de 21,6 milhões de pessoas) e seu entorno, considerado Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo pela UNESCO; estas duas formas de ocupação têm uma relação funcional de complementaridade. A Mata Atlântica no entorno das cidades gera “serviços ambientais” (água, clima, carbono etc.) à ocupação urbana. Ao se comparar uma série histórica destas imagens (material elaborado pela EMPLASA e disponibilizado no Arquivo do Estado) verifica-se que há uma expansão da ocupação urbana em direção às áreas de proteção dos mananciais,

assim como no eixo noroeste em áreas íngremes inadequadas ao assentamento humano e na área de produção hortifrutigranjeira ao leste. Ao norte, a ocupação pressiona a região de mananciais da Cantareira.

Os problemas comuns que requerem soluções compartilhadas basicamente decorrem dos fluxos que “ignoram” as fronteiras político administrativas dos 39 municípios que integram a região, como os fluxos de pessoas, de mercadorias, da água tratada, do esgoto sanitário, das inundações, do crime, do *Aedes aegypti*, do *coronavírus* etc.

O PLANO DE DESENVOLVIMENTO URBANO INTEGRADO DA RMSP¹

O processo de construção coletiva do PDUI

Como o primeiro plano de desenvolvimento regional construído de acordo com o Estatuto da Metrópole, o PDUI trouxe o desafio da articulação da ação pública nesse território, nas esferas federal, estadual e municipal, com o envolvimento também de representantes do setor privado e da sociedade civil. O caráter metropolitano do desenvolvimento da RMSP exige que suas potencialidades e oportunidades, assim como seus desafios e limitações, sejam compreendidos e, sobretudo, enfrentados de maneira integrada.

Pode-se afirmar que o PDUI representa um marco da retomada do planejamento metropolitano e regional, ao criar uma nova forma de planejar, com decisões compartilhadas entre estado, municípios e sociedade civil no campo das FPICs, tornando-se um instrumento de planejamento e gestão do território metropolitano. O PDUI define as diretrizes que vão nortear o desenvolvimento regional sustentável, garantindo a competitividade econômica da metrópole, reduzindo suas profundas desigualdades socioespaciais e contribuindo para a melhoria da qualidade de vida da população.

A complexidade e multiplicidade dos desafios e oportunidades que se apresentam na RMSP requereu não apenas o reconhecimento e

¹ Sintetiza os conteúdos do Caderno de Propostas (EMPLASA, 2019a), do Guia Metodológico (EMPLASA, 2019b) e do Relatório de Método e Processo Participativo (EMPLASA, 2019c) do PDUI-RMSP.

levantamento de dados sobre os problemas enfrentados, mas também o estabelecimento das prioridades dentre eles. O que tornou ainda mais complexa a escolha destas prioridades foi a necessidade de construção de consensos entre grupos heterogêneos de atores inseridos nas diferentes realidades que compõe a região.

As instâncias estabelecidas para a elaboração do PDUI contaram com o Conselho de Desenvolvimento da RMSP, institucionalizado em 2011 e, posteriormente, com a criação do Comitê Executivo, da Comissão Técnica e dos Grupos de Trabalho por temas específicos. A EMPLASA, que já era o braço técnico e ocupava a secretaria-executiva do Conselho, assumiu a coordenação do PDUI, com funções de organização e apoio técnico.

O primeiro documento produzido para o PDUI foi o Guia Metodológico (EMPLASA, 2019b), de caráter orientativo, no qual foram estabelecidas as diretrizes de concepção, a metodologia a ser seguida e os materiais para estruturar o plano. A seguir, considerando as duas principais condições do PDUI – a complexidade de seu objeto e a sua construção interfederativa e participativa – o trabalho técnico teve início com o levantamento das principais demandas e propostas da sociedade civil, das prefeituras dos municípios da região e de órgãos setoriais do Estado. O conjunto destas propostas, depois de avaliadas e discutidas em Grupos de Trabalho, com o apoio dos documentos, informações e diagnósticos produzidos pela EMPLASA, constituíram a base para a elaboração das propostas do PDUI.

Foi a partir da construção do consenso político sobre os desafios da região metropolitana, identificando seus principais problemas e alternativas de soluções articuladas entre diferentes atores, que foram definidas as principais estratégias de ação e propostas, materializadas no Caderno de Propostas (EMPLASA, 2019a). O Comitê Executivo e a Comissão Técnica, sob a coordenação da EMPLASA e com a relevante contribuição dos Grupos de Trabalho, elaboraram o Caderno de Propostas, que engloba princípios, objetivos, diretrizes, ordenamento territorial, instrumentos de gestão, implementação e acompanhamento do PDUI e as propostas estruturadas.

O Caderno de Propostas é resultado da sistematização e incorporação das contribuições recebidas da sociedade civil, de gestores públicos, entidades de classe e universidades ao Caderno Preliminar de

Propostas, objeto de discussão nas 41 audiências públicas realizadas em todos os 39 municípios da região nos meses de setembro a novembro de 2017, sendo que no município de São Paulo foram realizadas três audiências públicas. Nesse sentido, é o resultado da sistematização de todas as contribuições – quase duas mil – recebidas ao longo da elaboração do PDUI-RMSP.

Assegurados todos os requisitos e princípios estabelecidos pelo Estatuto da Metrópole, em abril de 2019 o PDUI-RMSP, após ter sido aprovado em todas as instâncias deliberativas do processo, teve a ratificação de sua aprovação pelo Conselho de Desenvolvimento da RMSP, que o encaminhou à Assessoria Técnica Legislativa do Governo de São Paulo, etapa que antecede o encaminhamento à ALESP.

Ordenamento Territorial: coesão territorial e urbanização inclusiva

A partir das exigências previstas no Estatuto da Metrópole, o PDUI-RMSP definiu três diferentes níveis de orientação para o ordenamento do território da região: i) o Macrozoneamento, que estabelece diretrizes gerais, oferecendo as bases para a articulação dos municípios na elaboração do parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e rural; ii) as Estratégias para Ação Metropolitana, que buscam a articulação setorial das políticas públicas que afetam o território da região; e iii) a previsão de Áreas de Intervenção Metropolitana, porções do território sujeitas a controles especiais. Estabeleceu, também, as bases conceituais e territoriais para a elaboração de um sistema de acompanhamento e controle das disposições do Plano.

Os objetivos principais do Ordenamento Territorial proposto pelo PDUI-RMSP são: i) Sistematizar e consolidar a legislação que apresenta rebatimento no território da RMSP, de modo a orientar a ação integrada dos entes federados; ii) Intensificar o adensamento urbano nas áreas bem providas de infraestrutura e conter a expansão urbana periférica, com vistas à redução da pressão sobre áreas ambientalmente frágeis e sobre as áreas rurais, para proteção dos ativos ambientais disponíveis, assim como a produção agropecuária, com estímulo às atividades produtivas sustentáveis nas áreas de fronteira rural/urbana; iii) Orientar a elaboração e a revisão dos Planos Diretores dos municípios da RMSP, de modo a compatibilizar as diretrizes municipais

de uso e ocupação do solo com as políticas de ordenamento territorial pactuadas na elaboração do PDUI-RMSP.

Os diferentes níveis de orientação para o ordenamento territorial estabelecidos no PDUI buscam organizar toda a legislação incidente no território da RMSP, estabelecendo funções, estratégias e ações diferenciadas para cada porção do território, de modo a atingir os objetivos do Plano. Cada um desses níveis pressupõe maior aproximação de detalhes no território e maior integração intergovernamental, o que, por sua vez, requer maior sofisticação dos instrumentos de governança a serem utilizados para o desenvolvimento de ações integradas no território. Esses três níveis de orientação para o ordenamento territorial são especificados a seguir:

Macrozoneamento: diretrizes de uso e ocupação do solo

O Macrozoneamento é o primeiro nível do Ordenamento Territorial. Tem por objetivo estabelecer as diretrizes gerais para o alinhamento das políticas dos entes federados no território da RMSP e deve orientar a elaboração e a revisão dos Planos Diretores dos municípios da RMSP.

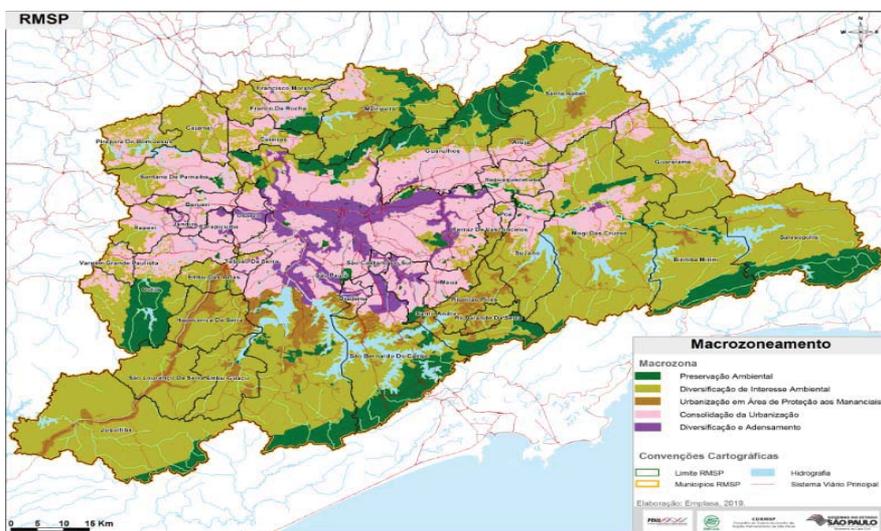


Figura 2 - Mapa do Macrozoneamento da RMSP
Fonte: EMPLASA (2019a)

As Macrozonas são grandes porções do território associadas à função metropolitana que devem desempenhar com vistas a garantir o pleno funcionamento das FPICs na região.

O Macrozoneamento da RMSP estabeleceu cinco Macrozonas: i) Preservação Ambiental; ii) Diversificação de Interesse Ambiental; iii) Urbanização em Área de Proteção aos Mananciais; iv) Consolidação da Urbanização; e v) Diversificação e Adensamento, conforme apresentado na Figura 2.

O Macrozoneamento orienta a urbanização por meio do fortalecimento de políticas de intensificação do adensamento urbano e de controle da expansão urbana periférica. O objetivo é reduzir a pressão sobre áreas de interesse ambiental e rural, de forma a proteger os recursos ambientais disponíveis, sobretudo as áreas de mananciais para abastecimento público, além de desenvolver uma produção agropecuária sustentável nas áreas de fronteira rural/urbana, visando à configuração de uma metrópole mais compacta e integrada social e territorialmente.

Estratégias para a Ação Metropolitana: articulação interfederativa e intersetorial

As Estratégias para a Ação Metropolitana, segundo nível do Ordenamento Territorial, orientam a atuação intersetorial nas FPICs. Deverão orientar a ação metropolitana integrada, no que se refere às FPICs, organizando e articulando as políticas públicas que afetam o território da RMSP. Assim, as Estratégias para a Ação Metropolitana devem ser desenvolvidas de forma permanente, no âmbito da estrutura formal do Conselho de Desenvolvimento, por meio de Câmaras Temáticas com representação das sub-regiões e municípios, além das secretarias e instituições estaduais responsáveis, contando, sempre que necessário, com a participação de especialistas. Dessa forma, o Conselho pode deliberar sobre a necessidade de outras Estratégias de Ação ao longo do processo permanente de gestão do PDUI.

São cinco as Estratégias para a Ação Metropolitana:

i) Sistema de Áreas Verdes e Áreas protegidas (SAVAP)

A estruturação do SAVAP dialoga com os objetivos centrais do Plano e seu conjunto de diretrizes, programas e ações, que visam à

preservação, conservação, recuperação ambiental e promovem a biodiversidade, a sustentabilidade dos serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano na metrópole.

Esta estratégia propõe a configuração de um sistema metropolitano de áreas verdes e áreas protegidas, conectando as áreas verdes existentes na metrópole ou ampliando as áreas de interesse ambiental, com o objetivo prioritário de promover o desenvolvimento sustentável, preservar, conservar e proteger os recursos ambientais da RMSP, em especial, os mananciais de abastecimento público de água, assim como garantir a qualidade do ar e o controle da temperatura.

O SAVAP é pautado pela transversalidade que caracteriza as questões ambientais, integrado às demais FPICs previstas para a RMSP, associado aos demais temas que compõem as Estratégias para as Ações Metropolitanas e implementado mediante a consulta aos órgãos municipais, estaduais e federais que possuem relação com o tema. O caráter participativo e integrador dos diferentes segmentos da sociedade também deve nortear a atuação do SAVAP, contribuindo para o desenvolvimento e fortalecimento da cidadania metropolitana e da natureza interfederativa do Sistema. A partir desse ponto, visando à preservação, conservação e recuperação das áreas componentes do Sistema, devem ser desenvolvidos instrumentos de planejamento, gestão e incentivo, voltados principalmente para a sustentabilidade dos recursos naturais, incluindo aspectos econômicos e sociais associados às questões ambientais.

Os principais instrumentos ambientais metropolitanos previstos por esta estratégia são o Plano Metropolitano de Mata Atlântica e o Plano Metropolitano de Conservação e Recuperação de Áreas Prestadoras de Serviços Ambientais, articulado ao Programa Metropolitano de Pagamento por Serviços Ambientais.

ii) Rede de Centralidades

As centralidades são áreas dentro de um determinado território onde se concentram as atividades econômicas e sociais de uma cidade ou região. São espaços com grande concentração de emprego, heterogeneidade de usos (comércio, indústria, residencial e serviços), alta complexidade funcional e fácil acesso pelos meios de transporte. São parcelas da mancha urbana onde há presença de muitos

equipamentos, redes de infraestrutura e espaços públicos qualificados em que é possível ter fluidez, comércio, lazer, diversidade de manifestações socioculturais ou políticas. É nas centralidades ou centros urbanos que acontece a intensificação da “vida urbana”. Essas áreas, e consequentemente as atividades ali realizadas, são fundamentais para o fortalecimento da identidade municipal ou metropolitana.

A rede de centralidades corresponde à integração das centralidades e polos - que são monofuncionais com predomínio e concentração de um determinado uso ou serviço específico - por meio de sistemas estruturais (redes viárias, de transporte coletivo, de comunicação e demais infraestruturas) e ambientais, potencializando o desenvolvimento urbano e, consequentemente, o desenvolvimento econômico e social.

O PDUI tem como um de seus objetivos reduzir o atual desequilíbrio na distribuição de atividades e serviços públicos no tecido urbano da RMSP, promovendo a diminuição das disparidades socioespaciais existentes no território. Para tanto, o plano atua na promoção de duas ações que são complementares: i) a formação ou consolidação de novas centralidades com influência regional para minimizar a dependência que grandes parcelas do território da metrópole têm com o centro expandido de São Paulo; e ii) a construção ou ampliação das linhas de transporte que facilitem o acesso de todo território da metrópole às áreas de centralidades – sejam elas existentes ou as que devem ser promovidas. O que se deseja é a configuração de uma estrutura urbana efetivamente policêntrica, ou seja, uma rede de centralidades.

iii) Sistema de Mobilidade, Transporte e Logística

A infraestrutura de transporte e logística, que promove a mobilidade de pessoas e mercadorias, viabiliza o desenvolvimento social e econômico das atividades localizadas em seu território e, portanto, foi considerada estratégica no processo de elaboração do PDUI-RMSP.

No processo de homogeneização de um espaço contínuo, como é o espaço metropolitano, formado por usos do solo associados a funções como habitação, comércio, serviços e indústria, as infraestruturas necessitam ser adequadamente distribuídas, para

possibilitar as interconexões necessárias à sustentação do mercado unificado em que as atividades participam. O objetivo final desta estratégia, portanto, é reduzir o tempo de deslocamento, alcançando a adequada mobilidade sustentável de pessoas e mercadorias em todo o território metropolitano, assim como a oferta de acessibilidade compatível com a ordenação da localização das atividades no território.

iv) Enfrentamento da Precariedade Urbana e Habitacional

Como objetivos desta estratégia constam a promoção habitacional, considerando a definição de critérios de reconhecimento, qualificação e enfrentamento das necessidades habitacionais no planejamento do desenvolvimento regional, e o enfrentamento da precarização dos assentamentos habitacionais na RMSP, especialmente em áreas de risco.

A superação da precariedade habitacional e urbana no âmbito do PDUI abrange vários aspectos de um dos mais significativos desafios para qualificação do ambiente urbano da RMSP, uma vez que aí estão concentrados os problemas e necessidades habitacionais mais relevantes e que envolvem o maior percentual de pessoas, considerando-se o estado de São Paulo.

Com essa premissa, superar a precariedade habitacional implica em promover integração urbana e inclusão socioespacial dos assentamentos precários, e como consequência incorporar importante parcela da população que vive em situações de risco, insalubridade e insegurança relacionadas à precariedade das condições de moradia. As intervenções nesses territórios devem necessariamente compreender medidas para regularização fundiária dos assentamentos, melhorias habitacionais e adequação urbanística, incluindo a implantação de infraestrutura, equipamentos e serviços urbanos.

A definição de políticas públicas para essas questões deve considerar, além da moradia, o impacto no território, procurando a articulação da política habitacional com as políticas setoriais para a implantação ou renovação das infraestruturas - especialmente acessibilidade, mobilidade e saneamento - e as interfaces com os problemas socioambientais que a ocupação dos espaços protegidos acarreta. Nesse contexto, a esfera metropolitana de planejamento e integração ganha importância fundamental para o suporte à

qualificação da gestão do desenvolvimento urbano e regional, à qual se vinculam as diretrizes de habitação social - demandando o desenvolvimento de mecanismos e instrumentos no âmbito da regulação e gestão de uso e ocupação do solo.

v) Gestão de Riscos Ambientais

Esta estratégia tem como objetivo principal promover o processo de articulação para gestão de riscos ambientais (geológicos, hidrológicos, meteorológicos, climatológicos e tecnológicos) na RMSP, alinhado às diretrizes e estratégias da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), Lei Federal nº 12.608/2012, em especial no que tange às responsabilidades dos municípios e integração desta Política às demais políticas setoriais municipais.

A fragilidade das instituições, órgãos da administração pública, gestores de serviços e obras — nas esferas municipal e estadual - em relação à proteção, prevenção e mitigação dos riscos ambientais evidencia a necessidade de identificar e recomendar a implementação de procedimentos técnico-operacionais nos diversos órgãos das administrações municipal e estadual, observando a singularidade de suas respectivas competências exclusivas, em suas ações de planejamento e de execução das ações de autorização e fiscalização de obras e serviços, no âmbito da RMSP.

O objetivo, portanto, consiste em promover e articular a rede de instituições das políticas setoriais da gestão municipal e metropolitana alinhadas à PNPDEC, para uma ação integrada em gestão de riscos no âmbito metropolitano. O Plano Metropolitano de Gestão de Riscos Ambientais é o instrumento que dará materialidade aos objetivos e às diretrizes para a Gestão de Riscos Ambientais na RMSP.

Cabe também a esta estratégia apontar as áreas sujeitas a controle especial pelo risco de desastres naturais, um dos conteúdos mínimos exigidos dos PDUIs pelo Estatuto da Metrôpole. O tratamento desta questão ilustra de forma exemplar as características inovadoras do PDUI-RMSP, que fez uso de ferramentas atuais de geoprocessamento e plataformas de compartilhamento de dados. Os mapeamentos relacionados aos riscos são instrumentos constantemente produzidos, atualizados e inseridos no Sistema de Informações Metropolitanas (SIM/EMPLASA).

Áreas de Intervenção Metropolitana: operações metropolitanas interfederativas

Terceiro nível do Ordenamento Territorial, as Áreas de Intervenção Metropolitana (AIMs) são recortes estratégicos do território que permitem a articulação das ações interfederativas e intersetoriais no território da RMSP. Têm como objetivo promover as FPICs, de modo a enfrentar desequilíbrios sociais, econômicos e ambientais, buscando a aplicação interfederativa dos instrumentos do Estatuto da Cidade.

As AIMs devem estar associadas a projetos específicos, programas e ações de caráter territorial, devidamente regulamentados e estruturados segundo legislação específica. Essas áreas serão delimitadas e regulamentadas por meio dos Planos de Ação Interfederativos, estabelecidos em regramentos específicos, observados os Planos Diretores e normas urbanísticas dos municípios envolvidos. Deverão, ainda, estabelecer a Matriz de Responsabilidades que definirão as ações e aportes de recursos atribuídos a cada ente federado.

O estabelecimento das Áreas de Intervenção Metropolitana e seus respectivos Planos de Ação devem ser precedidos por análise e discussão nas Câmaras Temáticas pertinentes às FPICs, na Câmara de Gestão do PDUI e submetidas ao acompanhamento e aprovação do Conselho de Desenvolvimento da RMSP.

INSTRUMENTOS DE GESTÃO, IMPLEMENTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

O Estatuto da MetrÓpole tornou evidente a necessidade de instrumentalizar o estado para o desenvolvimento de processos de planejamento e gestão que levem em conta o enfoque regional na definição de políticas e diretrizes de desenvolvimento de territórios metropolitanos e na articulação e orientação do planejamento setorial. Tais processos de planejamento e gestão devem garantir o enfoque regional também nas decisões de investimentos e na monitoração de ações empreendidas por órgãos e entidades governamentais. Assim, o compromisso com a execução do PDUI, que deverá ser aprovado e formalizado por lei, requer a montagem de um Sistema para Gestão do

Plano, com definição de responsabilidades, recursos e outros elementos importantes para garantir sua viabilização.

O desenho do Sistema de Planejamento e Gestão do PDUI-RMSP foi pensado de forma a possibilitar o acompanhamento e a avaliação do andamento da execução do Plano, favorecendo o processo decisório relacionado ao cumprimento de suas políticas e diretrizes, assim como a realização das ações propostas e a utilização dos recursos disponíveis.

O Sistema de Planejamento e Gestão do PDUI-RMSP opera de forma articulada ao Sistema de Planejamento e Gestão Metropolitano e apoia-se em dois pilares: o Subsistema operacional para monitoramento e análises e o Subsistema de Gestão.

O Subsistema operacional para monitoramento e análises, alimentado por bases oficiais e seguras, acessíveis aos municípios metropolitanos e demais agentes públicos, representa um avanço importante para a implementação da gestão metropolitana. Apoiado na plataforma geocolaborativa SIM|EMPLASA, oferece os recursos técnicos e tecnológicos para o compartilhamento de informações georreferenciadas necessárias para a construção e monitoramento dos programas, projetos e ações do PDUI.

O SIM|PDUI-RMSP é o instrumento que possibilitará a integração do planejamento e da execução de FPICs ao estado e aos municípios da RMSP. Essa integração, particularmente importante na expansão de redes de infraestrutura e serviços urbanos como também para o acompanhamento de políticas públicas setoriais, demanda o uso de bancos de dados com informações georreferenciadas que possibilitem a realização de análises precisas, quando confrontadas ações de diferentes setores em um mesmo território.

Quanto ao Subsistema de Gestão, sua função é gerenciar os projetos de forma articulada e detalhada, concomitantemente à sua execução. Para que o gerenciamento ocorra de forma eficiente, o subsistema de gestão deve estar alinhado e interligado com o sistema operacional, o SIM|PDUI-RMSP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O PDUI-RMSP é um instrumento de planejamento e gestão do território metropolitano, que contém princípios, objetivos, diretrizes e políticas para o desenvolvimento urbano e regional sustentável da

região. As diretrizes propostas referenciarão a elaboração de programas, projetos e ações com metas acompanhadas de indicadores de resultados, para o ordenamento do desenvolvimento territorial da RMSP.

De fato, era necessário existir um “Plano Diretor Metropolitano” que possibilitasse um referencial metropolitano para os planos diretores e para a ação governamental no território, desde que o Estatuto da Cidade (Lei 10.257 de 2001) tornou o Plano Diretor obrigatório para todas as cidades integrantes de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, independentemente de sua população. Tornou-se mais evidente ainda, a necessidade de um plano regional que compreendesse toda área metropolitana, principalmente por conta dos conflitos de uso e ocupação do solo em áreas conurbadas, assim como da necessidade de preservar compartimentos ambientais e dinamizar as potencialidades da região, de forma integrada.

Pode-se constatar que há um encadeamento entre os planos regionais e locais. Na escala da macrometrópole, que compreende 174 municípios, a EMPLASA coordenou a elaboração do Plano de Ação da Macrometrópole Paulista (PAM), com um enfoque mais articulador e integrador dos projetos, construindo uma carteira de projetos com horizonte 2040 e projeção de custos. Na escala metropolitana, o PDUI teve como uma das referências o próprio PAM e dialogou com todos os 39 Planos Diretores Municipais da RMSP, consolidando toda a legislação para elaboração do Macrozoneamento. Quando o PDUI se tornar lei, os 39 municípios terão um prazo de três anos para adequarem seus Planos Diretores ao PDUI. Também pode-se considerar as Agendas Metropolitanas das Sub-regiões da RMSP e, na escala do município, os Planos Sub-regionais e as leis de Uso e Ocupação do Solo.

Todas as nove Unidades Regionais (até então institucionalizadas) do estado de São Paulo, como as seis Regiões Metropolitanas e as três Aglomerações Urbanas, que compreendem 227 municípios, têm prazo até 31 de dezembro de 2021 para elaboração dos respectivos PDUIs, tornando um território considerado estratégico para a economia nacional totalmente planejado com rumo ao desenvolvimento sustentável. A este encadeamento, acrescentem-se os Planos Plurianuais de Investimentos (PPAs) e as Leis de Diretrizes Orçamentárias e Orçamentárias Anuais. Esta integração entre os planos

racionaliza o uso dos recursos, conferindo maior eficiência, eficácia e efetividade à ação governamental e empresarial.

O processo de elaboração do PDUI ocorreu de forma transparente e democrática, envolvendo ampla participação dos entes públicos do Estado, Municípios e União, assim como de representantes da Sociedade Civil, resultando em um trabalho pioneiro, referência para a elaboração dos PDUIs em todas as Unidades Regionais do Estado e de outros Estados da Federação. A metodologia deste processo, que pode ser consultada no Relatório de Método e Processo Participativo (EMPLASA, 2019c), será um grande legado da EMLASA ao planejamento metropolitano.

O PDUI-RMSP atendeu ao conteúdo mínimo estabelecido pelo Estatuto da Metrópole e está em sintonia com a realização dos objetivos de desenvolvimento global. Conforme estabelecido no conjunto de acordos globais assinados em 2015-16, incluindo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a Agenda 2030; a Estrutura de Sendai para Redução de Riscos de Desastres; o Acordo de Paris sobre a Agenda Climática; e a Nova Agenda Urbana mundial para os próximos 20 anos, aprovada na Conferência das Nações Unidas sobre Habitação e Desenvolvimento Urbano Sustentável (Habitat III), que apresentou, pela primeira vez, linhas específicas de políticas públicas para os conglomerados urbanos e áreas metropolitanas, no entendimento de que as dinâmicas metropolitanas exigem um esforço conjunto para sua governança.

REFERÊNCIAS

CAMPAGNONE, C. M. *Anotações próprias realizadas nas mesas de debates nas Journées Mondiales de L'Urbanisme – JMU. 100 ans d'urbanisme. "Le Defi des Transitions Urbaines"*. Paris 3, 4, 5 novembro, 2011.

CAMPAGNONE, C. M. A Nova Agenda Urbana e a Governança Metropolitana. *Cadernos Adenauer 3: Megacidades*, São Paulo, p. 9-32, 2017.

CAMPAGNONE, C. M. Governança Metropolitana: Desafios no estado de São Paulo. In: BRASILIENSE, J. M.; BRITO, E. S. (Org.)

Consórcios Intermunicipais e Políticas Públicas Regionais. 2ª ed. São Paulo: Oficina Municipal, 2019, p. 187-203.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. *Caderno de Propostas do PDUI-RMSP*. 2019a.

Disponível em:

http://multimedia.pdui.sp.gov.br/rmsp/docs_pdui/rmsp_docs_pdui_0016_caderno_final_de_propostas.pdf Acesso em: 20 nov. 2019.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. *Guia Metodológico do PDUI-RMSP*. 2019b.

Disponível em:

http://multimedia.pdui.sp.gov.br/rmsp/docs_pdui/rmsp_docs_pdui_0015_guia_metodologico.pdf Acesso em: 20 nov. 2019.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO. *Relatório de Método de Elaboração e Processo Participativo do PDUI-RMSP*. 2019c. Disponível em:

http://multimedia.pdui.sp.gov.br/rmsp/docs_pdui/rmsp_docs_pdui_0019_metodo_elaboracao.pdf Acesso em: 20 nov. 2019.

EMPLASA - EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO Disponível em: <https://emplasa.sp.gov.br/RMSP> Acesso em: 20 nov. 2019.

OECD - ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *The Metropolitan Century: Understanding Urbanisation and its Consequences*. OECD Publishing, Paris, 2015.

PEDRETTI, L. J.; CARVALHO, A. L. R. *A nova governança interfederativa: o Supremo Tribunal Federal e o Estatuto da MetrÓpole*. Sugestões para o desenvolvimento urbano 2015. Câmara dos Deputados, Comissão de Desenvolvimento Urbano, Brasília, 2015.

UCLG - UNITED CITIES AND LOCAL GOVERNMENTS. *GOLD IV - Fourth Global Report on Decentralization and Local Democracy of [co-creating the urban future the agenda of metropolises, cities and territories]*. Barcelona, 2016.

UN-HABITAT - UNITED NATIONS; UCLG - UNITED CITIES AND LOCAL GOVERNMENTS; LSE CITIES - LONDON SCHOOL OF ECONOMICS AND POLITICAL SCIENCE. *Online platform for the*

urban governance survey. 2015. Disponível em: <http://www.uclg-decentralisation.org/en/activities/committee-activities/online-platform-urban-governance-survey>. Acesso em: 20 nov. 2019.

UN DESA - DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, United Nations, New York, 2014.

UNISDR - UN OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction*. New York, 2015.

UNPD - UNITED NATIONS POPULATION DIVISION. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York, 2015.

UN - UNITED NATIONS. *The Millennium Development Goals Report 2015*. New York, 2015. Disponível em: <http://mdgs.un.org> Acesso em: 20 nov. 2019.

2 Estrutura de avaliação de sustentabilidade urbana no planejamento de rodovias em região metropolitana

Denis Gerage Amorim
Arlindo Philippi Jr

INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade adotado neste capítulo está relacionado à sustentabilidade no setor de transportes, na perspectiva social, urbanística e ambiental, com a proposta de fornecer uma estrutura organizada para avaliar os efeitos mais significativos, estratégicos e de longo prazo em escala metropolitana, decorrentes de planos, programas e projetos rodoviários.

Zietsman e Ramani (2011) citam duas abordagens divergentes observadas entre literatura e práticas quando se aborda a sustentabilidade em relação ao transporte - uma centrada no transporte e outra que considera o transporte em apoio a uma agenda mais ampla para a sustentabilidade (ou seja, uma visão holística). Este capítulo adota a primeira perspectiva, considerando o transporte como parte de uma agenda mais ampla, visando facilitar aplicações práticas de avaliação de sustentabilidade por agências de transporte, sem requerer grandes dependências de outros setores e instituições.

Com a aprovação do documento “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para as Nações Unidas e o Desenvolvimento Sustentável”, em setembro de 2015, pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU), foram definidos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Dentre eles, destaca-se o ODS 11, que

visa “*Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis*”, acompanhado com sete metas específicas (ONU, 2015). A meta 11.2 aborda os sistemas de transporte, conforme segue:

Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preço acessível para todos, melhorando a segurança rodoviária por meio da expansão dos transportes públicos, com especial atenção para as necessidades das pessoas em situação de vulnerabilidade, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.

No ordenamento jurídico brasileiro, o conceito de cidade sustentável surgiu em 2001, com a promulgação do Estatuto da Cidade, que prevê, no art. 2º, inciso I, como uma diretriz geral:

...garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações (BRASIL, 2001)

O Brasil deu um passo importante para o avanço na sustentabilidade dos transportes, na interface urbana, com a promulgação da Lei nº 12.587 em janeiro de 2012, que institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU). Trata-se de um instrumento da política de desenvolvimento urbano, ao objetivar a integração entre os diferentes modos de transporte e a melhoria da acessibilidade e mobilidade das pessoas e cargas no território municipal. A PNMU estabelece os princípios e os objetivos nos seus artigos 5º e 7º, respectivamente, que são pressupostos da sustentabilidade urbana.

Como pode ser observado, os meios de transporte são requisitos fundamentais para alcançar o desenvolvimento urbano sustentável. O transporte impulsiona o desenvolvimento, liga as pessoas, conecta as comunidades locais, constrói mercados e facilita o comércio. A importância que o transporte detém no contexto urbano é reconhecida pela ONU em seu relatório “Mobilizando o Transporte Sustentável para o Desenvolvimento”, publicado em 2016, que define transportes sustentáveis como:

(...) a provisão de serviços e infraestrutura para a mobilidade de pessoas e bens – avançando o desenvolvimento econômico e social para beneficiar as gerações atuais e futuras – de maneira segura, acessível, com preço acessível, eficiente, e resiliente, minimizando as emissões de carbono e outras e os impactos ambientais (ONU, 2016, p. 07).

Segundo VTPI (2005), as estratégias que aumentam a eficiência do sistema de transporte e reduzem os impactos negativos do transporte estão entre as formas mais eficazes de avançar em direção à sustentabilidade. É nesse contexto que tratar a sustentabilidade no planejamento de empreendimentos rodoviários é primordial, haja vista que esse modo de transporte tem sido amplamente criticado por estudiosos que se debruçam sobre a complexa temática da sustentabilidade urbana, dada sua ineficiência em regiões metropolitanas e seus impactos socioambientais significativos, em nível local, regional e global.

Particularmente, no contexto brasileiro, ao considerar que o modo rodoviário constitui a principal matriz de transporte do País, os desafios se impõem em um contexto de demandas crescentes por infraestruturas de transportes e serviços logísticos eficientes (PNT, 2018). Segundo o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE), o uso de veículos automotivos ainda será a prática predominante no País nas próximas décadas, podendo chegar a 130 milhões de veículos individuais e comerciais leves (EPE, 2014), o que corresponde a um acréscimo de aproximadamente três vezes a quantidade atual.

Para enfrentar os desafios globais, o Grupo Consultivo da ONU (2016) forneceu diretrizes sobre transporte sustentável que podem auxiliar no cumprimento dos ODS, da Agenda 2030, em três áreas: i) desenvolvimento e implementação de políticas, ii) financiamento e iii) inovação tecnológica. No que se refere à área de i) desenvolvimento e implementação de políticas, que guarda estreita relação com este trabalho, é ressaltada, dentre outras, a seguinte recomendação:

Estabelecer estruturas de monitoramento e avaliação para o transporte sustentável e desenvolver capacidade para coletar e analisar dados e estatísticas confiáveis (ONU, 2016, p. 41).

Devuyt, Hens e Lannoy (2001, p. 09) conceituam Avaliação da Sustentabilidade como:

[...] uma ferramenta que pode ajudar os tomadores de decisão e formuladores de políticas a decidirem quais as ações devem tomar ou não devem tomar na tentativa de tornar a sociedade mais sustentável.

Lim (2009) adverte que as perspectivas multidimensionais da sustentabilidade – ambientais, econômicas e sociais –, combinadas com a complexidade nas diferentes etapas da implantação de infraestruturas e com as demandas operacionais e administrativas exigentes aos gestores e tomadores de decisão, fazem com que os objetivos de sustentabilidade sejam muitas vezes negligenciados. Sob tais condições, as políticas e estratégias sobre sustentabilidade permanecem em grande parte ideológicas.

Considerando que, ao longo do processo de implantação de políticas de transporte, as informações são habitualmente complexas, excessivas e difusas dentro das agências de transporte, estruturas de avaliação de sustentabilidade em infraestrutura de transporte com uso de indicadores têm se demonstrado relevantes para subsidiar processos decisórios baseados nos preceitos da sustentabilidade, pois permite uma medição objetiva e consistente do progresso em direção às metas de sustentabilidade (RAMANI et al., 2011a).

Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo principal apresentar uma proposta de estrutura conceitual de avaliação de sustentabilidade composta por objetivos, metas e indicadores, que promova abordagens mais sistemáticas e integradas para tomadas de decisões no planejamento de infraestrutura rodoviária. Para tanto, revisou-se, inicialmente, os princípios e as questões relevantes para a sustentabilidade urbana e para o setor de transportes, bem como as principais ferramentas de avaliação de sustentabilidade aplicáveis a empreendimentos rodoviários. Uma vez estabelecida a base teórica da pesquisa, analisou-se as interfaces urbano-rodoviárias e os métodos de avaliação adotados na fase de planejamento do Rodoanel Mário Covas, uma rodovia perimetral localizada na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A estrutura de avaliação proposta foi desenvolvida com base nos efeitos e impactos estratégicos e nos respectivos métodos de avaliação constantes nos estudos elaborados durante o processo de planejamento do caso estudado. Também se apoiou em estruturas de avaliação criadas por agências internacionais de transporte, que forneceram inúmeras opções complementares de medidas de desempenho, que podem ser

aplicadas no contexto brasileiro para mensurar os indicadores selecionados.

O produto do trabalho consistiu, basicamente, na elaboração de um roteiro metodológico organizado em fichas para auxiliar na quantificação dos indicadores nas fases de tomada de decisão, denominadas neste trabalho como: Plano de Longo Prazo, Programa, Avaliação Ambiental de Projetos e Monitoramento. Como esse produto foi constituído a partir de processos de avaliação utilizados em um caso real e em estruturas internacionais existentes, a aplicação dos indicadores e das medidas de desempenho selecionados pode ser considerada viável tecnicamente, visto que tiveram sua aplicabilidade comprovada e testada pelas agências de transporte responsáveis.

A pesquisa apresentada e discutida neste capítulo teve como premissa que o uso de indicadores, associados a objetivos e metas, pode servir como uma ferramenta prática aos gestores e tomadores de decisão no planejamento de infraestrutura rodoviária, uma vez que fornece informações sintetizadas com base em análises de dados e estatísticas, permitindo avaliar alternativas e cenários futuros que levem em consideração os *trade-offs* entre os benefícios operacionais e econômicos de uma rodovia com os seus efeitos sociais, urbanos e ambientais.

O RODOANEL MÁRIO COVAS

O Rodoanel Mário Covas é uma rodovia perimetral que possui, no total, cerca de 180 quilômetros de extensão. Está localizado no anel peri-urbano da RMSP, composta por 39 municípios, que juntos possuem a maior concentração urbana do Brasil e uma das maiores do mundo, totalizando cerca de 21,4 milhões de habitantes (IBGE, 2017).

O processo de planejamento do Rodoanel foi conduzido pela DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S/A, empresa estatal ligada ao Governo do Estado de São Paulo, cujos estudos começaram a ser desenvolvidos a partir de 1995, com os seguintes objetivos principais (DERSA/FESPSP, 2004):

- ordenar o tráfego de transposição da RMSP, separando-os dos fluxos internos e aliviando o sobrecarregado sistema viário metropolitano;
- hierarquizar e estruturar o transporte de passageiros e cargas na RMSP, servindo de alternativa para os fluxos de longa distância entre as sub-regiões da metrópole;
- permitir a integração intermodal do transporte de cargas.

Além dos objetivos setoriais de transportes supracitados, agregam-se os seguintes objetivos voltados à proteção e recuperação urbano-ambiental (DERSA/FESPSP, 2004):

- contribuir para a melhoria da qualidade ambiental das áreas do anel peri-urbano em sua área de influência direta;
- contribuir para assegurar eficácia às políticas e ações destinadas à proteção e recuperação de mananciais de abastecimento de água da RMSP;
- contribuir para ampliação das áreas naturais, para a proteção e melhoria da gestão de áreas protegidas na RMSP;
- contribuir para a integração das ações públicas em sua área de influência direta, buscando sinergias que otimizem os investimentos públicos e a proteção dos recursos naturais.

Por se tratar de um empreendimento de alta complexidade e custos elevados para a sua implantação, o Rodoanel foi dividido em quatro trechos - Oeste, Sul, Leste e Norte - para viabilizar sua construção. Esses quatro trechos formam um anel viário, que interconecta as grandes rodovias radiais que afluem à metrópole, desviando o tráfego rodoviário de passagem do viário metropolitano.

Ao reduzir a quantidade de veículos que atravessam a RMSP, essa rodovia contribui para melhorar a mobilidade em toda a região, com reflexos positivos nos transportes coletivo e individual e nas condições de segurança do trânsito. Além disso, tem o potencial de contribuir para a redução das deseconomias e dos impactos impostos pela passagem de cargas pela área central da região metropolitana, como,

por exemplo, redução dos tempos de percurso, dos custos operacionais, da manutenção das vias urbanas, das emissões de gases poluentes etc.

A rodovia, que percorre a franja urbana da RMSP, cruza territórios com características heterogêneas, com assentamentos urbanos consolidados e em expansão, graves carências de infraestrutura e baixa qualidade ambiental e urbana, em contraste com áreas de melhor padrão e baixas densidades de ocupação, bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento (ao Sul, Leste e Norte) e Unidades de Conservação.

Diante da sensibilidade socioambiental do território atravessado, o projeto foi concebido de forma a evitar impactos socioambientais significativos, bem como aproveitar suas potencialidades no âmbito de políticas de ocupação do solo, como um elemento catalizador de iniciativas e ações públicas voltadas à recuperação ambiental e à ocupação do solo com melhor qualidade. Exemplos dessas iniciativas foram a adoção de soluções construtivas complexas (por exemplo, passagens elevadas e túneis sobre área ambientalmente sensível); a criação de parques para impedir o avanço de ocupações irregulares junto a mananciais; o aproveitamento do seu efeito barreira no controle do avanço da urbanização nas unidades de conservação existentes, dentre outros.

Considerando o intensivo processo de planejamento que precedeu a implantação do empreendimento, no qual contemplou uma série de práticas e experiências que contribuiriam para busca da sustentabilidade sócio-urbano-ambiental, este estudo de caso forneceu informações relevantes para identificar efeitos/impactos e os seus respectivos métodos de avaliação utilizados. Dessa forma, atendeu ao requisito fornecido por Yin (2003) de que a seleção do caso a ser estudado precisa identificar os atributos que são mais susceptíveis de produzir dados relevantes.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM TRANSPORTES

Os indicadores de sustentabilidade são importantes ferramentas de mensuração e avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável, e são necessários para subsidiar a elaboração de políticas públicas e a tomada de decisões (BELLEN, 2006). Os indicadores traduzem dados e estatísticas em informações sucintas facilmente compreendidas

e usadas por pessoas de diferentes grupos e áreas do conhecimento, incluindo engenheiros, administradores, políticos e público em geral (RAMANI et al., 2011c). Reduzem grande quantidade de informação a um número apropriado de parâmetros para análise e tomada de decisão, e sua utilização permite revelar condições e ao mesmo tempo tendências (COSTA, 2003).

Contudo, Litman (2016) alerta que pode haver distorção nos resultados em função de conflitos entre conveniência e abrangência na seleção de indicadores. Um índice composto por menor número de indicadores usando dados facilmente disponíveis é mais conveniente de usar, mas pode ignorar impactos importantes e, portanto, distorcer as decisões de planejamento. Por outro lado, um conjunto maior, apesar de sua maior abrangência, tem custos elevados de coleta de dados e é mais difícil a sua interpretação.

Os indicadores de sustentabilidade possuem algumas características especiais que os diferem dos indicadores tradicionais, incluindo:

- *Integração*: permitem visualizar as conexões existentes entre as dimensões econômica, social e ambiental da sustentabilidade;
- *Visão a longo prazo*: os indicadores permitem acompanhar o progresso em direção à sustentabilidade, ao revelarem tendências e fornecerem informações indiretas sobre o futuro da comunidade;
- *Preocupação com as futuras gerações*: devem medir a equidade intra e entre gerações. Podem focalizar, ainda, diferentes populações ou regiões geográficas;
- *Desenvolvimento com a contribuição de múltiplos participantes*: as experiências têm mostrado que os indicadores de maior influência e confiabilidade têm sido aqueles desenvolvidos a partir da contribuição de diferentes grupos (MACLAREN, 1996 *apud* COSTA, 2003).

Os indicadores em transporte possuem múltiplas finalidades. Segundo Ramani et al. (2011a) e Zietsman e Ramani (2011), os indicadores podem ser usados como (Figura 1):

- **Descrição:** para descrever o efeito do seu programa ou política e compreender os aspectos da agência de negócios ou ações em termos de *status* e tendências atuais.
- **Avaliação:** na perspectiva de avaliar seu progresso e diagnosticar quais problemas ou barreiras precisam ser abordados. Introduce um juízo de valor em relação ao desempenho atual e tendências, envolvendo o uso de metas, valores de referência ou tendências.
- **Prestação de contas:** para identificar o desempenho sob o qual uma determinada agência é responsável, especificamente um baixo desempenho em uma área-chave que precisa ser melhorado para atender a um nível desejado.
- **Apoio à decisão:** com o objetivo de avaliar, comparar, priorizar e selecionar alternativas e opções com resultados mais sustentáveis. Algumas aplicações determinam se deve ou não prosseguir com a ação proposta ou para seleção de alternativas. Outras aplicações podem comparar o desempenho de uma meta para auxiliar decisões de continuar ou modificar um programa, prática ou projeto.
- **Comunicação:** na perspectiva de comunicar às partes interessadas internas e externas o que o programa ou a política está alcançando, por meio de índices, números, tabelas, gráficos, pontuação e outras ferramentas de visualização, tais como painéis de controle. Os métodos mais frequentemente utilizados mostram condições, comparações, tendências e aderência aos objetivos, metas e alvos.

Marsden et al. (2005) afirmam que os indicadores são necessários para dar sentido a "sistemas complexos" em que vivemos. Em particular, eles identificam quatro razões principais para usar indicadores:

- i. Permitem a síntese de massas de dados;
- ii. Mostram a posição atual em relação aos estados desejáveis;
- iii. Demonstram progresso em direção a metas e objetivos;
- iv. Comunicam o *status* atual às partes interessadas, para que possam ser tomadas decisões de gerenciamento eficazes que levem às metas estabelecidas.

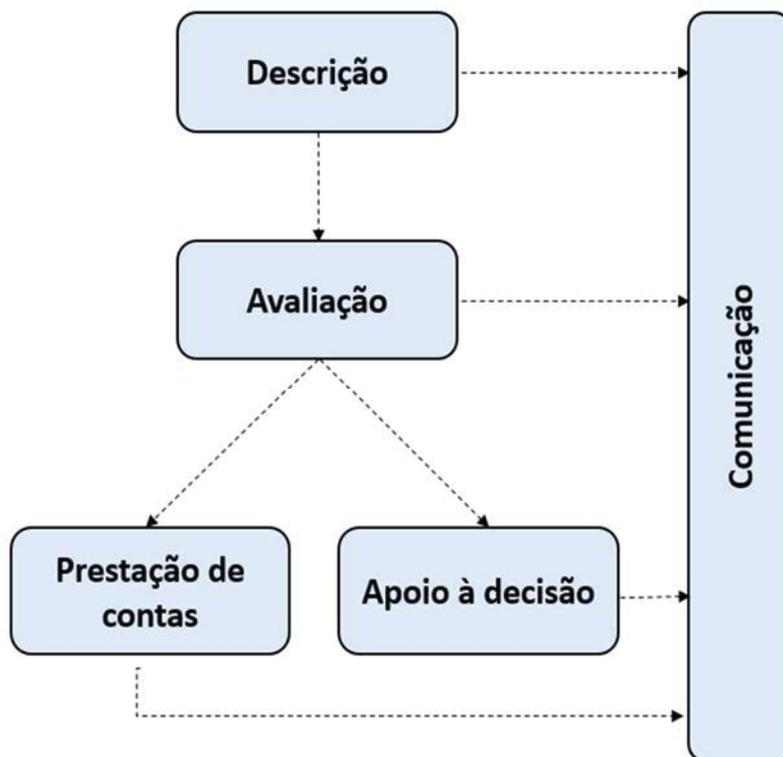


Figura 1 - Relação entre os tipos de aplicação

Fonte: Traduzido de Ramani et al. (2011a)

ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a construção da estrutura de avaliação proposta, o estudo adotou uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, segundo seus objetivos (GIL, 2002), utilizando-se dados secundários. Para tanto, foram adotados os procedimentos técnicos combinados de pesquisa bibliográfica e estudo de caso. As fontes de dados e informações foram provenientes de estudos e artigos científicos, de documentos

publicados em *website* de agências de transporte internacionais e de documentos técnicos disponíveis na agência de transporte responsável pelo caso estudado.

O processo metodológico desta pesquisa consistiu nas seguintes etapas de trabalho: (i) revisão da literatura, (ii) estudo de caso e (iii) desenvolvimento de uma estrutura conceitual de avaliação de sustentabilidade. Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica com o propósito de identificar os princípios e questões relevantes para a sustentabilidade urbana e para o setor de transportes. Além disso, foram analisadas as ferramentas de avaliação aplicáveis ao planejamento de infraestrutura de transporte, com ênfase em empreendimentos rodoviários. Essa etapa estabeleceu uma base teórica para a pesquisa, fundamentando a proposição de indicadores aplicáveis ao planejamento de transporte.

Uma vez estabelecida a base teórica da pesquisa, analisou-se as interfaces urbano-rodoviárias a partir do procedimento metodológico de estudo de caso, cujos resultados consistiram na identificação dos fatores e dos métodos de avaliação dos efeitos e impactos considerados mais relevantes para fase de planejamento, resultantes das ferramentas de avaliação de sustentabilidade adotadas no Rodoanel Mário Covas.

Os estudos analisados, considerados pela literatura como as principais ferramentas de avaliação disponíveis que contribuem para a sustentabilidade (NESS et al., 2006; FIDIC, 2012; FURBERG; MOLANDER; WALLBAUM, 2015; BUENO; VASSALLO; CHEUNG, 2015), foram: o Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes – PDDT Vivo, a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), os quatro Estudos de Impacto Ambiental (EIA) elaborados para cada trecho, os estudos de análise de riscos, os Planos Básico Ambiental (PBAs), o Programa de Monitoramento da Expansão da Mancha Urbana e o Sistema de Classificação e Certificação para infraestrutura sustentável *Envision*. No caso dos EIAs, foram selecionados apenas os impactos mais relevantes no contexto da sustentabilidade, com base no princípio da intergeracionalidade, considerados aqueles que possuíram os seguintes atributos: i) alta intensidade; ii) irreversível e iii) com tempo de permanência de longo prazo ou permanente.

O levantamento de dados secundários na literatura e no estudo de caso permitiu constituir uma matriz genérica de indicadores e medidas de desempenho com potencial de aplicação no planejamento de infraestrutura rodoviária. Essa matriz foi refinada, mantendo-se apenas aqueles ligados aos objetivos e às metas estabelecidos. Por fim, os indicadores selecionados foram organizados em fichas de avaliação, que continham informações orientativas para sua aplicação.

O modelo conceitual da abordagem metodológica é apresentado na Figura 2.

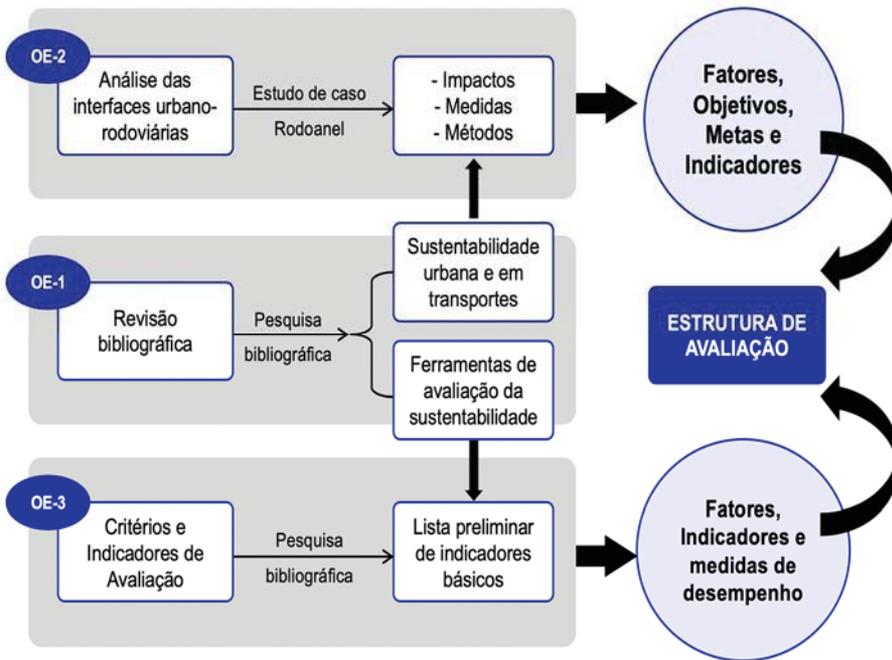


Figura 2 - Modelo conceitual da pesquisa

A ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE

A estrutura de avaliação proposta fornece indicadores e uma maneira de organizar a forma como eles podem ser utilizados, de modo

que sirvam como uma ferramenta de apoio à decisão e de comunicação às partes interessadas.

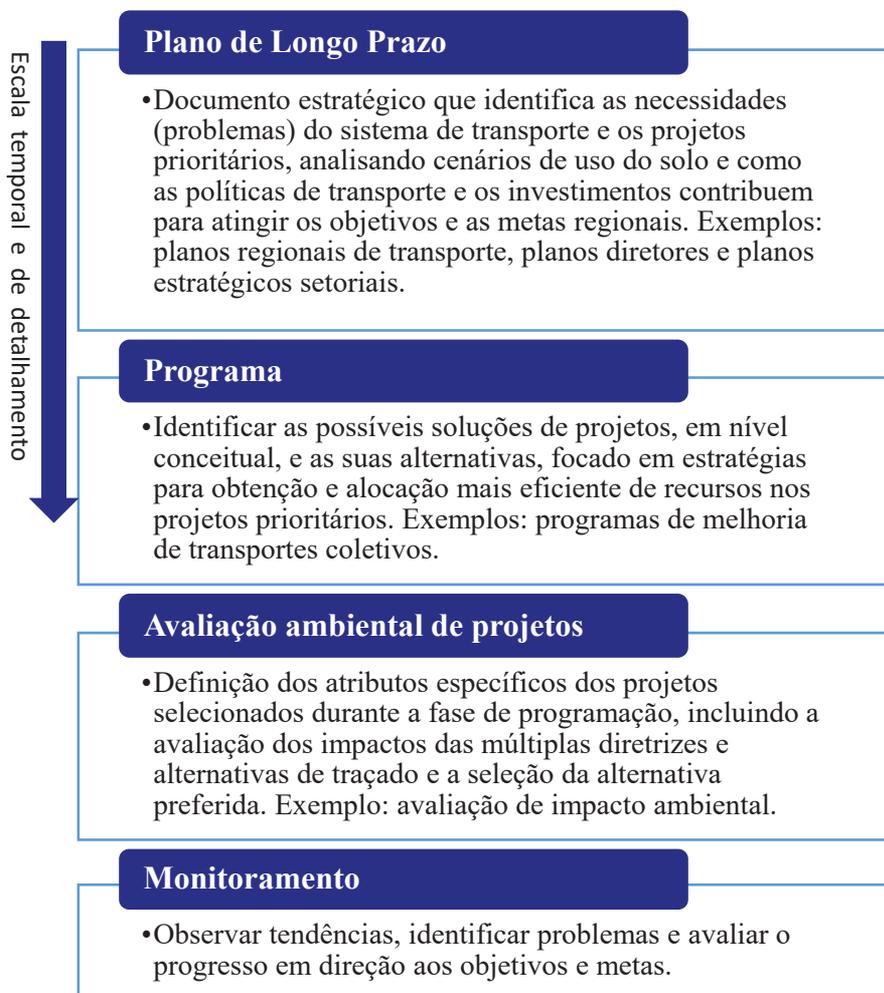


Figura 3 - Fases de tomada de decisão em transporte de uso potencial da estrutura conceitual

A tomada de decisões de empreendimentos de transporte geralmente começa com o reconhecimento de sua necessidade e das soluções

conceituais e com o estabelecimento de objetivos e metas em amplas regiões. À medida que essa necessidade caminha para um consenso, o foco da tomada de decisão evolui para uma consideração das necessidades e soluções locais e específicas em nível de projeto, com maior nível de detalhamento.

As questões abordadas e as medidas usadas em vários estágios do processo podem se alterar à medida que uma agência passa de necessidades generalizadas para projetos específicos. Assim, os indicadores foram organizados para apoiar as principais fases de decisões no processo de planejamento de uma nova infraestrutura rodoviária, definidas neste trabalho como: *plano de longo prazo, programa, avaliação ambiental de projetos e monitoramento*. Essas fases de tomada de decisão e as oportunidades com maior potencial de aplicação dos indicadores estão apresentadas na Figura 3.

O emprego de indicadores nesses estágios pode contribuir para o diagnóstico atual e orientar as decisões sobre onde aplicar mais recursos, a partir de uma perspectiva sobre o desempenho futuro previsto, com o uso de ferramentas preditivas.

Para abranger os vários estágios e níveis de aplicação, a estrutura de avaliação foi concebida de forma genérica, visando permitir que as agências de transporte personalizem seus objetivos, metas, indicadores e medidas de desempenho, de modo flexível e modular. Assim, permite-se que o usuário selecione ou adapte os indicadores fornecidos pela estrutura, com base em suas necessidades específicas, considerando principalmente os seus objetivos e metas estratégicos.

A estrutura foi organizada por fatores de avaliação, suportados por princípios de políticas nacionais, em especial a Política Urbana, Política Nacional de Mobilidade Urbana, a Política Nacional do Meio Ambiente e a Política Nacional de Transportes, bem como agendas de sustentabilidade. Para cada fator estabelecido, foram desenvolvidos objetivo, metas e métricas específicas, para contribuir que agências de transporte possam medir o progresso de suas atividades em direção à sustentabilidade.

O processo de desenvolvimento da estrutura conceitual de avaliação de desempenho de sustentabilidade na interface urbana-rodoviário foi composto basicamente por quatro etapas (ver diagrama simplificado na Figura 4).

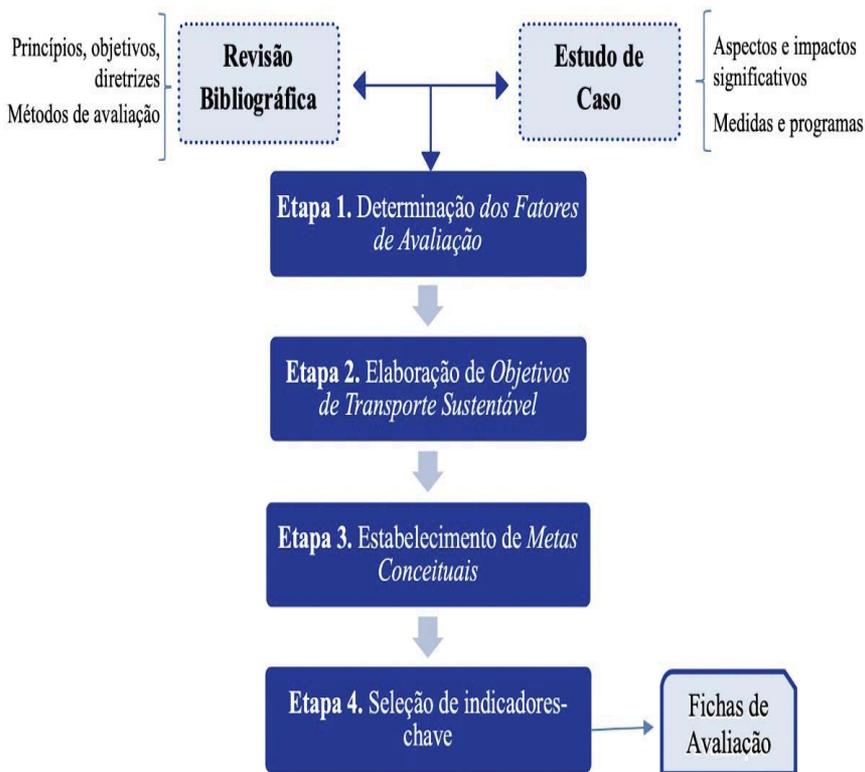


Figura 4 - Etapas do processo de elaboração da estrutura conceitual

- **Etapa 1** - Determinação dos *Fatores de Avaliação*

A determinação dos *Fatores de Avaliação* para compor a estrutura de avaliação baseou-se nas políticas nacionais que sustentam os princípios da sustentabilidade urbana e de transporte, bem como nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade aplicadas no setor de transporte e no estudo de caso. Dentre as políticas nacionais, destacam-se a Política Nacional de Transportes, a Política Nacional de Mobilidade Urbana, a Política Nacional de Meio Ambiente, a Política Urbana e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Como resultado, foram estabelecidos 10 *Fatores de Avaliação*, os quais estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Fatores de avaliação

| Código | Fatores de Avaliação | Descrição |
|--------|--|---|
| FA-01 | Mobilidade e Eficiência do Sistema | Mede a capacidade do sistema de transporte de facilitar o deslocamento eficiente de pessoas e bens até os destinos desejados |
| FA-02 | Acessibilidade | Refere-se à capacidade do sistema de transporte de conectar as pessoas aos destinos desejados |
| FA-03 | Segurança | Mede a qualidade do serviço de transporte em termos de acidentes ou incidentes |
| FA-04 | Desenvolvimento Econômico e Uso do Solo | Analisa as alterações do uso do solo urbano e os benefícios econômicos que podem advir como resultado de investimentos em transporte |
| FA-05 | Qualidade do Ar | Analisa se as decisões de transporte são consistentes com as metas de qualidade do ar para uma região |
| FA-06 | Mudanças Climáticas | Aborda os impactos das emissões de transporte no clima (mitigação) e os possíveis impactos da mudança climática na infraestrutura de transporte (adaptação) |
| FA-07 | Recursos Hídricos | Considera dois aspectos: os efeitos sobre a quantidade de água (produtividade hídrica de mananciais) e os efeitos sobre a qualidade da água (contribuições na alteração da qualidade). |
| FA-08 | Ecossistema, Habitat e Biodiversidade | Avalia os impactos sobre a vegetação e Unidades de Conservação. |
| FA-09 | Equidade | Avalia a distribuição de acessibilidade, dos benefícios de investimento, e a exposição às externalidades negativas geradas pelo transporte |
| FA-10 | Qualidade de Vida | Avalia os impactos, no geral negativos, que podem afetar a qualidade de vida das comunidades locais, incluindo questões de segregação urbana, ruído, qualidade visual e riscos socioambientais. |

- **Etapa 2** - Elaboração de *Objetivos de Transporte Sustentável (OTS)*

Para cada *Fator de Avaliação* foi estabelecido um objetivo específico, denominado neste trabalho como *Objetivos de Transporte Sustentável (OTS)*. A elaboração dos objetivos se baseou na fundamentação teórica, nos objetivos e diretrizes de políticas, nas ferramentas de avaliação e no estudo de caso. Esses objetivos expressam, de modo geral, onde se pretende chegar ou a direção desejada, refletindo as situações a serem alteradas pela implementação de metas, estratégias e ações gerenciais.

Os objetivos foram direcionados para os fins e não para os meios, e deram suporte à definição dos indicadores, uma vez que permitiram fazer o link entre o *Fator de Avaliação* e as *Metas Conceituais*. Os Fatores de Avaliação associados aos OTS definidos na estrutura de avaliação estão apresentados Quadro 2.

Quadro 2 - Fatores de avaliação associados aos OTS

| Fatores de Avaliação | Código | Objetivos de Transporte Sustentável (OTS) |
|--------------------------------------|--------|--|
| Mobilidade e Eficiência do Sistema | OTS 1 | Manter e melhorar a capacidade dos bens e das pessoas de se deslocarem pelo sistema de transporte e pelas vias urbanas, com o mínimo de atraso |
| Acessibilidade | OTS 2 | Fornecer sistemas de transporte que maximizem a acessibilidade para todas as comunidades |
| Segurança | OTS 3 | Fornecer um sistema de transporte seguro para os usuários e o público em geral |
| Desenvolvimento Urbano e Uso do Solo | OTS 4 | Garantir que o sistema de transporte apoie o desenvolvimento socioeconômico integrado ao planejamento do uso do solo |
| Qualidade do Ar | OTS 5 | Melhorar a qualidade do ar de zonas saturadas, reduzindo a exposição da população a níveis de poluição que excedem os limites seguros |
| Mudanças Climáticas | OTS 6 | Mitigar as mudanças climáticas e os seus impactos sobre o transporte e a comunidade |

(continua...)

Quadro 2 - Fatores de avaliação associados aos OTS

(...continuação)

| Fatores de Avaliação | Código | Objetivos de Transporte Sustentável (OTS) |
|---------------------------------------|--------|--|
| Recursos Hídricos | OTS 7 | Proteger os recursos hídricos e os ecossistemas que dependem deles, melhorando a qualidade da água e minimizando os impactos na produtividade hídrica das bacias hidrográficas |
| Ecossistema, Habitat e Biodiversidade | OTS 8 | Proteger e melhorar os sistemas ambientais e ecológicos no desenvolvimento e operação de sistemas de transporte |
| Equidade | OTS 9 | Fornecer um sistema de transporte que maximize ou mantenha a equidade entre grupos e setores da sociedade. |
| Qualidade de Vida | OTS 10 | Melhorar a qualidade de vida resultante de todas as comunidades afetadas pelo projeto e mitigar os impactos negativos sobre as mesmas |

- **Etapa 3 - Estabelecimento das *Metas Conceituais***

Tendo em vista que os OTS estabelecidos são muito genéricos para operacionalização no planejamento de transporte com uso de indicadores, os mesmos foram desmembrados em *Metas Conceituais*, sem valores de referências, como forma de instituir os “caminhos” para alcançar os OTS. Ramani et al. (2011b) explicam que a definição de metas é uma parte crucial do processo, pois permite que as agências de transporte deliberem sobre como as metas da organização se relacionam com a sustentabilidade.

Enquanto os OTS são desenvolvidos numa abrangência mais amplas, as *Metas Conceituais* são usadas para definir como os objetivos podem ser alcançados a partir do planejamento de infraestrutura de transporte. As metas são, portanto, mais específicas e mensuráveis, e estabelecem as bases para ligar os indicadores aos objetivos. Foram elaboradas de forma genérica, permitindo a adaptação e inclusão de quantidades e prazos de referência pelos usuários da estrutura de avaliação.

Ao todo, foram elaboradas 32 metas conceituais distribuídas pelos 10 OTS, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 - Metas conceituais correspondentes aos OTS

| | | |
|---|--|--|
| OTS-01: Manter e melhorar a capacidade dos bens e das pessoas de se deslocarem pelo sistema de transporte e pelas vias urbanas, com o mínimo de atraso | | |
| MOB-01: Reduzir o congestionamento recorrente | MOB-02: Melhorar o tempo de viagem | MOB-03: Reduzir o volume de tráfego, diversificando o sistema de transporte |
| OTS-02: Fornecer sistemas de transporte que maximizem a acessibilidade para todas as comunidades | | |
| AC-01: Proporcionar às empresas melhoria de acesso aos recursos do mercado | AC-02: Proporcionar aos moradores melhoria de acesso a centros regionais | AC-03: Melhorar a acessibilidade aos diferentes modos de transporte urbano, como alternativa ao uso do automóvel |
| OTS-03: Fornecer um sistema de transporte seguro para os usuários e o público em geral | | |
| SEG-01: Reduzir a quantidade de acidentes de trânsito | SEG-02: Fornecer uma infraestrutura rodoviária segura | SEG-03: Melhorar a resposta a incidentes de trânsito |
| OTS-04: Garantir que o sistema de transporte apoie o desenvolvimento socioeconômico integrado ao planejamento do uso do solo | | |
| US-01: Promover e induzir um crescimento urbano ordenado, misto e compacto | US-02: Integrar os sistemas de transporte com os planos de uso do solo | US-03: Minimizar o consumo da terra para as instalações de infraestrutura de transporte |
| OTS-05: Melhorar a qualidade do ar de zonas saturadas, reduzindo a exposição da população a níveis de poluição que excedem os limites seguros | | |
| QA-01: Reduzir emissões de poluentes atmosféricos relacionados ao transporte | QA-02: Cumprir os padrões normativos de qualidade do ar | QA-03: Evitar ou reduzir a exposição da população aos poluentes atmosféricos de origem móvel |

(continua...)

Quadro 3 - Metas conceituais correspondentes aos OTS*(...continuação)*

| | | | |
|---|--|--|---|
| OTS-06: Mitigar as mudanças climáticas e os seus impactos sobre o transporte e a comunidade | | | |
| MC-01: Reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de fontes de transporte | | MC-02: Evitar riscos e vulnerabilidades às ameaças climáticas | |
| OTS-07: Proteger os recursos hídricos e os ecossistemas que dependem deles, melhorando a qualidade da água e minimizando os impactos na produtividade hídrica das bacias hidrográficas | | | |
| RH-01: Proteger os mananciais de abastecimento de água | RH-02: Garantir a consistência do planejamento de transporte com os planos de bacias hidrográficas | RH-03: Garantir o cumprimento do padrão normativo de qualidade da água | RH-04: Manter ou melhorar a qualidade da água |
| OTS-08: Manter ou melhorar as funções ecológicas de ecossistemas e de áreas de habitats | | | |
| EHB-01: Proteger os fragmentos de vegetação nativa e demais habitats essenciais para a sobrevivência de espécies selvagens | EHB-02: Evitar interferências em áreas ambientalmente protegidas | EHB-03: Preservar as zonas úmidas de alta qualidade | EHB-04: Conservar a fauna nativa |
| OTS-09: Fornecer um sistema de transporte que maximize ou mantenha a equidade entre grupos e setores da sociedade | | | |
| EQ-01: Melhorar a equidade de acessos e mobilidade | EQ-02: Reduzir os custos de transporte para comunidades de baixa renda | EQ-03: Distribuir as externalidades de forma equitativa | |
| OTS-10: Melhorar a qualidade de vida resultante de todas as comunidades afetadas pelo projeto e mitigar os impactos negativos sobre as mesmas | | | |
| QV-01: Minimizar o ruído gerado na operação do projeto | QV-02: Minimizar a Poluição Visual | QV-03: Evitar ou minimizar a segregação urbana | QV-04: Minimizar o risco ambiental e à saúde e segurança humana |

- **Etapa 4** - Seleção dos indicadores-chave e medidas de desempenho

O processo de seleção dos indicadores propostos neste capítulo partiu da elaboração de uma lista preliminar e abrangente de indicadores e medidas de desempenho, obtidos por meio de pesquisa bibliográfica, aplicados por agências de transporte internacionais no contexto da sustentabilidade, assim como nos métodos aplicados no estudo de caso. Portanto, pode-se atestar que os indicadores selecionados têm o seu uso considerado viável tecnicamente pelas agências responsáveis, com aplicabilidade comprovada, podendo ser considerados factíveis.

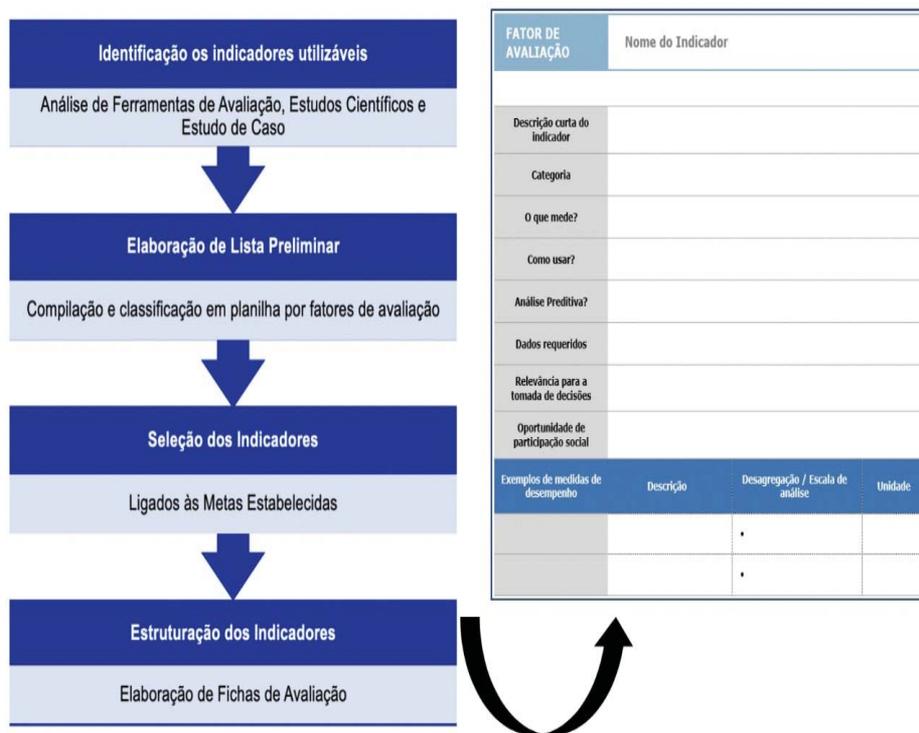


Figura 5 - Processo de seleção dos indicadores e modelo das fichas de avaliação

Os indicadores mapeados foram organizados em planilha eletrônica, por *Fatores de Avaliação*, sendo selecionados para compor a estrutura apenas aqueles que se ligaram às *Metas Conceituais* preestabelecidas. Por fim, para cada indicador mensurável, ligado a uma meta específica, foi elaborada uma *ficha de avaliação*, contendo diversas informações para orientar sua aplicação de forma flexível.

A Figura 5 mostra, de forma sintetizada, o processo adotado para seleção dos indicadores e medidas de desempenho, que resultou na elaboração das *fichas de avaliação*. Essas fichas fornecem informações para mensuração dos indicadores de forma prática, que resultam em informações úteis para tomadas de decisão ou comunicação com as partes interessadas.

Ao todo, foram selecionados 36 indicadores para avaliação da sustentabilidade urbana na fase de planejamento de uma infraestrutura rodoviária e, portanto, foram elaboradas 36 *fichas de avaliação*, que conta com diversas medidas de desempenho sugeridas para a quantificação do indicador. O Quadro 4 mostra as metas e os indicadores desenvolvidos no estudo, por fator de avaliação.

Quadro 4 - Metas conceituais e os respectivos indicadores, organizados por fatores de avaliação

| METAS | INDICADORES |
|--|---|
| FA-01: MOBILIDADE E EFICIÊNCIA DO SISTEMA | |
| MOB-01: Reduzir o congestionamento recorrente | MOB-1.1. Alteração no Nível de Serviço (LOS) |
| | MOB-1.2. Mudança na relação volume / capacidade |
| MOB-02: Melhorar o tempo de viagem | MOB-2.1. Atraso recorrente |
| | MOB-2.2. Tempo de viagem |
| | MOB-2.3. Alteração no Índice de Tempo de Viagem |

(continua...)

Quadro 4 - Metas conceituais e os respectivos indicadores, organizados por fatores de avaliação*(...continuação)*

| FA-02: ACESSIBILIDADE | |
|---|--|
| AC-01: Proporcionar às empresas melhoria de acesso aos recursos do mercado | AC-01.1. Acessibilidade da força de trabalho AC-01.2. Acessibilidade de mercado |
| AC-02: Proporcionar aos moradores melhoria de acesso a centros regionais | AC-02.1. Acessibilidade a emprego AC-02.2. Acessibilidade a destinos essenciais |
| FA-03: SEGURANÇA | |
| SEG-01: Reduzir a quantidade de acidentes de trânsito | SEG-01.1. Acidentes de Trânsito |
| SEG-02: Fornecer uma infraestrutura rodoviária segura | SEG-02.1. Condição de Segurança Viária |
| SEG-03: Melhorar a resposta a incidentes de trânsito | SEG-03.1. Resposta a incidentes de trânsito |
| FA-04: DESENVOLVIMENTO URBANO E USO DO SOLO | |
| US-01: Promover e induzir um crescimento urbano ordenado, misto e compacto | US-01.1. Expansão urbana |
| US-02: Integrar os sistemas de transporte com os planos de uso do solo | US-02.1. Integração com planos de uso do solo |
| US-03: Minimizar o consumo da terra para as instalações de infraestrutura de transporte | US-03.1. Consumo de terras para infraestrutura de transporte |
| FA-05: QUALIDADE DO AR | |
| QA-01: Reduzir emissões de poluentes atmosféricos relacionados ao transporte | QA-01.1. Emissões de poluentes atmosféricos |
| QA-02: Cumprir os padrões normativos de qualidade do ar | QA-02.1. Conformidade com os padrões de qualidade do ar |
| QA-03: Evitar ou reduzir a exposição da população aos poluentes atmosféricos de origem móvel | QA-03.1. População expostas a poluição do ar |

(continua...)

Quadro 4 - Metas conceituais e os respectivos indicadores, organizados por fatores de avaliação*(...continuação)*

| FA-06: MUDANÇAS CLIMÁTICAS | |
|---|---|
| MC-01: Reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de fontes de transporte | MC-01.1. Emissões de GEE |
| MC-02: Evitar riscos e vulnerabilidades às ameaças climáticas | MC-02.1. Vulnerabilidade às mudanças climáticas |
| FA-07: RECURSOS HÍDRICOS | |
| RH-01: Proteger os mananciais de abastecimento de água | RH-01.1. Interferência com área de proteção a mananciais |
| RH-02: Garantir a consistência do planejamento de transporte com os planos de bacias hidrográficas | RH-02.1. Consistência com os Planos de Bacias Hidrográficas |
| RH-03: Garantir o cumprimento do padrão normativo de qualidade da água | RH-03.1. Conformidade dos padrões de qualidade da água |
| | RH-03.2. Cargas difusas provenientes do escoamento superficial de rodovia |
| FA-08: ECOSSISTEMA, HABITAT E BIODIVERSIDADE | |
| EHB-01: Proteger os fragmentos de vegetação nativa e demais habitats essenciais para a sobrevivência de espécies selvagens | EHB-01.1. Supressão de vegetação nativa |
| EHB-02: Evitar interferências em áreas ambientalmente protegidas | EHB-02.1. Interferência com áreas ambientalmente protegidas |
| EHB-03: Preservar as zonas úmidas de alta qualidade | EHB-03.1. Relação de zonas úmidas afetadas e criadas |
| | EHB-03.2. Consistência com planos de zonas úmidas |
| EHB-04: Conservar a fauna nativa | EHB-04.1. Atropelamento de fauna silvestre |
| FA-09: EQUIDADE | |
| EQ-01: Melhorar a equidade de acessos e mobilidade | EQ-01.1. Equidade no transporte |

(continua...)

Quadro 4 - Metas conceituais e os respectivos indicadores, organizados por fatores de avaliação*(...continuação)*

| | |
|---|---|
| EQ-02: Reduzir os custos de transporte para comunidades de baixa renda | EQ-02.1. Capacidade de pagamento |
| EQ-03: Distribuir as externalidades de forma equitativa | EQ-03.1. Justiça socioambiental |
| FA-10: QUALIDADE DE VIDA | |
| QV-01: Minimizar o ruído gerado na operação do projeto | QV-01.1. Alteração dos níveis de ruído |
| QV-02: Minimizar a Poluição Visual | QV-02.1. Qualidade Visual |
| QV-03: Evitar ou minimizar a segregação urbana | QV-03.1. Coesão Comunitária |
| QV-04: Minimizar o risco ambiental e à saúde e segurança humana | QV-04.1. Riscos e emergências socioambientais |

A estrutura foi composta por um número suficientemente grande de indicadores e medidas de desempenho, para que possam ser selecionados pelos potenciais usuários de acordo com a aplicabilidade e disponibilidade de dados ou viabilidade de coleta de dados. Nesse sentido, a seleção dos indicadores não considerou as dificuldades para coletar dados e a particularidade dos usuários, mas simplesmente aqueles considerados pelos autores recomendáveis de mensuração ou potenciais de uso. É importante que os usuários e analíticos de indicadores compreendam as suas perspectivas, premissas e limitações (LITMAN, 2008). Portanto, embora o presente trabalho tenha proposto um amplo conjunto de indicadores e de medidas de desempenho, a escolha exata para a aplicação prática dependerá das prioridades, da negociação com as partes interessadas, do custo necessário para a obtenção dos dados, bem como de outras motivações e limitações.

Contudo, os usuários devem tomar cuidado para não selecionar um número limitado de indicadores e medidas de desempenho, uma vez que podem negligenciar e/ou subestimar objetivos importantes para a sustentabilidade. Diante disso, recomenda-se que essa escolha

seja realizada em conjunto com as partes interessadas, pois torna o processo mais transparente e com maior aceitação pública.

De toda maneira, a seleção de indicadores e medidas de desempenho apropriados é uma etapa de extrema importância no processo de avaliação, pois determinam os esforços para mensuração e seus resultados influenciam os tomadores de decisão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados e informações coletados no caso estudado foi de crucial importância para os resultados obtidos neste capítulo. O processo de planejamento do Rodoanel Mário Covas envolveu o esforço e a participação de equipes multidisciplinares, formadas por inúmeros especialistas renomados, que culminou na elaboração dos estudos analisados na pesquisa. Esses especialistas compõem o quadro funcional de consultorias, instituições de pesquisa e empresas públicas de planejamento urbano e órgãos de controle ambiental, que forneceram um alto nível de qualidade desses estudos.

A complexidade do processo que envolveu a viabilização do projeto do Rodoanel, numa região com elevada dinâmica urbana e sensibilidade socioambiental, como a encontrada na periferia da RMSP onde a rodovia foi inserida, aliado a poucas experiências de rodovia desse porte no Brasil, tornaram esse empreendimento uma fonte rica e singular de informações, cuja sistematização poderá contribuir para a sustentabilidade de futuros projetos de implantação rodoviária.

Por outro lado, as estruturas de avaliação que vêm sendo utilizadas por agências internacionais de transportes consistiram em fontes de dados importantes para os resultados deste trabalho, ao fornecerem medidas de desempenho adicionais às obtidas nos métodos de avaliação do Rodoanel.

A abordagem dada ao planejamento rodoviário foi considerada relevante, pois, além de tratar da matriz de transporte do País, com projeções crescentes de demanda e com potencial de influenciar negativamente os objetivos da sustentabilidade urbana, focou na fase de plane-

jamento, que é uma fase estratégica para a prevenção de impactos e riscos socioambientais significativos e, ainda, ser conduzida de maneira deficiente pelas agências de transporte brasileiras.

A estrutura de avaliação emerge da necessidade de tornar o planejamento de rodovias em regiões metropolitanas mais operacional e mensurável, auxiliar gestores e tomadores de decisão a ampliar suas perspectivas de planejamento, considerando fatores de sustentabilidade de forma mais integrada, uma vez que sistematiza indicadores associados a objetivos e metas estratégicos.

A partir da estrutura sistematizada, o trabalho tem o potencial de contribuir mais especificamente para:

- Promover tomadas de decisões na fase de planejamento de rodovias baseadas nos princípios da sustentabilidade urbana;
- Conectar os princípios da sustentabilidade com ações práticas na implantação de novos empreendimentos rodoviários;
- Auxiliar no desenvolvimento de estudos, políticas, planos, programas e projetos;
- Apoiar a avaliação de alternativas de traçado em nível de projeto e avaliação de impactos socioambientais significativos;
- Auxiliar empreendedores rodoviários na gestão proativa dos impactos urbano-ambientais;
- Ajudar agências de transporte a aplicarem os conceitos de sustentabilidade no planejamento de novas infraestrutura;
- A estruturação de sistemas de dados e informações, possibilitando o desenvolvimento de uma plataforma *web*;
- O desenvolvimento de ferramentas para mensurar a sustentabilidade em infraestrutura de transporte, ajudando os usuários a identificarem lacunas na concepção de novos empreendimentos;
- Melhorar a comunicação com as diversas partes interessadas;
- Incentivar gestores e projetistas a adotarem abordagens mais sustentáveis.

Entende-se que a estrutura conceitual contribui para que agências de transporte, em qualquer nível organizacional, coloquem em prática a sustentabilidade, a partir da sua aplicação (ou adaptação) em seu

planejamento estratégico, considerando cada vez mais a coordenação interinstitucional, a participação pública e demais partes interessadas.

Em função dos potenciais impactos indiretos das rodovias no contexto territorial, os indicadores propostos podem proporcionar as seguintes aplicações práticas:

- Prover uma visualização síntese dos resultados alcançados, da evolução da situação socioeconômica e ambiental das áreas de influência, bem como das influências dos empreendimentos estruturantes e dos projetos e intervenções previstos;
- Medir os impactos, os resultados e o desempenho de ações e processos previstos em Planos Diretores;
- Monitorar e medir o impacto da evolução e dinâmica das realidades econômicas, sociais, urbanas e ambientais da região de interesse;
- Permitir entendimento sobre a estrutura e dinâmica demográfica, destacando os diversos espaços em relação a sua expansão, densidade, grau de urbanização e estratificações sociais;
- Identificar os fluxos metropolitanos abrangendo informações sobre as mobilidades e trocas no interior da região metropolitana e sua relação com os polos metropolitanos existentes.

A estrutura pode ainda auxiliar no desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Tomada de Decisão, baseado nos fundamentos da sustentabilidade, construído em sistema computacional, para auxiliar em tomadas de decisões cada vez mais lógicas na seleção e avaliação de alternativas estratégicas. Para tanto, é necessário avançar em estudos de pesquisas de banco de dados, métodos de simulação e informatização da estrutura.

Além disso, a estrutura pode ser adotada como a base para o desenvolvimento de uma plataforma específica, preferencialmente *web*, que possibilite a inclusão de um banco de dados de indicadores organizados em torno dos vários fatores de planejamento identificados nas diferentes áreas, podendo fornecer informações descritivas, documentação pertinente e legislação envolvida, bem como relatórios de estudos de caso para ilustrar o uso prático de indicadores. Os dados de entrada

necessários para calcular os indicadores podem estar disponíveis ou interligados com banco de dados de outras instituições, integrando-se as bases de dados das instituições envolvidas ou dispor de orientações para levantamento de dados primários. A promoção de um banco de dados único, organizado e o acesso livre às partes interessadas, pode contribuir para a integração interinstitucional.

Outrossim, acredita-se que a criação de uma estrutura adequada de coleta de dados e mensuração pode impulsionar políticas públicas de controle, auxiliar tomadas de decisão e estabelecer os meios de divulgação dos resultados às partes interessadas (internas e externas), fortalecendo os processos democráticos, a transparência e a participação social.

REFERÊNCIAS

- BELLEN, H. M. V. *Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: FGV, 2006. 256 p.
- BRASIL. Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 11 de julho de 2001 e retificado em 17 de julho de 2001.
- BRASIL. *Lei nº 12.587, de janeiro de 2012*. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nºs 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nºs 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12587.htm>. Acesso em: 03 dez. 2018.
- BUENO, P. C.; VASSALLO, J. M.; CHEUNG, K. Sustainability Assessment of Transport Infrastructure Projects: A Review of Existing Tools and Methods. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, v. 35, issue 5, p. 622-649, mai. 2015.

COSTA, M. S. *Mobilidade urbana sustentável: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2003.

DERSA - DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A; FESPSP - FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO. *Avaliação Ambiental Estratégica do Programa Rodoanel*. São Paulo, 2004, 8 v. Relatório técnico.

DEVUYST, D.; HENS, L.; LANNOY, W. D. Introduction to sustainability assessment at the local level. In: DEVUYST, D. (ED). *How green is the city? Sustainability assessment and the management of urban environments*. New York: Columbia University Press; 2001, p. 1-41.

FIDIC - INTERNATIONAL FEDERATION OF CONSULTING ENGINEERS. *State of the World Report 2012*. pp. 1-45. Disponível em: <<http://fidic.org/sites/default/files/sow2012-0822-electronic.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

FURBERG, A.; MOLANDER, S.; WALLBAUM, H. *Literature Review of Practices in Sustainability Assessment of Transport Infrastructures - Identification of Issues and Knowledge Gaps*. Department of Energy and Environment. Division of Environmental System Analysis. Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden, 2014.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

LIM, S. K. *Framework and Processes for Enhancing Sustainability Deliverables in Australian Road Infrastructure Projects*, 2009. 348 p. Tese, School of Urban Development Faculty of Built Environmental and Engineering/Queensland University of Technology, Melbourne, Austrália.

LITMAN, T. *Well Measured: Developing Indicators for Comprehensive and Sustainable Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute - VTPI, 2008. Disponível em: <www.vtpi.org>. Acesso em: 13 abr. 2018.

LITMAN, T. *Well Measured: Developing Indicators for Sustainable and Livable Transport Planning*, Victoria Transport Policy Institute – VTPI, 2016. Disponível em: <www.vtppi.org>. Acesso em: 28 set. 2018.

MARSDEN, G.; KELLY, C.; SNELL, C.; FORRESTER, J. Improved Indicators for Sustainable Transport and Planning, *Draft Deliverable C1*, DISTILLATE project, Institute for Transport Studies and Stockholm Environment Institute – York. 2005. Disponível em: <<http://www.distillate.ac.uk/outputs/Deliverable%20C1%20Indicators%20specification%20v9.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

MME/EPE – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA / EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. (2014). *PDE 2013-2022 - Plano Decenal de Expansão de Energia – Relatório Final*. Rio de Janeiro: EPE.

NESS, B.; URBEL P. E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol. Econ.*, v. 60, p. 498–508, 2006.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Mobilizing Sustainable Transporte for Development. 2016. *Analysis and Policy Recommendations from the United Nations Secretary-General's High-Level Advisory Group on Sustainable Transport*. Disponível em: <<https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/mobilizando-o-transporte-sustentavel-pelo-desenvol.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável: transformar nosso mundo*. Nova Iorque, 2015. Disponível em: <www.nr.undp.org/...agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf> Acesso em: 25 set. 2018.

PNT - POLÍTICA NACIONAL DE TRANSPORTES: *Caderno das Estratégias Governamentais / Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil*. Brasília: MTPA, 2018. 1 v.: grafs., II.

RAMANI, T.; POTTER, J.; DEFLORIO, J.; ZIETSMAN, J.; REEDER, V. *A Guidebook for Sustainability Performance Measurement for Transportation Agencies*. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. Washington, D.C., 2011a, 191p. Disponível em: <http://nap.edu/14598>. Acesso em: 13 de jul. de 2018.

RAMANI, T. L.; ZIETSMAN, J.; GUDMUNDSSON, H.; HALL, R. P.; MARSDEN, G. Framework for Sustainability Assessment by Transportation Agencies. *Transportation Research Record*, v. 2242, p. 9-18, jan. 2011b.

RAMANI, T. L.; ZIETSMAN, J.; KNOWLES, W. E.; QUADRIFOGLIO, L. Sustainability enhancement tool for state departments of transportation using performance measurement. *Journal of Transportation Engineering*, v. 137, issue 6, jun., 2011c. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000255](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000255)>. Acesso em: 30 jul. 2018.

VTPI - VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (2005), Online TDM Encyclopedia, VTPI. Disponível em: <www.vtpi.org>. Acesso em: 13 ago. 2018.

ZIETSMAN, J.; RAMANI, T. *Sustainability Performance Measures for State DOTs and Other Transportation Agencies*. Final Report. Texas Transportation Institute. The Texas A&M University System College Station, Texas, 2011.

3 Poluição sonora na saúde ambiental e sua questão no planejamento urbano

Maykon Ivan Palma
Paulo Cesar Xavier Pereira

INTRODUÇÃO

O Brasil possui cerca de 84% da população vivendo em área urbana, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), propensa a compartilhar de um ambiente agitado e ruidoso. A problemática ambiental da poluição sonora, característica de ambientes urbanos, é hoje, depois da poluição do ar, a que tem afetado o maior número de pessoas. Por esse sentido, as questões de saúde ambiental com foco nos problemas de ruídos advindos de rodovias, ruas e avenidas arteriais e coletoras, ganham importância nas discussões sobre saúde pública e ambiente urbano.

Após a Conferência de Estocolmo, em 1972, os problemas que atingem a saúde e o bem-estar do homem também passaram a ser reconhecidos como problemas ambientais. Desde então, com o aumento da população urbana e das atividades ruidosas nas cidades, como a indústria, a construção civil, o tráfego de automóveis e o tráfego aéreo, as pesquisas sobre a poluição sonora vêm aumentando. Antes, os estudos acadêmicos limitavam-se a pesquisar os problemas diretos que o ruído causava à saúde do trabalhador.

Estudos da *World Health Organization* (WHO, 1999) definiram que é prejudicial à saúde todo ruído acima de 50 decibéis (dB (A)), no período diurno, momento em que o organismo humano começa a sofrer alterações moderadas pelo ruído. A Norma Brasileira NBR 10.151 de

2003, que trata do conforto acústico, assim como o Plano Diretor do Município de São Paulo são mais permissivos, estabelecendo os limites máximo de 65 (dB (A)), considerando as áreas mistas, no período diurno.

Em 2002, a Comunidade Europeia estabeleceu a Diretiva 2002/49/CE, destacando a importância do planejamento e da elaboração dos mapas de ruído para cidades com mais de 250 mil habitantes, ou que possuam grandes eixos rodoviários e ferroviários ou grandes aeroportos, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente.

Com a finalidade de elucidar a questão que envolve o trânsito nas grandes cidades e a exposição ao ruído decorrente, considerando a aplicação de novos instrumentos de planejamento urbano, como os mapas de ruído, o estudo que embasa este capítulo se utilizou de ferramentas gratuitas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), de dados geoespaciais de trânsito da Companhia de Engenharia de Tráfego (CET) e de ônibus da Secretaria Municipal de Mobilidade e Transporte (SPTrans), produzidos pela Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP). O objetivo é apresentar uma avaliação da poluição sonora de veículos automotores, utilizando o mapa de ruído, com vista ao planejamento e a gestão do ruído urbano, por meio de previsões em diferentes cenários. Os resultados permitiram uma análise crítica da situação encontrada ao longo de uma via de trânsito rápido no município de São Paulo e da situação pretendida pela recém-aprovada Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS). Nesse contexto, este capítulo está estruturado em três partes: i) a conceituação de som e ruído e uma discussão sobre a poluição sonora e seus efeitos na saúde; ii) a apresentação dos mapas de ruído como instrumento de planejamento urbano; e iii) as medidas mitigadoras para a questão do ruído no ambiente urbano.

As prefeituras municipais têm utilizado ferramentas de SIG na gestão de questões urbanas. No caso da PMSP, o mapeamento digital das vias, edificações, altimetrias, quadras, lotes, uso do solo, saúde, educação e muitos outros temas estão disponíveis com livre acesso no portal eletrônico GeoSampa. Por outro lado, a CET estima a quantidade de veículos nas principais vias da capital e armazena estes dados geoespaciais no *software* canadense EMME-2. A utilização desses dados, em especial dos valores médios dos tráfegos das vias no horário de pico

da manhã, velocidade e capacidade de fluxo, associados aos dados de ônibus da SPTrans, permite a realização da relação do tráfego de veículos e os níveis de ruídos nos receptores sensíveis, como escolas, hospitais, residências e novas áreas residenciais definidas pelo novo zoneamento municipal.

Na aplicação do *software* SIG, QGIS, com a ferramenta OpeNoise, são aceitos 10 tipos de entrada de dados espaciais: número de veículos/hora, número de veículos pesados/hora, velocidade de veículos leves, velocidade de veículos pesados, tipo de fluxo, tipo de pavimento, obstáculos, declividade, umidade e temperatura. Após a inserção dos dados no *software*, é realizado o cálculo geoespacial, considerando os diversos caminhos das fontes de ruído aos receptores. Ao passo que a ferramenta OpeNoise adota métodos computacionais internacionais para realização do cálculo geoespacial, conforme descrito pela *Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale* (ARPA). Segundo QGIS (2014, tradução nossa):

O cálculo se baseia no método de cálculo computacional Francês NMPB-Routes-96, conforme indicado na DIRETIVA 2002/49/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

Porém o *plugin* OpeNoise apresenta limitações, pois modela a dispersão do ruído em superfícies em 2D (bidimensional) ¹, considerando a distância entre a fonte de ruído linear e os pontos receptores. O cálculo é realizado a 4 metros da superfície. São consideradas difrações do som de 1º ordem. E por fim, o tipo de superfície geomodelada é somente a plana, portanto, sua utilização é limitada, não recomendada para projetos específicos que exigem precisão.

Segundo Didac (2016), que realizou estudo de validação e comparação do *plugin* OpeNoise, com o software proprietário Predictor-LimA, o OpeNoise retornou uma correlação de confiabilidade de $R=0,86$,

¹ Conforme explicado por Murgel (2007, p. 111), em um ambiente simulado em uma avenida hipotética, se no térreo um ruído chega a $Leq\ 72,3\ dB(A)$, no 3º andar o Leq atinge $71,0\ dB(A)$.

enquanto que para o Predictor-LimA, o resultado foi $R=0,97$, ou seja, o *plugin* OpeNoise não é tão preciso quanto o software proprietário Predictor-LimA.

Por outro lado, os dados da CET são também limitados. Só contemplam um período do dia; não há dados para o período noturno. Como a CET não considera os caminhões em vias cujo tráfego de veículos pesados não é permitido em horários de pico da manhã, não leva em conta que, apesar da restrição, há veículos isentos e os que trafegam irregularmente, que deveriam ser considerados.

Dados reais de campo possuem mais variáveis, como o trânsito de motocicletas, que não constam nos dados do EMME-2, e as rotas de helicópteros existentes na Marginal Tietê, por conta da proximidade com o Aeroporto de Campo de Marte.

A predição do ruído proposta no estudo que embasa este capítulo visou avaliar as medidas mitigadoras possíveis para a poluição sonora, ao longo da Marginal Tietê. Deste modo, foram realizadas simulações com três cenários que levam em consideração diferentes tipos de pavimentos e velocidades.

Este capítulo é um desdobramento da dissertação de mestrado de título "O mapa de ruído como instrumento de planejamento: o caso da poluição sonora causada pelos automóveis no município de São Paulo".

SOM, RUÍDO E CONFORTO ACÚSTICO

Segundo Murgel (2007), som é a oscilação da pressão do ar, ou de outro meio elástico capaz de ser percebido pelo ser humano. O número de oscilações da pressão do ar por unidade de tempo define a frequência do som, enquanto que a magnitude da pressão define a potência e a intensidade sonora.

A frequência, número de ciclos (pulsos) em um determinado intervalo de tempo, é expressa em Hertz ou Hz (ciclos/segundo). São audíveis pelo ser humano somente as frequências entre 20 Hz e 20kHz, ou seja, de 20 vibrações por segundo até 20 mil vibrações por segundo que indicam a tonalidade do som (MURGEL, 2007).

A depender da frequência do som, a propagação se dá de forma diferente, por exemplo, o som de alta frequência (agudo) dispersa em

poucos metros, enquanto o de baixa frequência (grave) tem maior efeito de propagação, difração e refração.

A pressão sonora é a emissão por uma fonte de ruído, que chega ao ouvido e é expressa em Pascal ou Pa (newtons/m²), enquanto a potência sonora é a energia emitida pela fonte sonora, expressa em Watt ou W (Joules/s).

A intensidade sonora é a potência sonora recebida por unidade de área de uma superfície, expressa em watt/m². Como exemplo, cita-se que o fone de ouvido de um aparelho sonoro pode chegar a 90 dB, quando utilizado de maneira exacerbada, no entanto não significa que o aparelho tem uma potência sonora ou intensidade sonora alta. Pressão, potência e intensidade do som cobrem uma faixa muito ampla.

Para expressar o campo de variação do som, foi criada a escala logarítmica decibel (dB), dentro da qual se deve levar em consideração algumas definições:

- L_{Aeq} : Nível de pressão sonora equivalente obtido a partir do valor médio da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo o intervalo de medição;
- L_{RA} : Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, considerando a ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão; e
- NCA: Nível de Conforto Acústico (máximo admitido pela NBR 10.151:2003).

Como o dB é uma escala logarítmica, toda vez que se dobra a potência sonora em um ambiente, aumenta-se 3 dB. Hipoteticamente, em obra que se pretende duplicar uma rodovia, com o objetivo de dobrar a capacidade de fluxo dos veículos, se o ruído correspondesse a 70 dB na situação anterior a duplicação, passaria para 73 dB depois de duplicado, ou seja, um aumento de 3 dB. No entanto, quanto à percepção, Zajarkiewicz (2010, p. 23) cita o médico otorrinolaringologista Ektor Onishi, coordenador da Campanha Nacional de Saúde Auditiva no Brasil, que afirma que o volume de som e seu impacto sobre o organismo dobra a cada cinco decibéis.

Todo ruído é um som, entretanto, considera-se ruído tudo aquilo que não se quer ouvir, ou seja, um som indesejável. Murgel (2007, p. 35)

explica que em “*termos físicos, ruído é uma superposição de numerosas vibrações de frequências diversas, não harmônicas entre si*”. Porém, ruído também está relacionado à percepção. Boubezari e Bento Coelho (2005, *apud* Holtz, 2012, p. 44) afirmam que os “*arquitetos são conhecidos por intuitivamente preferir formas significativas no espaço a valores expressos em decibéis*”. Com essa afirmação, os autores fazem uma análise crítica sobre os modelos tradicionais de estudos e de medições de ruídos, que somam os decibéis de todas as fontes e tratam a paisagem sonora como desagradável. Contudo, existem paisagens sonoras agradáveis, como o som dos pássaros, da fonte de água, ou mesmo das crianças brincando.

O assunto sobre o que é som agradável e o que é ruído é controverso. Axelsson, Nilsson e Berglund (2010) consideram que todo som da natureza e das interações humanas não são ruídos, são sons agradáveis. Nesse mesmo entendimento, a Prefeitura de Campo Grande, MS, havia flexibilizado os horários e parâmetros para músicas e sons de Igreja na Lei do Silêncio, afirmando que não se enquadravam como fonte de poluição sonora² e sim como arte e cultura, e, portanto, não havia de se aplicar os mesmos parâmetros definidos nas Resoluções do Conama que tratam de poluição sonora. A discussão chegou ao Tribunal de Justiça por meio de contestação do Ministério Público de Mato Grosso do Sul e as mudanças na lei do Silêncio foram derrotadas.

Em suma, a poluição sonora é caracterizada pela emissão de barulhos desagradáveis provocados pela soma dos ruídos. No ambiente urbano, devido à variedade de atividades ruidosas que se realizam nas cidades, somadas ao tráfego de veículos, a poluição sonora passou a ser considerada uma poluição ambiental.

Este capítulo focará apenas a poluição sonora provocada pelo tráfego de automóveis, que, além dos estudos de Ising e Braum (2000), Babisch (2002 *apud* WHO, 2009), Murgel (2007), também é considerado

² Notícia publicada no JusBrasil, sob o título “Declarada inconstitucionalidade de normas municipais sobre poluição sonora”, publicada em 3 de abril de 2018. Disponível em: <https://tj-ms.jusbrasil.com.br/noticias/561692463/declarada-inconstitucionalidade-de-normas-municipais-sobre-poluicao-sonora?ref=topic_feed>, Acesso em: 5 abr. 2018.

pela escala de Axelsson, Nilsson e Berglund (2010) como um ruído tecnológico desagradável.

No ruído do tráfego de veículos automotores, quatro fatores associados são determinantes: i) motor e o sistema de transmissão; ii) contato pneu pavimento; iii) aerodinâmico; e iv) de carrocerias quando o pavimento é irregular.

Hanson e James (2004 *apud* CABRAL et al. 2014) apresentam três principais constituintes do ruído veicular (Figura 1). Observa-se que o ruído do contato do pneu com o pavimento se destaca no ruído total, sendo a principal fonte de ruído veicular.

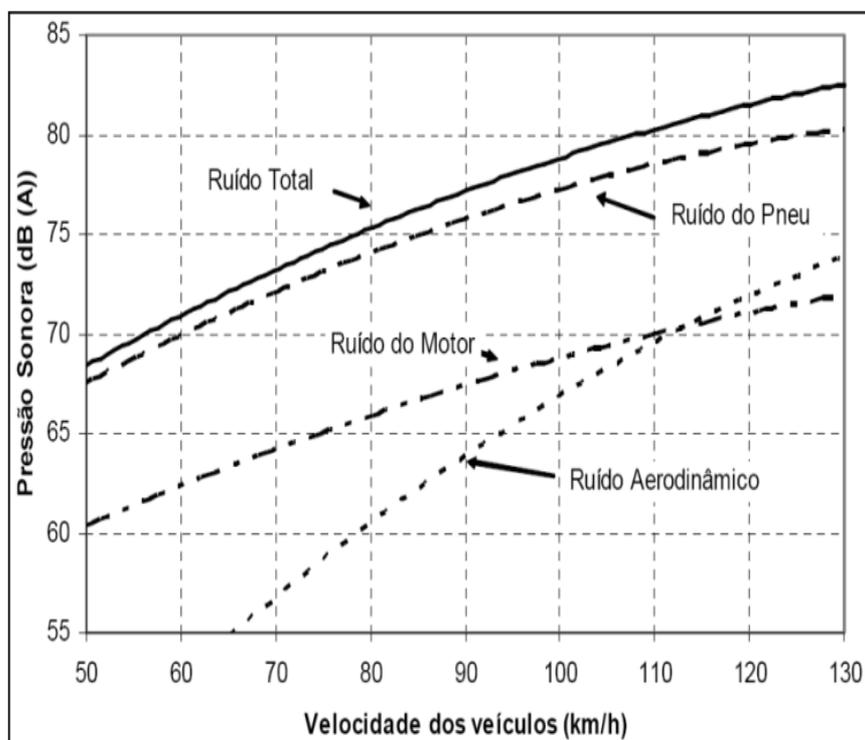


Figura 1 - Ruído de tráfego estratificado por suas fontes constituintes

Fonte: Hanson e James (2004 *apud* CABRAL et al., 2014)

Dentre as três principais fontes de ruído do automóvel, o ruído aerodinâmico é o que atinge maiores proporções à medida que a velocidade aumenta, seguido pelo ruído do pneu e do motor. Hanson e James (2004 *apud* CABRAL et al. 2014) concluem que o atrito gerado na interface pneu-pavimento³ supera os demais quando são praticadas velocidades acima de 40 km/h, daí a importância do tipo de pavimento e velocidade da via, que serão discutidos neste capítulo.

POLUIÇÃO SONORA E OS EFEITOS NA SAÚDE

Os efeitos do ruído podem ser distinguidos em auditivo e extra auditivos. O primeiro relaciona-se à perda auditiva induzida por ruído (PAIR). A medicina laboral está mais atenta a este efeito e os estudos comprovam que exposições por longo período por ruídos acima de 85 dB (A) provocam perdas auditivas sérias.

Este capítulo contempla os efeitos extra-auditivos provocados pelo ruído. No caso estudado, o ruído equivalente medido e simulado ao longo na Marginal Tietê não ultrapassaram 82 dB (A) no ambiente externo das residências, escolas e hospitais.

Pesquisas sobre a poluição sonora como poluição ambiental e seus efeitos extra-auditivos foram iniciadas décadas atrás, e no início referenciavam apenas estudos de medicina laboral. Em 1978, a *Environmental Protection Agency* (EPA) publicou o documento *Noise: A Health Problem*. Naquele momento, já se discutia a necessidade de estabelecer umnexo causal da poluição sonora com uma série de doenças (USEPA, 1978, p. 6 - tradução nossa):

Embora ainda não se tenha mostrado que o ruído cause dano mensurável ao coração, crescem a evidências que sugerem uma forte ligação entre a exposição ao ruído e o desenvolvimento e agravamento de uma série de doenças cardíacas. A explicação? O ruído provoca estresse e o corpo reage com o aumento da adrenalina, alterações na frequência cardíaca e pressão arterial elevada.

³ Há pesquisas das indústrias de pneumáticos quanto à aderência, frenagem, conforto e durabilidade, porém, ao longo das décadas, as indústrias pouco se preocuparam quanto aos ruídos que estes pneumáticos emitem (SANDBERG; EJSMONT, 2002 *apud* SILVA, 2011).

Nesse documento foi relatado ainda como ocorreu a pesquisa do nexo causal em laboratórios (USEPA, 1978, p. 6 - tradução nossa):

Alguns testes de laboratório produziram mudanças físicas observáveis. Em um exemplo, coelhos expostos por 10 semanas aos níveis de ruído, comuns às indústrias muito barulhentas, desenvolveram um nível muito mais alto de colesterol no sangue do que coelhos não expostos, sendo que ambos os grupos tiveram a mesma dieta.

Como se sabe, o sentido do ouvido humano está sempre em funcionamento, mesmo quando se está dormindo. Sendo assim, Murgel (2007) explica que a exposição ao ruído deixa o organismo em estado de alerta, pronto para uma reação imediata, com isto o sistema neuropsíquico produz substâncias constantes como adrenalina e noradrenalina, além de efeitos fisiológicos como aumento da secreção salivar, dilatação pupilar, brusca contração muscular e aumento das secreções suprarrenais.

Um estudo conduzido por Ising e Braun (2000), quanto à produção de adrenalina e de noradrenalina, envolveu 18 pessoas do sexo masculino expostas a três classes de ruídos diferentes. Quando expostos a ruídos não habituais da ordem de 60 dB(A) tiveram um aumento de 11% na produção de noradrenalina e 20% na produção de adrenalina em relação a um grupo controle que tiveram exposições ao ruído menores que 50 dB(A). Para exposição ao ruído habitual de trânsito de veículos, da ordem de 75 dB(A), o aumento foi de 21% de noradrenalina e de 7% de adrenalina em relação ao mesmo grupo controle. No comparativo dos grupos, embora o ruído habitual do trânsito fosse maior no teste (Leq 75 dB(A)), do que no ruído não habitual (60 dB(A)), o grupo do ruído não habitual indicou maior aumento dessas secreções suprarrenais. Os autores concluíram que além do aumento das secreções de noradrenalina e adrenalina, há aumento do cortisol provocado pelo estresse. Esse aumento torna-se crônico na exposição noturna, inclusive na exposição ao ruído de tráfego de veículos.

Portanto, após um longo período em estado de alerta com a liberação de adrenalina, noradrenalina e cortisol, o corpo humano passa para um estado de fadiga, levando ao estresse (MURGEL, 2007). Assim, a população lindeira a um eixo viário rápido, coletor ou arterial, exposta ao ruído de trânsito de veículos, está sujeita a doenças endócrinas.

Segundo Botteldooren et al. (2011, p. 3 - tradução nossa) o "ser humano pode suportar altos níveis de estresse - causado por extensa exposição ao ruído - por curtos períodos, desde que esses períodos sejam interrompidos por momentos de restauração". Os autores afirmam ainda que não somente a ausência de ruídos permite momentos de restaurações, mas sim exposições à sons agradáveis. No entanto, quem reside próximo a uma via de trânsito intenso, geralmente não tem oportunidade de vivenciar esses momentos de restaurações.

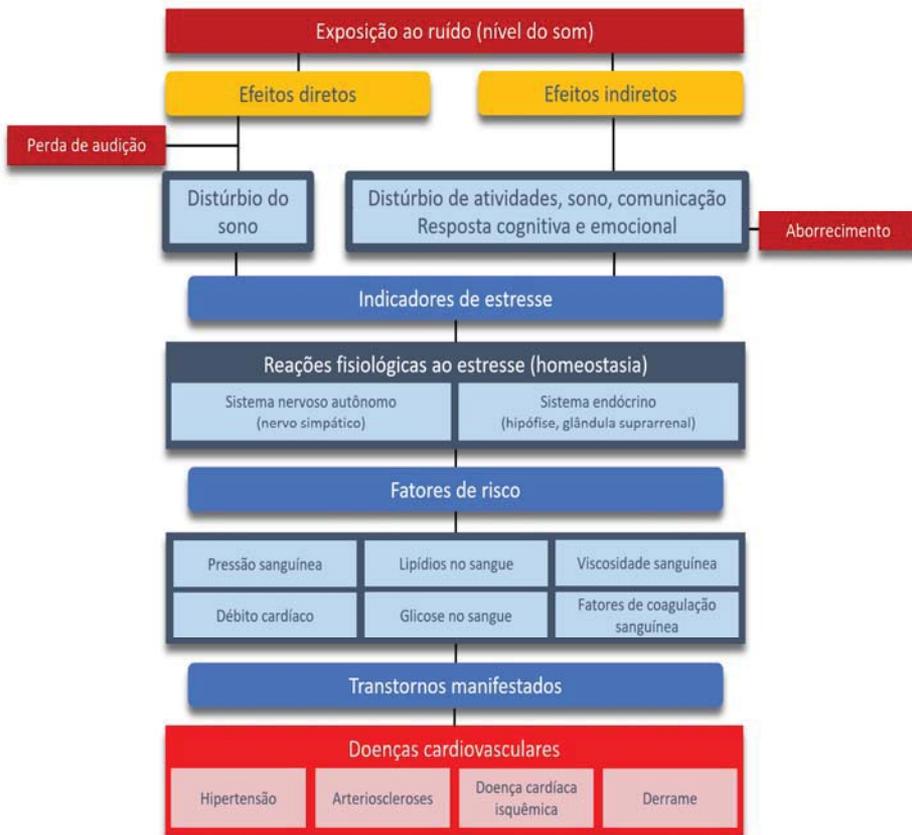


Figura 2 - Esquema de reação dos efeitos do ruído
Fonte: Babisch (2002, *apud* WHO, 2009, p. 62 - tradução nossa)

No mesmo sentido, pesquisa realizada por Babisch (2002, *apud* WHO, 2009), em Berlim na Alemanha, indicou aumento de 20% da incidência de infarto do miocárdio em regiões onde o nível médio de ruídos se mantinha acima de 70 dB (A). Além disso, exposições continuadas na ordem dos 85 dB (A) são suficientes para causar danos irreversíveis à audição. O autor divide as consequências à saúde pela poluição sonora em dois segmentos: diretamente expostos e indiretamente expostos; ambos levando aos indicadores de estresse, fatores de riscos e às manifestações negativas fisiológicas (Figura 2).

Pelo esquema, nota-se que o ruído afeta diretamente a comunicação, a concentração e o sono. No caso de exposição crônica, prevalece a incidência de doenças cardiovasculares, incluindo hipertensão, doenças isquêmicas e acidente vascular cerebral (AVC).

Em estudo mais recente, Babisch (2014, p. 1 - tradução nossa) relata que:

(...) a evidência da associação aumentou durante a última década. Estudos sobre as associações entre o ruído do trânsito e o risco de doenças coronarianas mostram um aumento significativo do risco com o aumento do nível de ruído.

Em geral, uma comunidade reage negativamente a uma fonte sonora a partir de 65 dB (A), quando surgem raras reclamações, porém tornam-se generalizadas quando o nível de ruído atinge 75 dB (A) e a poluição sonora torna-se inaceitável a partir dos 80 dB (A) (MURGEL, 2007).

Com base em anos de pesquisa, a WHO (1999) recomenda o valor limite de 50 dB (A) para o dia e 40 dB (A) para a noite considerando a exposição a ruído da população urbana sem que essa exposição cause danos à saúde. O nível de critério de avaliação (NCA) proposto na norma técnica NBR 10.151/2003 parte de 50 dB (A) durante o dia e 45 dB(A) durante a noite, no ambiente urbano. Cabe lembrar que os valores recomendados são para ambientes externos às habitações.

Quanto aos efeitos no sono, segundo Pimentel-Souza (1992, p. 1) o *“ruído é um dos sincronizadores ou perturbadores do ritmo do sono mais importantes. Distúrbios do ritmo do sono produzem sérios efeitos na saúde mental”*. Além dos efeitos psicológicos provocados pelos distúrbios do sono, o ruído tem influências nas condições de aprendizado. O autor

lembra que a qualidade do sono e os sonos profundos são os responsáveis por efeitos psicológicos, intelectuais, de memória, humor e de aprendizagem.

Vallet et al. (1975a e b), Friedmann e Chapon et al. (1972) *apud* Pimentel-Souza (1992) encontraram uma redução média de 35% na parte mais nobre do sono, correspondendo aos estágios profundos e paradoxal, em pessoas que viviam há vários anos próximos a rodovias, expostas a ruídos equivalentes de 77 dB(A), externos à habitação (JOUVET, 1977; DE KONINCK et al., 1989). Considerando a capacidade do sono profundo em recuperar o corpo humano, tanto psicologicamente como fisicamente, prejuízos ao sono “diminuem a capacidade das funções superiores do cérebro, condenando suas vítimas a cidadãos de segunda classe” (PIMENTEL-SOUZA, 1990 *apud* PIMENTEL-SOUZA, 1992, p. 1-2).

Logo, verifica-se que a poluição sonora pode desencadear uma série de doenças psicossomáticas, além de prejudicar o bem-estar social e gerar aborrecimentos e estresse. No ranking da WHO (2011) sobre os estressores ambientais causadores de danos à saúde a poluição sonora ocupa o segundo lugar.

Portanto, a poluição sonora deve ser considerada como um problema de saúde pública e suas causas e consequências merecem maior destaque nas discussões públicas.

MAPAS DE RUÍDO COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO URBANO

O mapa de ruído tem a finalidade de representar espacialmente os níveis de ruído do ambiente, nos espaços abertos da cidade, e serve de base de informação para a população e para subsidiar tomada de decisão dos gestores urbanos.

Em 2002, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia instituíram a Diretiva nº 2002/49/CE, que trata da avaliação de gestão do ruído ambiente. Dentre as premissas desta diretiva, destaca-se a obrigatoriedade dos mapas de ruídos, estabelecendo que:

(...) a elaboração de mapas de ruído estratégico deverá ser tornada obrigatória em determinadas zonas de interesse, dado que permite a

captação dos dados necessários para fornecer uma representação dos níveis de ruído perceptíveis nessa zona (EUROPEAN UNION, 2002, p. 2).

Essa diretiva exige o mapa de ruído para aglomerações urbanas superiores a 250 mil habitantes, em locais com eixos rodoviários ou ferroviários e grandes aeroportos.

Desde a Diretiva nº 2002/49/CE, a *European Environmental Agency* (EEA) apresenta, a cada cinco anos, o *Annual Indicator Report Series*, sendo o último publicado em 2017, com dados de 2012. Esse relatório estima que das 100 milhões de pessoas expostas ao ruído na União Europeia, 81% correspondem ao ruído advindo do tráfego de automóveis (EEA, 2017), entre as fontes apresentadas na Figura 3.

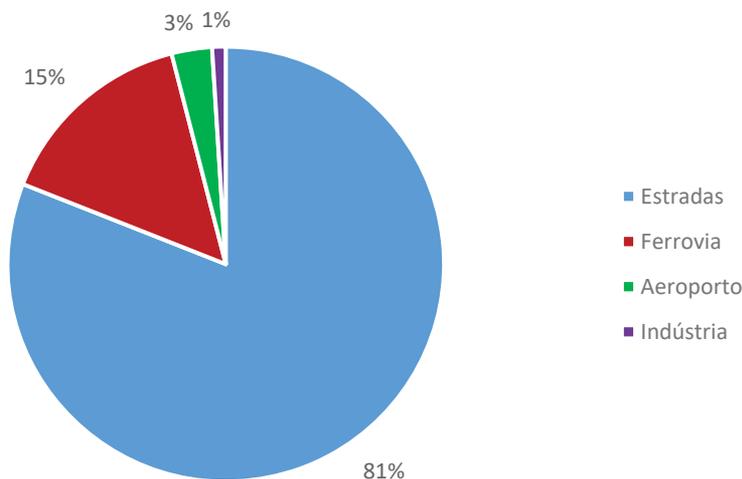


Figura 3 - Participação das fontes de ruído na EU e a porcentagem estimada de pessoas expostas aos níveis de ruído acima de $L_{den} \geq 55$ dB
Fonte: EEA (2017)

Os resultados das tomadas de decisões para o controle de exposição ao ruído, publicados no relatório da EEA informam que:

Grupos de ações referentes ao uso do solo e ao planejamento urbano são os predominantes. Esse tipo de ação é representado por 23% de todos os planos de ação relacionados às aglomerações urbanas. Seguindo por medidas relacionadas ao gerenciamento de tráfego (20%) e outras (17%), este último inclui medidas relacionadas ao aumento da conscientização pública, evitando a geração de tráfego adicional e promovendo o transporte público, e incentivando o ciclismo e a caminhada (EEA, 2014, p. 47, tradução nossa)

No município de São Paulo, o mapa de ruído como instrumento do planejamento urbano foi inserido pelo legislador na pauta de elaboração da Lei nº 16.050/2014, que trata do Plano Diretor Estratégico do Município, no entanto, essa proposta foi vetada pelo executivo sob a alegação de que o mapa de ruído, por sua própria natureza, é dinâmico e mutável.

Para efeito de comparação e com o intuito de mostrar como outros países e cidades tratam do assunto da poluição sonora e do planejamento urbano, segue um breve relato da legislação de Portugal e do município de Fortaleza.

Em Portugal, em consonância com a Diretiva nº 2002/49/CE (EUROPEAN UNION, 2002), foi aprovado o Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei nº 9/2007), o qual define que a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) auxiliará os municípios na elaboração de mapas de ruído e planos de redução de ruído. Para tanto, a APA publicou o Manual técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído (PMRR), de autoria de Carvalho e Rocha (2008). Nesse manual, são definidas diretrizes para o cumprimento da lei portuguesa e da diretiva da união europeia, possuindo caráter misto, regulamentador e programático (CARVALHO; ROCHA, 2008).

Segundo o Decreto-Lei nº 9/2007, os municípios portugueses com mais de 100.000 habitantes ou densidade populacional de 2.500 hab/km² ou superior estão sujeitos à elaboração do mapa de ruído e da carta de classificação de zonas. Além disso o manual também atribui responsabilidades aos municípios quanto aos planos de redução de ruídos. Quanto à poluição sonora oriunda dos veículos automotores, as responsabilidades são distinguidas em dois modos: i) para as intervenções novas, as ações de redução do ruído devem ser consideradas no licenciamento ambiental (Decreto-Lei nº 9/2007); e ii) quanto às áreas

ruidosas devido ao viário existente, nas quais o município permitiu adensamento populacional, a atribuição fica sob a responsabilidade das câmaras municipais (CARVALHO; ROCHA, 2008).

Nesse quesito do viário existente, o manual destaca que, conforme Carvalho e Rocha (2008, p. 41):

(...) como seja o caso de uma reorganização do espaço urbano levada a cabo pelo município, originando situações de zonas sensíveis na proximidade de infraestruturas de transportes existentes ou programadas, que subitamente passam a originar situações de conflito. Da mesma forma, não devem autorizar a urbanização de zonas ruidosas, que já se sabe de início que causará sobreexposição do ruído.

Ou seja, o manual coíbe situações de urbanização de zonas sensíveis próximos a eixos de transportes ruidosos, como rodovias e ferrovias, atribuindo a responsabilidade da redução de ruído às Câmaras Municipais, nos casos em que sejam verificadas ocorrências de receptores sensíveis próximos a estes eixos. No Brasil ainda não existe legislação similar.

Assim, tanto o Decreto-Lei nº 9/2007 como o Manual técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído destacam a importância do planejamento urbano no combate da poluição sonora.

No Brasil, a cidade de Fortaleza foi a primeira capital estadual a elaborar um mapa de ruído. Os trabalhos foram iniciados em 2010 e concluídos em 2013. Segundo a Prefeitura de Fortaleza (2016):

(...) informações constantes nas Cartas de Ruído permitirão a integração da informação acústica no Plano Diretor Municipal de Fortaleza e servirão de base a decisões sobre as estratégias de intervenção ou, mesmo, sobre políticas legislativas para redução da poluição sonora.

Além da experiência relatada em Portugal e Fortaleza, Murgel (2007) explica de forma concisa que, reconhecendo o ruído no ambiente, o mesmo pode ser planejado de modo que sejam separadas fisicamente as fontes dos pontos receptores, interpondo áreas mistas entre zonas muito ruidosas com áreas residenciais. Segue um resumo do que o autor exemplifica:

- i. áreas ruidosas: podem ser ocupadas para atividades industriais; recreacionais (casas noturnas); atividade comerciais maiores como grandes supermercados e shopping centers;
- ii. áreas com baixo nível de ruído: ocupadas para o comércio local, como padarias, farmácias, pequenas lojas; e,
- iii. áreas não ruidosas: residências e escolas, porém, devem ser separadas as residências das escolas com áreas verdes.

Marcelo Nogueira, gerente de qualidade da Rossi Residencial, ao comentar os desafios da norma técnica sobre desempenho de edificações habitacionais (NBR 15.575/2013), diz que a aplicação dos mapas de ruído traz benefícios setoriais, por exemplo, para as construtoras, pois

(...) auxiliam no dimensionamento da fachada em suas diversas faces e nos pavimentos. Em determinados casos, a rotação da torre ou a mudança de posição do caixilho auxiliam na melhoria do conforto acústico dos dormitórios⁴.

Por fim, cabe destacar a importância de como o assunto tem evoluído nas normas técnicas, no país. A NBR 10.151/2003 está passando por revisão, e trará novo tópico: “*orientação ao planejamento urbano de uso e ocupação do solo para efeito de controle da poluição sonora*” (CBI, 2017). Isto permitirá padronizar os métodos com que as cidades desenvolverão seus mapas oficiais de ruídos, auxiliando, desta forma, no planejamento urbano.

Em suma, Vianna (2014, p. 120) afirma que os “*mapas de ruído permitem a observação da dispersão do ruído, desde sua fonte e em todos os pontos desejados, em função de sua escala de cores*”. Portanto, auxilia na tomada de decisão dos técnicos do licenciamento ambiental, dos planejadores urbanos e construtoras, ao se identificar as fontes e áreas expostas ao ruído, se configurando como um instrumento de informação, do controle, da gestão do tráfego urbano, e do planejamento urbano.

⁴ Matéria publicada na edição de outubro de 2015 da Revista Construção Mercado “Falta de mapas acústicos públicos cria insegurança jurídica para incorporadores”. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/>> Acesso em: 10 maio 2016.

MEDIDAS MITIGADORAS DO RUÍDO

No estudo realizado sobre simulação do ruído, o local escolhido para coleta das amostras foi a Macroárea de Estruturação Metropolitana – Arco Tietê, que abrange a Via Marginal Tietê, no trecho compreendido entre a Rodovia Anhanguera e a Av. Salim Farah Maluf e seu entorno. Para as simulações, foram selecionados 17 pontos nessa área com grande tráfego de veículos, os quais foram amostrados com receptores sensíveis. Os critérios de seleção foram: i) a intensidade de tráfego diário de veículos; ii) a existência de Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS), com habitações variadas de classes de baixo e de médio padrão e com equipamentos públicos; e iii) o potencial de adensamento urbano residencial definido pelo Plano Diretor (2014).

A análise da simulação do ruído foi realizada em três cenários diferentes, utilizando-se ferramentas de SIG e os dados de trânsito da CET e da SPTrans. Foram desconsideradas as simulações com velocidade média, pois o objetivo é avaliar a redução da velocidade máxima. Os cenários consideraram dois momentos diferentes, classificados como “atual” e com “redução de velocidade”, assim como as variáveis velocidade máxima e tipo de pavimento, conforme apresentados na Tabela 1.

As simulações dos diferentes cenários foram estendidas aos receptores sensíveis, localizados ao longo da Marginal Tietê, dentro do Arco Tietê, conforme Figura 4, para as quais se obteve os resultados comparativos apresentados na Tabela 2.

Tabela 1 – Características dos cenários simulados

| Cenário | Predição | Velocidade | Pavimento |
|---------|----------|---|--|
| 1 | Atual | Na Marginal: Máxima de 50 e 60 km/h (local), 70 km/h (central) e 90 km/h (expressa), 60 e 50 km/h para vias arteriais e coletoras e 40 km/h para as locais. | Convencional (<i>smooth</i>) para vias arteriais e coletoras; e rugoso para as vias locais |

(continua...)

Tabela 1 - Características dos cenários simulados

(...continuação)

| | | | |
|---|-----------------------|--|--|
| 2 | Redução de velocidade | Na Marginal: Máxima de 50 km/h (local), 60 km/h (central) e 70 (expressa), 50 km/h para vias arteriais e coletoras e 30 km/h para as locais. Nas demais vias: 100 km/h para 80 km/h, 90 km/h para 70 km/h e 60 km/h para 50 km/h. | Convencional (<i>smooth</i>) para vias arteriais e coletoras; e rugoso para as vias locais |
| 3 | Redução de velocidade | Na Marginal: Máxima de 50 km/h (local), 60 km/h (central) e 70 (expressa), 50 km/h para vias arteriais e coletoras e 30 km/h para as locais. Nas demais vias: 100 km/h para 80 km/h, 90 km/h para 70 km/h e 60 km/h para 50 km/h. | Silencioso (<i>porous</i>) e poroso para as vias locais |

Fonte: Palma (2018)

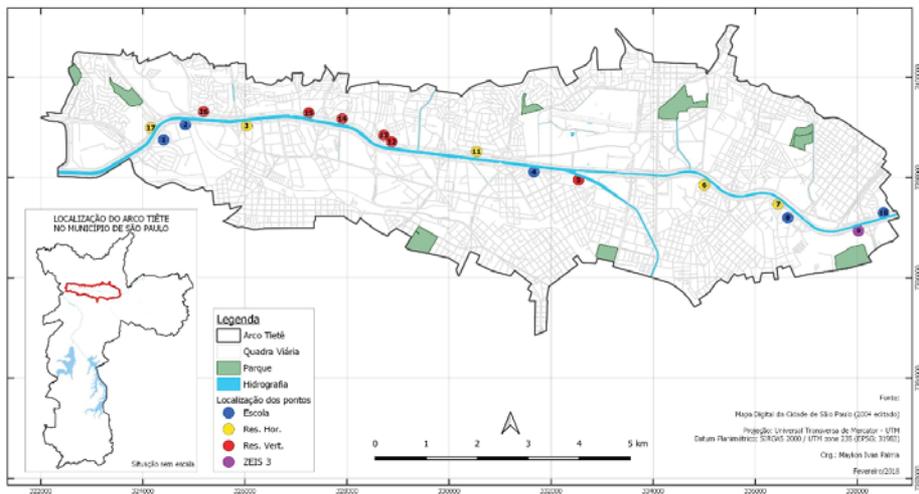


Figura 4 - Localização dos receptores sensíveis ao longo da Marginal Tietê

Fonte: Palma (2018)

Tabela 2 - Resultados da simulação de cenários, para os receptores sensíveis ao longo da Marginal Tietê

| Ponto | Local | Cenário 1 dB(A) | Cenário 2 dB(A) | Cenário 3 dB(A) |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Escola | 50,5 | 50,4 | 49,4 |
| 2 | Escola | 77,4 | 75,8 | 74,6 |
| 3 | Res. Hor. | 77,6 | 76,1 | 74,8 |
| 4 | Escola | 78,2 | 76,5 | 75,1 |
| 5 | Res. Vert. | 73,7 | 71,9 | 70,2 |
| 6 | Res. Hor. | 72,9 | 71,4 | 70,1 |
| 7 | Res. Hor. | 77,3 | 75,3 | 73,9 |
| 8 | Escola | 73,2 | 72,3 | 71,2 |
| 9 | ZEIS 3 | 76,2 | 75,2 | 74,0 |
| 10 | Escola | 77,0 | 75,4 | 74,2 |
| 11 | Res. Hor. | 74,7 | 73,2 | 72,0 |
| 12 | Res. Vert. | 77,0 | 75,2 | 73,9 |
| 13 | Res. Vert e ZEIS 3 | 73,5 | 72,0 | 70,7 |
| 14 | Res. Vert. | 76,4 | 75,0 | 73,7 |
| 15 | Res. Vert. | 77,7 | 76,5 | 75,3 |
| 16 | Res. Vert. | 76,0 | 74,7 | 73,5 |
| 17 | Res. Hor. | 80,3 | 79,4 | 78,3 |

Fonte: Palma (2018)

No cenário 2, não foram observadas alterações significativas em termos de redução do ruído em comparação com o cenário sem a implantação de pavimento silencioso. As predições do cenário 2, para as escolas e as residências ao longo da Marginal Tietê, com a velocidade igual à implantada no período de julho de 2015 a janeiro de 2017, quando foram reduzidas as velocidades das vias no município, indicaram diminuição em média de -1,37 dB(A) em suas fachadas prediais.

Considerando a predição de uma situação mais favorável, com a implantação de pavimento silencioso associado à redução de velocidade (cenário 3), comparado à situação atual (cenário 1), nota-se redução média de -2,63 dB(A). Observa-se que a implantação de pavimento silencioso é sempre viável em vias com velocidades mais altas.

Para melhor visualização, o gráfico da Figura 5 compara os resultados dos cenários simulados. Observa-se que em pontos mais distantes da Marginal Tietê, como os pontos 1, 8 e 13, as diferenças entre os resultados são menos expressivas.

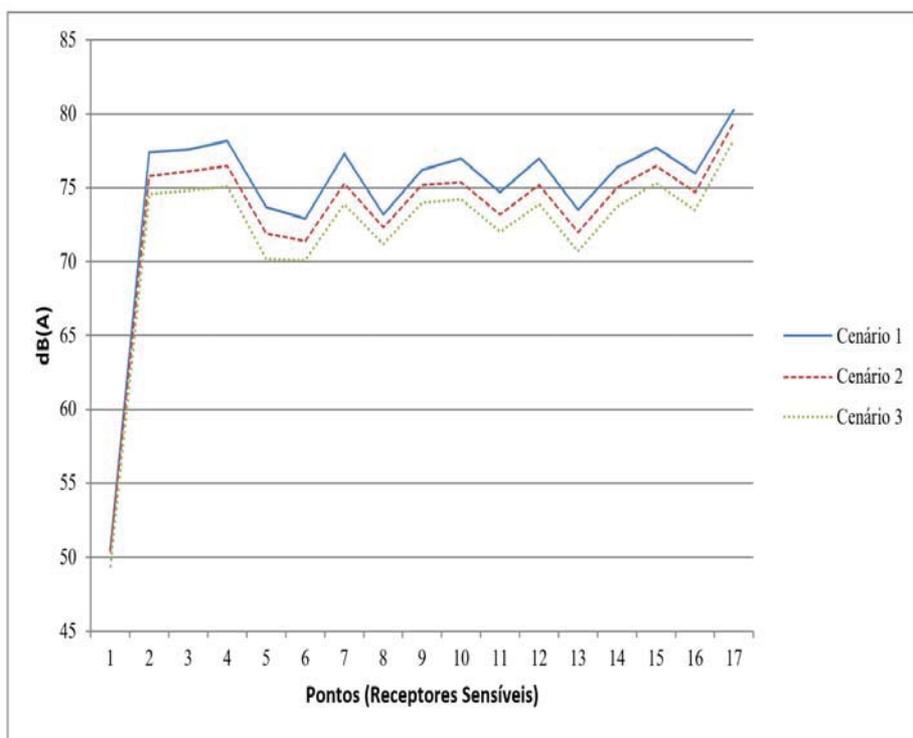


Figura 5 - Gráfico dos cenários simulados

Fonte: Palma (2018)

Portanto, tanto a redução da velocidade quanto a implantação de pavimento silencioso configuram-se como formas de mitigação do impacto ambiental causado pelos automóveis. Porém, essas medidas,

por si só, não diminuem o ruído de acordo com o recomendado pela WHO. Por outro lado, a redução da velocidade proporciona aumento na segurança de motoristas⁵ e de pedestres.

Considerando o pavimento silencioso, sem alterar a velocidade em vias arteriais e coletoras, a redução de acordo com a *NMPB-Routes-96* é de apenas -1 dB(A), para todos os tipos de veículos em velocidades de até 60 km/h, enquanto que para velocidades entre 60 e 80 km/h, -2 dB(A), e acima de 80 km/h, -3 dB(A)⁶. Portanto, os resultados associados à implantação de pavimento silencioso são mais satisfatórios nas vias de trânsito rápido. Pode-se afirmar que pavimentos silenciosos em vias arteriais e coletoras trazem resultados menos eficientes, mas, não devem ser subestimados em termos de mitigação da poluição sonora, uma vez que o dB é uma escala logarítmica. Sendo assim, há uma acentuada baixa em termos de potência sonora: -1 dB(A) equivale a uma redução de cerca de 20% da quantidade de veículos trafegando na via, -2 dB(A) significa cerca de 37% e -3 dB(A) cerca de 50%⁷.

Com base nestas simulações, conclui-se que se, na época da adequação viária da Marginal Tietê, tivesse sido implantado o pavimento silencioso, conforme preconizava o Parecer do CADES e a Licença Ambiental de Instalação nº 01/SVMA-G/09, se teria uma situação melhor que a encontrada atualmente.

De acordo com os Relatórios Técnicos de Acompanhamento das obras da Marginal Tietê, o empreendedor afirmou que foi aplicado o asfalto convencional rugoso, segundo o método adotado pelo DER/SP, que tem como base o trabalho "*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*", voltado a situações com heterogeneidade no fluxo de veículos e sua capacidade de carga. A justificativa para não empregar o asfalto poroso com o polímero no pavimento foi que a

⁵ Mortes nas marginais caíram 57% em 2016 (período em que foram adotadas reduções de velocidades nas vias rápidas), segundo dados da CET <<https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/mortes-nas-marginais-cairam-57-em-2016-segundo-dados-da-cet.ghtml>>, acessado em 28 de fevereiro de 2018.

⁶ Valores extraídos do código aberto Plugin OpeNoise.

⁷ Segundo a calculadora "acústico 3.0", disponibilizada pelo Departamento de Tecnologia (LABAUT) FAU/USP. Disponível em <www.fau.usp.br/arquivos/cpq/labs/labaut/conforto/Acustico_3.0.xls>, acessado dia 21 de março de 2018

baixa velocidade da Nova Marginal não atenuaria a questão do ruído do trânsito (PMSP, 2012).

Em suma, tanto os técnicos do licenciamento ambiental quanto os gestores das vias públicas devem se ater às questões dos benefícios da implantação de pavimentos silenciosos e da redução de velocidades nas vias de grande tráfego para a redução de ruído.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A população da cidade de São Paulo, assim como outras grandes cidades brasileiras, está sujeita à poluição sonora oriunda de diversas fontes, principalmente a do tráfego de veículos automotores.

Com vistas a obter melhores resultados ambientais, os gestores públicos têm-se utilizado de instrumentos e programas específicos para o planejamento urbano. Entre essas opções de instrumentos, encontra-se o mapa de ruído, como forte aliado ao planejamento urbano e à tomada de decisão.

O desconforto sonoro, caracterizado como um tipo de poluição ambiental, tem como consequência agravos à saúde humana. Esse desconforto pode ser representado por meio de mapas de ruído, os quais permitem identificar áreas cujos níveis sonoros prejudicam a saúde e áreas que devem ser preservadas à recreação, à habitação e ao bem-estar da população.

O mapa de ruído serve ainda para as incorporadoras planejarem seus empreendimentos habitacionais, de acordo com o aconselhado pela WHO (1999, 2009), uma vez que terão de garantir o conforto acústico nos dormitórios das habitações por força da norma técnica NBR 15.575/2013, podendo planejar a posição dos caixilhos das edificações, de modo a proporcionar maior conforto e evitar janelas e sacadas para o lado onde é mais ruidoso. Para áreas onde a população já se encontra instalada, em locais mais críticos, são aconselhadas medidas para diminuição do ruído nas vias de tráfego, como redução de velocidade e aplicação de pavimento silencioso.

Medidas de gestão do tráfego, como restrição de veículos pesados em horários noturnos, auxiliam na diminuição do ruído no período de descanso. Porém, atualmente na Marginal Tietê, há liberação do trânsito de veículos pesados no período noturno, com o intuito de melhorar

o fluxo de veículos que é sempre intenso, prejudicando a população local no horário de descanso.

Medidas pontuais também podem ser tomadas em locais com receptores sensíveis, como o remanejamento de ponto e rotas de ônibus, instalação de barreiras acústicas e janelas antirruídos, a exemplo de países como Portugal, em que, a legislação regulamenta a reponsabilidade pela aplicação dessas medidas.

Incentivos adequados ao transporte público, às caminhadas e ao uso de bicicletas, esse último encorajado pela implantação de ciclovias, são formas complementares de diminuição da intensidade sonora nas ruas das cidades. Medidas com essa finalidade representa 17% das tomadas de ações na redução do ruído na União Europeia, em virtude da Diretiva 2002/49/CE.

No Brasil, há necessidade de uma regulação mais eficaz da pavimentação e da indústria de pneumáticos, que pouco evoluiu no quesito ruído ao longo das décadas, regulação essa que poderia ser atribuída ao Conama, uma vez que a poluição sonora é considerada como poluição ambiental.

O mapa de ruído também possui papel informativo para uma maior sensibilização da população. Além disso, campanhas educativas que elucidam os males à saúde provocados pela poluição sonora contribuem para a população se proteger deste tipo de poluição, promovendo mudanças para hábitos mais saudáveis.

O planejamento urbano é utilizado como a principal ação de controle da poluição sonora pela Comunidade Europeia. No município de São Paulo, se o planejamento urbano, por meio da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo (LPUOS), tivesse sido elaborado sob um mapa de ruído, implicaria na redução de ocorrências das chamadas zonas de conflitos, em especial para os zoneamentos que incentivam a habitação em vias de grande tráfego diurno e noturno, como a Marginal Tietê.

No estudo de caso realizado, destaca-se que, das ZEIS com faces na Marginal Tietê, 12 no total, todas apresentaram ao menos em $\frac{1}{4}$ de seus perímetros, ruído acima de 70 dB(A), atingindo em alguns casos níveis de ruído acima de 80 dB(A).

A situação da poluição sonora do município de São Paulo foi discutida pelos legisladores, que apontaram a necessidade de instrumentos como mapas de ruído. Em julho de 2016, foi promulgada a Lei

Municipal nº 16.499/2016 dedicada ao planejamento e ordenamento urbano com vistas à gestão de ruído na cidade, impõe ao executivo a elaboração de mapas de ruído.

Para a próxima revisão do Plano Diretor, espera-se que a demarcação de zonas de usos de ocupação do solo utilize mapas de ruído como instrumento para o planejamento e gestão das atividades urbanas, a fim de minimizar os efeitos negativos da poluição sonora. Nesse sentido, recomenda-se que seus efeitos positivos sejam estudados no futuro.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10.151: Acústica – Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. *NBR 15.575: Desempenho de edificações habitacionais – Procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

AXELSSON, Ö.; NILSSON, M. E.; BERGLUND, B. *A principal components model of soundscape perception*. Article in *The Journal of the Acoustical Society of America* · November 2010. Disponível em: <<
https://www.researchgate.net/profile/Mats_Nilsson2/publication/49638569_A_principal_components_model_of_soundscape_perception/links/0046353abcba722ff6000000/A-principal-components-model-of-soundscape-perception.pdf>>, Acesso em: 26 mar. 2018.

BABISCH, W. Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: A meta-analysis. Department of Environmental Hygiene, Federal Environment Agency, Corrensplatz 1, 14195 Berlin, Germany, v. 16, Issue: 68 p. 1-9, 2014. Disponível em:
<<http://www.noiseandhealth.org/>> Acesso em: 11 maio 2016.

BOTTELDOOREN, D.; LAVANDIER C.; PREIS, A.; DUBOIS, D.; ASPURU, I.; GUASTAVINO, C.; BROWN, L.; NILSSON, M.; ANDRINGA, T. C. *Understanding urban and natural soundscapes*. Forum

Acusticum, June - 1. July, Aalborg 2011. Disponível em: <<https://biblio.ugent.be/publication/2041806/file/2041808>> Acesso em: 26 mar. 2018.

BRASIL. *Portaria MTb nº 3.214, de 08 de junho de 1978*. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. Disponível em: <http://www.trtsp.jus.br/geral/tribunal2/ORGaos/MTE/Portaria/P3214_78.html> Acesso em: 9 maio 2016.

CABRAL, M. F. F.; ALBUQUERQUE, F. S.; FREITAS, O. ALBUQUERQUE; T. M. A. Estudo dos mecanismos de geração de ruído de tráfego na interface pneu-pavimento. *Transportes*, v. 22, n. 1, p. 1-20, 2014. Publicação da ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. Disponível em: <www.anpet.org.br> Acesso em: 10 maio 2016.

CARVALHO, A. P. O. de.; ROCHA, C. *Manual técnico para elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*. Edição: Agência Portuguesa do Ambiente. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, abril de 2008. ISBN: 978-972-8577-42-1. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/PMRR.pdf>, Acesso em: 26 set. 2015.

CBI - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2º Projeto de Revisão da ABNT NBR 10.151 Acústica é adicionado à Consulta Nacional". em 7 de dezembro de 2017. Disponível em <<https://cbic.org.br/>> Acesso em: 17 mar. 2018.

DIDAC, D. T. *Servicio de levantamiento de información de la contaminación sonora en áreas específicas a través de la elaboración de mapas sonoros estratégicos y el análisis subjetivo en el distrito de San Isidro de la ciudad de Lima (Perú)*. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València Escola Politècnica Superior de Gandia, Lima, 2016. Disponível em: <<https://riunet.upv.es/handle/10251/71235>> Acesso em: 04 fev. 2018.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. *Noise in Europe 2014*: European Environmental Agency, 2014. Disponível em:

<<https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014>>
Acesso em: 13 mar. 2018.

_____. *Annual Indicator Report Series (AIRS): Environmental Noise*. European Environmental Agency. European Union, 2017. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/downloads/5404e35d8f064ccdad5830c80a3bb5fb/1513688644/environmental-noise.pdf>>, Acessado em: 29 jan. 2018.

EUROPEAN UNION. Directive 2002/49/EC relating to the Assessment and Management of Environmental Noise. Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

HOLTZ, M. C. de B. *Avaliação qualitativa da paisagem sonora de parques urbanos. Estudo de caso: Parque Villa Lobos, em São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-02072012.../dissertacao_marcos.pdf> Acesso em: 26 mar. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo 2010: população do Brasil é de 190.732.694 pessoas*. Disponível em <<https://censo2010.ibge.gov.br/>> Acesso em: 9 maio 2016.

ISING, H.; BRAUN, C. Acute and chronic endocrine effects of noise: Review of the research conducted at the Institute for water, soil and air hygiene. *Noise Health* [serial online] v. 2, p. 7-24, 2000. Disponível em: <<http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/7/7/31745>>
Acesso em: 15 mar. 2018.

MURGEL, E. *Fundamentos de Acústica Ambiental*. São Paulo: Editora Senac, 2007.

PALMA, M. I. *O Mapa de Ruído como instrumento de planejamento: o caso da poluição sonora causada pelos automóveis no município de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: << <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-22082018-154740/pt-br.php>>> Acesso em: 27 set. 2018.

PIMENTEL-SOUZA F. Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral - ênfase urbana. *Revista Brasileira de Acústica e Vibrações*, v. 10, p. 12-22, 1992. Disponível em: <<http://labs.icb.ufmg.br/lpf/pfhuma-naexp.html#1>>, Acesso em: 05 abr. 2018.

PREFEITURA DE FORTALEZA. Carta acústica. Disponível em: <<http://www.fortaleza.ce.gov.br/carta-acustica>>, Acesso em: 10 maio 2016.

PORTUGAL. *Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de janeiro*. Gabinete de Estudos e Planeamento/DN, 2007. Disponível em: <http://www.psp.pt/Legislacao/DecLei_9-2007.pdf>, Acesso em: 20 mar. 2018.

QGIS - A FREE AND OPEN SOURCE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. *Python Plugins Repository*. Author: Arpa Piemonte, Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/opeNoise/>> Acesso em: 9 maio 2016.

PMSP – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. *Relatório Técnico nº 003/DECONT-2/GTAI/2012 - Monitoramento Sonoro e Avaliação dos Níveis de Ruído do empreendimento denominado Adequação Viária da Marginal Tietê*. Processo Administrativo nº 2009-0.134.534-2. São Paulo, 2012.

_____. Lei 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico. *Diário Oficial*, Ano 59, nº 140, de 1 de agosto de 2014.

_____. Lei 16.402, de 22 de março de 2016 - Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico (PDE). *Diário Oficial*, Ano 61, nº 54, de 23 de março de 2016.

_____. Lei 16.499, de 20 de julho de 2016 - Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. *Diário Oficial* Ano 61, nº 135, de 21 de julho de 2016.

SILVA, C., H., T. da. Estudo de rodagem estrutural através da análise dos caminhos de transferência de energia - TPA. Dissertação (Mestrado em Dinâmica das Máquinas e Sistemas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br> Acesso em: 21 abr. 2018.

VIANNA, K. M. P. *Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da População*. Tese (Doutorado em Saúde Pública), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://dedalus.usp.br/>>, Acesso em: 5 abr. 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guideline For Community Noise. United Kingdom*, 1999. Disponível em: <www.who.int/docs-tore> Acesso em: 26 set. 2015.

_____. *Constitution of the World Health Organization*. Basic Documents, Forty-fifth edition, Supplement, October 2006. Disponível em: <http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_en.pdf> Acesso em: 18 fev. 2018.

_____. *Night Noise Guidelines for Europe*. Copenhagen, 2009. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/pubrequest>> Acesso em: 12 nov. 2015.

_____. *Burden of disease from environmental noise-quantification of healthy live years lost in Europe*. Copenhagen: The WHO European Center for Environment and Health. Bonn Offic. WGO Regional Office for Europe; 2011. Disponível em: <http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf> Acesso em: 4 maio 2016.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Noise: A Health Problem*. Washington, 1978. Disponível em: <<http://www.nonoise.org/library/epahlth/epahlth.htm>> Acesso em: 15 fev. 2018.

ZAJARKIEWICCH, D. F. B. *Poluição Sonora urbana: principais fontes. Aspectos jurídicos e técnicos*. Dissertação (Mestrado em Direito), Pontifícia. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/>> Acesso em: 24 abril 2016.

Parte II

**Cidades:
experimentações e
soluções**

4 Soluções Baseadas na Natureza para redução da poluição do ar na cidade

Giuliano Maselli Locosselli

INTRODUÇÃO À POLUIÇÃO DO AR EM GRANDES CENTROS URBANOS

A poluição do ar se destaca como um dos principais problemas ambientais decorrentes da expansão e adensamento dos grandes centros urbanos, com grande potencial para afetar a saúde da população (HEI, 2019). Em conjunto, a poluição do ar é o 5º maior fator de risco de morte em todos os diferentes grupos da sociedade, incluindo gêneros e idades, ficando apenas atrás de riscos relacionados à dieta, pressão alta, tabagismo e diabetes (HEI, 2019). Essa posição de destaque da poluição espelha o fato de que os níveis de poluição do ar estão acima dos limites considerados seguros pela Organização Mundial da Saúde em grande parte das cidades do mundo. Em muitos casos, esses níveis de poluição estão algumas ordens de magnitude acima dos limites estabelecidos, colocando a saúde de praticamente toda a população em risco (CHENG et al., 2016).

A composição da poluição do ar pode variar consideravelmente entre as cidades de acordo com as características das atividades desenvolvidas nelas. Tradicionalmente, a poluição do ar das cidades é composta por uma combinação de fontes fixas, ou estacionárias, e fontes móveis. As indústrias contribuíram como uma das principais fontes fixas nas cidades, quando a economia destas era predominantemente industrial (KELLERMAN, 2005). Com o crescimento das atividades econômicas pós-industriais e pós-modernas, a fonte principal de poluição

deixou de ser a industrial e se tornou a veicular (BELIS; KARAGULIAN; HOPKE, 2013). Por ser uma das fontes predominantes nos grandes centros urbanos nas últimas décadas, a restrição das emissões veiculares é uma das principais medidas do poder público para o controle da poluição do ar e dos problemas de saúde associados (SAWYER, 2010). Um exemplo de tais medidas é fruto de um longo processo de reconhecimento da toxicidade e contaminação do chumbo *tetraetila* como antedetonante na gasolina que resultou na proibição do seu uso em diversos países (O'BRIEN, 2011). Por afetar diretamente a fonte, tais medidas levam a redução desses poluentes no ambiente urbano ao longo de décadas (LOCOSSELLI et al., 2018). Nem todas as medidas, porém, levam a um benefício democrático às populações urbanas, já que parte destas pode residir em distritos industriais presentes na periferia de algumas cidades, onde há uma combinação de fontes estacionárias e móveis (QUEROL et al., 2007, LOCOSSELLI et al., 2020). Os efeitos dos poluentes sobre a saúde da população dependem em grande parte de particularidades relacionadas a: composição química, propriedades reativas, tempo de persistência no ambiente e capacidade de transporte a longas distâncias (KAMPA; CASTANAS, 2008).

De forma geral, a poluição do ar pode ser caracterizada como uma mistura complexa constituída por i) fases gasosas como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HPAs), óxidos de nitrogênio e enxofre e ozônio, e ii) fases sólidas como o material particulado (MP) composto por diversas substâncias inclusive metais. Grande parte dos poluentes são produzidos diretamente pelas fontes emissoras, como indústrias e veículos automotores, enquanto outros são produzidos posteriormente. Podem ser divididos, portanto, em poluentes primários, que são todos aqueles oriundos diretamente das fontes emissoras (ex: SO₂, NO_x, CO, elementos traços como metais), e poluentes secundários, que são resultado de reações que ocorrem na própria atmosfera.

O ozônio (O₃) é um exemplo típico de poluente secundário. Ele é produto de uma reação fotoquímica que depende da luz solar, além da temperatura e de compostos atmosféricos que interagem entre si. Esses são formados pela: i) grande quantidade de compostos orgânicos voláteis emitidos na troposfera, tanto de origem antropogênica como biogênica; ii) óxidos nitrosos emitidos pelo solo, queimadas naturais, e

processos de combustão veicular; e iii) os radicais hidroxila provenientes da fotólise do próprio O_3 na presença de vapor de água e radiação UV, fotólise do ácido nitroso, entre outros (ATKINSON, 2000). Em razão dessas características das reações fotoquímicas, o O_3 tende a ter concentrações mais elevadas em períodos mais quentes e de maior incidência de luz solar (BRUNEKREEF; HOLGATE, 2002).

O carbono particulado é um outro exemplo de poluente secundário que está presente nos aerossóis. Pode se apresentar de diferentes formas como carbono elementar, um poluente primário, produto da combustão incompleta de combustíveis fósseis e biomassa; e o carbono orgânico que pode ser tanto primário como secundário. O carbono orgânico como poluição primária pode ser de origem antropogênica como produto da queima de combustíveis, ou biogênico como partículas de plantas incluindo ceras e fragmentos de folhas, pólen, entre outros (PLAZA et al., 2006). Como poluente secundário, o carbono orgânico particulado é produto da conversão de alguns compostos orgânicos semivoláteis como resultado da sua condensação em condições em que as concentrações excedem os níveis de saturação, ou por adsorção na superfície do MP fino em suspensão (PANDIS et al., 1992). Tanto as partículas elementares quanto as orgânicas de carbono podem conter altos níveis de compostos orgânicos, sulfatos, nitratos, íons de amônia, e metais adsorvidos (PLAZA et al., 2006).

PROBLEMAS DE SAÚDE RELACIONADOS À POLUIÇÃO DO AR

A qualidade do ar nas cidades está diretamente relacionada a saúde de sua população (HEI, 2019). Em geral, a população entra em contato com poluentes por inalação ou ingestão, com efeitos mais restritos por contatos dérmicos. Assim, a absorção ocorre normalmente por vias gastrointestinais e respiratórias, a partir das quais podem migrar e serem encontrados na circulação e em diferentes tecidos (KAMPA; CASTANAS, 2008). A poluição do ar pode afetar o sistema respiratório, cardiovascular, nervoso, urinário, digestivo. Os efeitos sobre a saúde podem ser considerados agudos ou crônicos, levando a náuseas, dificuldades para respirar, irritações cutâneas, capacidade reduzida do sistema imonológico, problemas cardiovasculares, desenvolvimento de câncer, entre tantos outros (KAMPA; CASTANAS, 2008). Todos esses

efeitos da poluição se traduzem consistentemente em aumento de admissões hospitalares (BRUNEKREEF; HOLGATE, 2002).

Estima-se que em 2017, apenas a poluição do ar foi responsável por 8,7% de todos os casos de óbitos no mundo (HEI, 2019). O país que mais contribuiu em números para esse nível de mortalidade mundial foi a China, com cerca de 1.2 milhões de mortes associadas à baixa qualidade do ar enquanto o Brasil encontra-se na 9ª posição com cerca de 66 mil mortes relacionadas à poluição do ar (HEI, 2019). Esse grande número de mortes no mundo está associado a diversas doenças relacionadas aos níveis elevados de poluição, como: doença pulmonar obstrutiva crônica, infecção respiratória baixa, câncer de pulmão, cardiopatia isquêmica e AVC (HEI, 2019).

CONCEITO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

Os problemas ambientais urbanos, e os seus efeitos sobre a saúde da população, exigem intervenções eficazes para aprimorar a qualidade de vida nas cidades. As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) consistem num termo cunhado recentemente (VAN DEN BOSCH; SANG, 2017) que englobam ações “inspiradas por, apoiadas por, ou copiadas da natureza” para propor iniciativas inovadoras para solucionar problemas sociais, ambientais e econômicos (EC, 2015, p. 6). Esse termo novo se apropria e integra termos já consolidados na área de sustentabilidade como a infraestrutura verde, infraestrutura azul, restauração de ecossistemas, adaptações baseadas em ecossistemas e serviços ecossistêmicos (VAN DEN BOSCH; SANG, 2017). Pressupõe a conservação e promoção da biodiversidade para abordar problemas multifatoriais como a degradação de hábitat, mudanças no clima, mudanças nos padrões de doenças infecciosas, impactos na produção de alimentos e abastecimento de água, e poluição (KABISCH et al., 2016) Por esse motivo, as SBN podem ser consideradas um campo multidisciplinar que integra ciência básica e aplicada, dentro de um contexto colaborativo com os tomadores de decisão e a sociedade (BAKLANOV; MOLINA; GAUSS, 2016). É um campo em plena expansão no mundo, que está numa fase intensa de desenvolvimento conceitual, com o surgimento gradual de exemplos de aplicação de sucesso (VAN DEN BOSCH; SANG, 2017).

Há muitas evidências de que as SBN impactam positivamente a saúde pública tanto por meio da regulação dos serviços ecossistêmicos no ambiente urbano, como por meio das mudanças comportamentais e sociais (VAN DEN BOSCH; SANG 2017). Essas evidências incluem impactos sobre os riscos de mortalidade principalmente por problemas respiratórios (VILLENUEVE et al., 2012), nascimento prematuros e peso de nascimento (LAURENT et al., 2013), obesidade (LACHOWYCZ; JONES, 2011), pressão sanguínea (AGYEMANG et al., 2007), estresse (TYRVÄINEN et al., 2014), e percepção de bem-estar (CARRUS et al., 2015). Esses efeitos são, em geral, maiores em grupos mais vulneráveis como em crianças e populações de baixa renda (MAAS et al., 2009).

A otimização desses benefícios exige uma abordagem sistêmica que integre diferentes serviços ecossistêmicos (EVERARD; MCINNES, 2013). Porém, os ganhos da aplicação de SBN dependem da distribuição espacial das intervenções propostas dentro do ambiente urbano. As escalas de influência espacial destas soluções dependem dos tipos de serviços ecossistêmicos imprescindíveis para produzir os efeitos desejados sobre a saúde de acordo com as necessidades locais, concomitante com a garantia do acesso de toda a população a essas medidas (VAN DEN BOSCH; SANG, 2017).

Por ser um campo novo na ciência, o desenvolvimento de SBN deve se basear em experiências e conhecimentos correntes, ao mesmo tempo em que adaptações são feitas de acordo com as características locais, problemas a serem abordados e ferramentas naturais disponíveis (KABISCH et al., 2016). Essas particularidades exigem o desenvolvimento de indicadores para que os estudos de SBN possam ser implementados em contextos locais distintos e comparados para a emergência de padrões globais (KABISCH et al., 2016). Esses indicadores podem ser potencialmente divididos em quatro categorias de acordo com Kabisch et al., (2016): i) performance ambiental integrada, ii) transferibilidade e monitoramento, iii) saúde e bem-estar, iv) envolvimento da sociedade.

Esses indicadores devem auxiliar a reduzir a complexidade dos sistemas estudados ao permitir os pesquisadores monitorar e analisar condições e tendências nas intervenções (HAASE et al., 2014). O primeiro grupo de indicadores mencionados anteriormente estão relacio-

nados diretamente à performance dos serviços ecossistêmicos como redução de temperatura, redução de poluição, sequestro de carbono, entre outros, além da promoção da biodiversidade e restauração de ecossistemas. O segundo grupo permite avaliar os efeitos diretos e indiretos das mudanças no ambiente urbano sobre a saúde da população, como diminuição em casos de doenças respiratórias e obesidade, redução do número de mortes prematuras, e de pessoas utilizando os espaços verdes. O terceiro conjunto avalia a governança, incluindo os atores envolvidos no planejamento e implementação, viabilidade a longo prazo das intervenções, e transferência de tecnologias exitosas. Por fim, o quarto conjunto de indicadores avalia o engajamento da população durante a implementação dos projetos. Esse último conjunto de indicadores é essencial para garantir a sustentabilidade das SBN nas cidades (BAKLANOV; MOLINA; GAUSS, 2016).

USO DA VEGETAÇÃO PARA A REDUÇÃO DA POLUIÇÃO DO AR

Uma das ferramentas de SBN mais notáveis para a redução da poluição do ar nos grandes centros urbanos é a vegetação. Sabe-se que a vegetação urbana, seja ela arbórea, arbustiva ou herbácea possui a capacidade de remover quantidades consideráveis de poluentes gasosos e sólidos do ar. Isto ocorre de forma direta por meio de absorção e retenção de poluição; e indireta, por meio da redução da emissão de poluentes (YANG et al., 2005). De forma direta, a vegetação é capaz de absorver poluentes gasosos como compostos orgânicos voláteis de origem antropogênica, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e ozônio através dos estômatos presentes nas folhas. Por esse motivo, atribui-se às espécies de plantas com maiores taxas de condutância estomática o maior potencial de absorver poluentes gasosos (XU et al., 2018). Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos também podem ser absorvidos através dos estômatos quando em forma gasosa, ou depositados nas folhas e então absorvidos através da cutícula quando ligados ao MP (WANG et al., 2008). Em geral, o MP acaba retido por adsorção em estruturas mais rugosas ou porosas da superfície do corpo da planta. Nas folhas, a presença de estruturas denominadas tricomas, que cobrem as folhas pilosas de algumas espécies, favorece a captura de MP no ar (Figura 1).

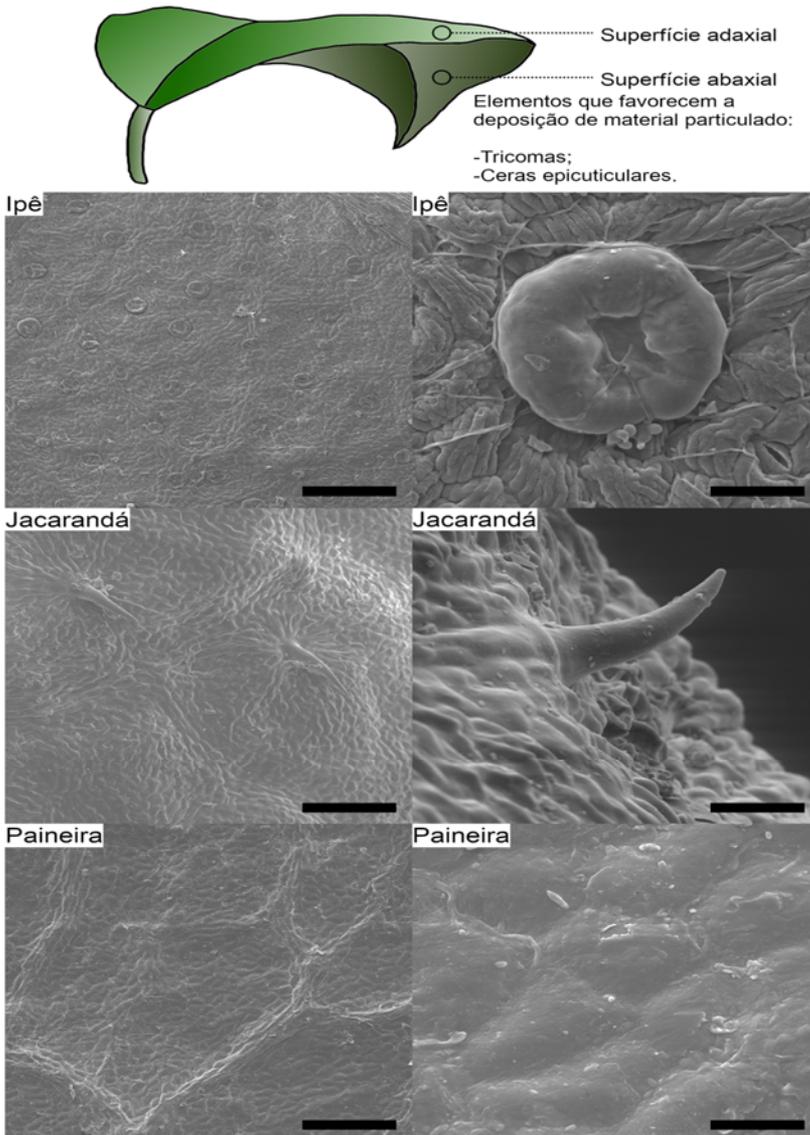


Figura 1 - Exemplos da diversidade de estruturas morfológicas na superfície foliar que podem potencializar a retenção de MP presente no ar. **Legenda:** A e B superfície abaxial de *Tabebuia pentaphylla* (Bignoniaceae) com tricomas globosos (escalas 200 μ m e 20 μ m, respectivamente), C e D Tricomas tectores na superfície adaxial de folhas de *Jacaranda mimosifoliua* (Bignoniaceae, escalas 100 μ m e 20 μ m, respectivamente), E e F deposição de cera epicuticular na superfície adaxial de *Ceiba speciosa* (Malvaceae, escalas 200 μ m e 20 μ m, respectivamente).

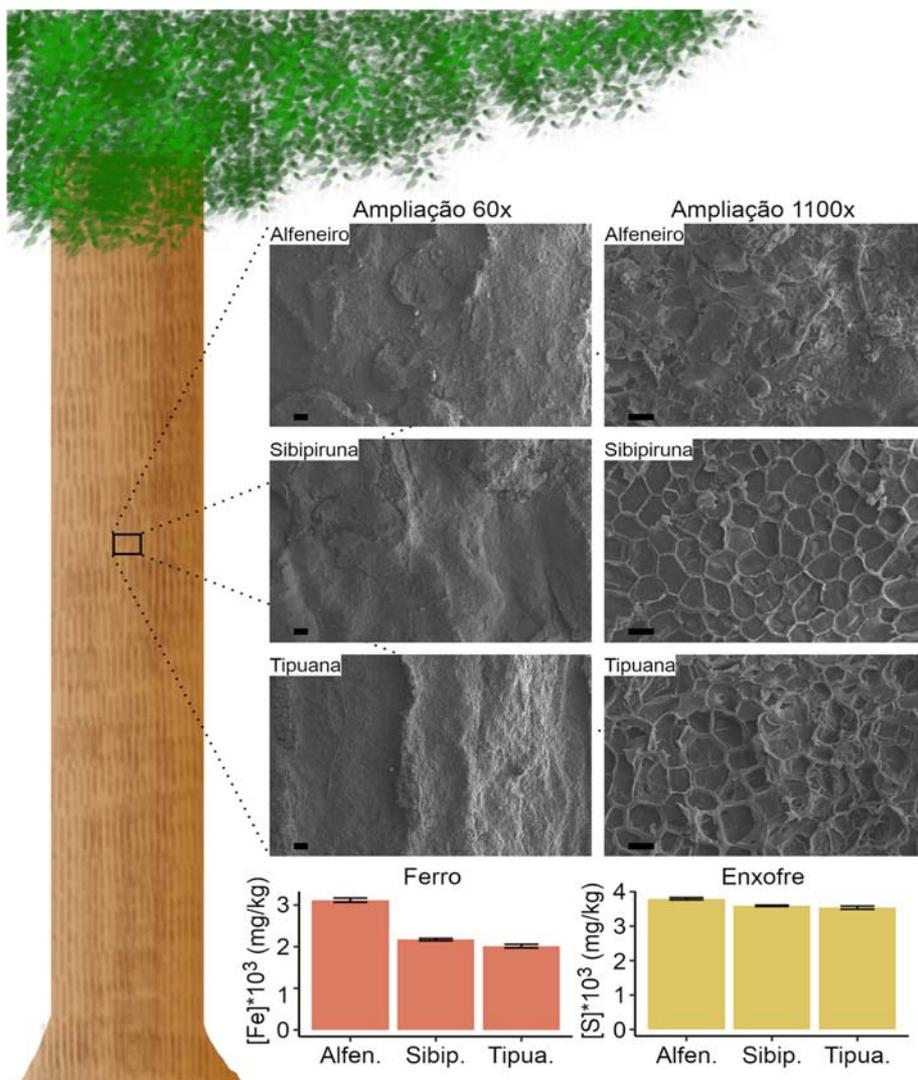


Figura 2 - Exemplo de morfologia externa das cascas das três principais espécies arbóreas presentes na cidade de São Paulo: Alfeneiro (*Ligustrum* sp., Oleaceae), Sibipiruna (*Cenostigma pluviosum*, Fabaceae), Tipuana (*Tipuana tipu*, Fabaceae)

Legenda: As imagens representam partes das cascas em ampliação de 60 e 1100 vezes. Os gráficos de barra representam as concentrações de ferro e enxofre medidas nas cascas de árvores das três espécies sob condições de tráfego intenso e nenhuma área verde no entorno

Fonte - Adaptado de Moreira et al. (2018)

Essa característica torna as espécies com tricomas nas folhas mais eficazes na redução de MP no ar do que as espécies com folhas lisas, também conhecidas como glabras (WEBER; KOWARIK; SÄUMEL, 2014). O MP também é retido pela porosidade e rugosidade das cascas das árvores. A estrutura macroscópica das cascas das árvores varia consideravelmente entre espécies, pode-se até ser utilizada como um caractere para a identificação de espécies (YUNUS; YUNUS; IQBAL, 1990, JUNIKKA, 1994). Uma grande variação estrutural também pode ser encontrada ao nível microscópico, no qual as espécies arbóreas apresentam estruturas celulares distintas na superfície externa das cascas (Figura 2).

Por exemplo, essas variações morfológicas e anatômicas resultam em capacidades distintas de retenção de diferentes poluentes, sendo até 50% maior em determinadas espécies presentes nas cidades (MOREIRA et al., 2018). A combinação dessas espécies dentro de um ecossistema, leva a capacidades distintas de remoção de poluição do ar pelos diferentes tipos de florestas urbanas. A remoção de O₃ e MP pode variar em até 400% quando tipos de florestas distintos são comparados, como por exemplo, entre florestas sempre verdes e florestas decíduas, que perdem todas as folhas uma vez ao ano (BOTTALICO et al., 2017).

Áreas verdes também são responsáveis pela redução da concentração de metais, que podem ser até 40% menores (conforme estimado com base em estudos de biomonitoramento) em regiões das cidades que estão sob influência de florestas urbanas mais extensas (MOREIRA et al., 2018). Os telhados verdes também contribuem para a redução da poluição do ar, podendo reter cerca de 85 kg / ha de poluentes. Cerca de metade desse valor equivale à redução de O₃, 30% equivale à redução de NO₂, 14% equivalente ao MP e 7% ao SO₂ (YANG; YU; GONG, 2008). Em conjunto as áreas verdes contribuem com a qualidade ambiental nas cidades, removendo diretamente algumas toneladas de poluentes do ar todos os anos (NOWACK et al., 2014).

A vegetação pode contribuir também de forma indireta com a redução das concentrações de poluição. Sabe-se que tanto a vegetação de parques, praças e ruas, como a vegetação presente em paredes e telhados verdes pode reduzir localmente a temperatura da superfície e a do ar. Isso ocorre devido ao efeito de sombreamento das superfícies. Essa capacidade de sombreamento depende da estrutura da vegetação,

do formato da copa das árvores e do tipo de suas folhas (ABREU-HARBICH; LABAKI; MATZARAKIS, 2015). A redução da temperatura local também ocorre devido à capacidade das plantas em transformar o balanço de radiação disponível em calor latente por meio da evapotranspiração (TAKEBAYASHI; MASAKAZU, 2007). Assim, a vegetação contribui com a redução das emissões de poluentes associadas a geração de energia utilizada pelos sistemas de climatização de ambientes internos das edificações, por reduzir em média 2°C a temperatura interna (JAF-FAL; OULDBOUKHITINE; BELARBI, 2012).

O uso de paredes e telhados verdes favorece ainda a dispersão de poluentes nos cânions urbanos, que são regiões caracterizadas pelo adensamento de edificações altas. As paredes e telhados verdes, encontrados nas porções mais altas destas edificações, reduzem localmente a temperatura do ar em cerca de 5 a 13°C (ALEXANDRIA; JONES, 2008), criando um fluxo descendente de ar mais frio e denso e reduzindo a concentração de poluentes (Figura 3C) ao nível das ruas por dispersão (BAIK et al., 2012). Apenas o aumento da dispersão pelos fluxos descendentes de ar pode reduzir a concentração local de poluentes pela metade (BAIK et al., 2012). A redução da temperatura devido a presença da vegetação também pode afetar as taxas de reações químicas na atmosfera impactando negativamente a formação de poluentes secundários como o O₃ (CARDELINO; CHAMEIDES, 1990).

Em alguns casos a vegetação pode ser utilizada como um anteparo para impedir a dispersão dos poluentes, em especial próximo a vias de tráfego mais intenso. Dentre algumas combinações de estruturas para impedir a dispersão de partículas finas e ultrafinas a partir de vias de tráfego intenso, se destacam barreiras de vegetação extensas com cerca de 12 a 18 metros de largura, e a combinação destas com barreiras sólidas, como muros (TONG et al., 2016). Esses dois tipos de estrutura demonstram ter uma performance combinada superior no bloqueio de poluentes particulados quando comparado ao uso de apenas barreiras sólidas, o uso de paredes verdes, e ainda o uso de barreiras de vegetação menos extensas mesmo que presentes nos dois lados da via. Assim, a presença de faixas de vegetações mais extensas tem um desempenho mais significativo no controle da dispersão de MP ultrafino.

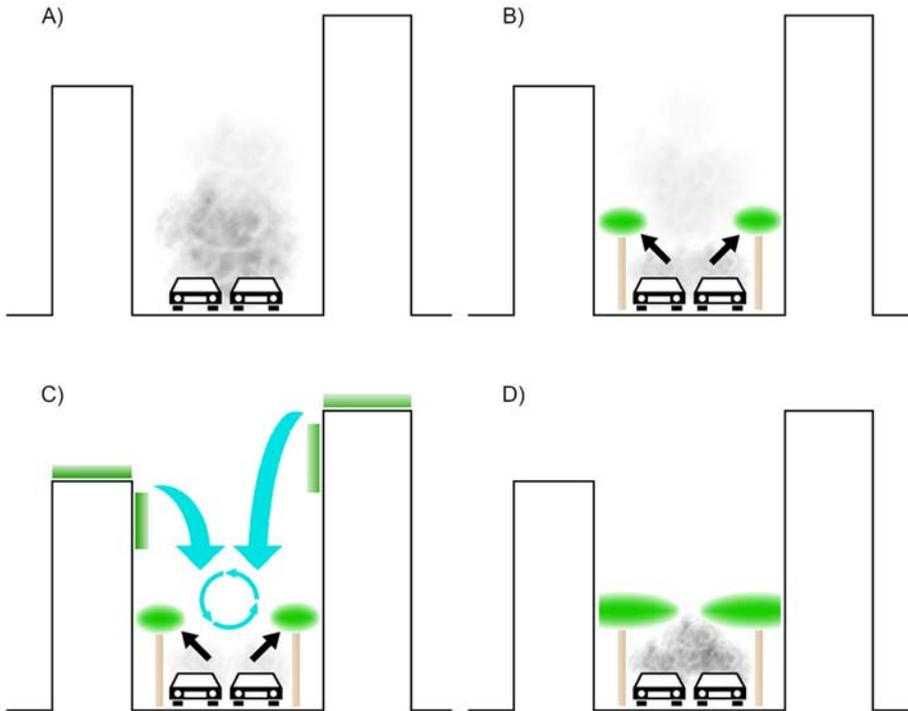


Figura 3 - Exemplos esquemáticos de dispersão e retenção de poluição em cânions urbanos

Legenda: A) sem presença de vegetação; B) com presença de vegetação que absorve e / ou adsorve a poluição (setas em preto); C) com a presença de vegetação nos solo e paredes e / oi telhados verdes que promovem a circulação do ar mais intensa e maior dispersão da poluição; D) efeito de túnel promovido por uma adensamento maior de árvores que impedem a dispersão da poluição.

VEGETAÇÃO PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO, O OUTRO LADO DA MOEDA

A vegetação urbana nem sempre segue a máxima de que mais é melhor. De forma geral, é válido considerar que mais árvores resulte num maior número de folhas para absorção de poluentes gasosos, e

uma maior superfície de folhas e cascas para a retenção de poluentes sólidos. Porém, o ambiente urbano é muito complexo, e o plantio intensivo de árvores nos cânions urbanos pode produzir o efeito oposto, e promover uma maior concentração da poluição local (SALMOND et al., 2013). Tal efeito colateral do adensamento de árvores nos cânions urbanos já foi reportado em diversas cidades do mundo. Existe uma convergência importante nos resultados de estudos teóricos e empíricos que indica que o adensamento das copas das árvores nos cânions urbanos forma túneis que impedem a dispersão da poluição (Figura 3D), elevando a concentração local principalmente na altura em que se encontram os motoristas e os pedestres (BUCCOLIERI et al., 2009, SALIM et al., 2011).

A vegetação também é precursora de compostos orgânicos voláteis biogênicos que tem o potencial de afetar as propriedades físicas e químicas da atmosfera (LORETO; FARES 2013). Compostos como os isoprenóides podem ser emitidos pelas plantas de forma constitutiva, ou seja, naturalmente, ou de forma induzida por condições de estresse devido a calor, seca, entre outros (LORETO; FARES, 2013). Compostos como esses são precursores do O_3 , e uma grande concentração de árvores que emitem compostos orgânicos voláteis pode levar, sob determinadas circunstâncias, a um aumento considerável da concentração de O_3 no ar, superior à capacidade de absorção de O_3 destas próprias plantas (YANG et al., 2005).

As plantas também podem produzir substâncias alergênicas que impactam negativamente a saúde da população. Grande parte das plantas produzem pólen, em diferentes quantidades de acordo com as espécies, que podem afetar a saúde especialmente de pessoas mais sensíveis. As gramíneas consistem num dos grupos que mais contribuem com os problemas de saúde relacionados aos pólenes (D'AMATO et al., 2007). O aumento da concentração de pólen no ar pode levar a casos de rinoconjuntivite alérgicas e exacerbação de asma (DALES et al., 2004; RIDOLO et al., 2007), em geral nas crianças (D'AMATO et al., 2007). Esta produção do pólen varia de local para local, entre as espécies, e sazonalmente. Por ser um evento sazonal, é possível prever o período de antese, quando há a formação das anteras que irão produzir o pólen, e se precaver dos problemas relacionados a fase reprodutiva das plantas (D'AMATO et al., 2007).

PERSPECTIVAS FUTURAS

Existe hoje um esforço conjunto de poder público e sociedade organizada para tornar as cidades mais verdes, com o objetivo de promover os serviços ecossistêmicos, entre eles a redução da poluição (SILVA et al., 2019). Apesar dos avanços significativos no desenvolvimento e implementação de políticas públicas voltadas ao aprimoramento dos ambientes urbanos, há ainda uma série de lacunas no conhecimento sobre os mecanismos de interação entre a saúde pública e a vegetação que limitam o uso das soluções baseadas na natureza para a promoção da saúde e bem-estar da população (SHANAHAN et al., 2015). Assim se faz necessário uma abordagem empírica que permita revelar os mecanismos da interação entre elementos do ambiente natural e a saúde (LAURENT et al., 2013). Esta proposta é ainda mais desafiadora em países megadiversos como os localizados na zona tropical, cujas cidades concentram metade da população mundial incluindo as comunidades mais pobres do mundo (BUCKERIDGE; LOCOSSELLI, 2017).

O planejamento do uso da vegetação para a mitigação da poluição do ar também deve levar em conta que a própria poluição do ar se soma aos efeitos do clima urbano, ao afetar o desenvolvimento das árvores (ORDÓÑEZ; DUINKER, 2014). Processos fisiológicos chave ao nível foliar são afetados pelo MP presente no ar afetando o desempenho das árvores na mitigação da poluição. Partículas com menos de $10\mu\text{m}$ de diâmetro (MP_{10}) se depositam na superfície das folhas nas cidades (SAEBO et al., 2012), resultando em alterações nas suas propriedades óticas, redução da incidência de luz fotossinteticamente ativa, elevação da temperatura foliar, oclusão dos estômatos restringindo as trocas gasosas (GRANTZ; GARNER; JOHNSON, 2003; PRAJAPATI, 2012). Como resultado, árvores urbanas podem reduzir o crescimento em até 37% em áreas mais poluídas da cidade (LOCOSSELLI et al., 2019). A tolerância das plantas à poluição varia consideravelmente, sendo esta informação importante para a escolha das diferentes espécies disponíveis em projetos de restauração de ecossistemas (SHANNIGRAHI; FUKUSHIMA; SHARMA, 2004).

Esse efeito do ambiente urbano sobre o desenvolvimento das árvores é um ponto chave pois a magnitude dos serviços ecossistêmicos aumenta proporcionalmente com as dimensões dos indivíduos arbóreos

(MCPHERSON; NOWAK; ROWNTREE, 1994; SYDNOR; SUBBURA-YALU, 2011; MULLANEY; LUCKE; TRUEMAN, 2015). Portanto, não basta conhecer apenas a contribuição das espécies arbóreas para a otimização das florestas urbanas, mas é necessário compreender como o próprio ambiente urbano afeta os processos biológicos por traz dos serviços ecossistêmicos.

De forma geral, a abordagem atual para o estudo do papel da vegetação na mitigação da poluição do ar não deve mais avaliar se vegetação urbana afeta a qualidade do ambiente urbano e a saúde da população, mas como ela os afeta (SHANAHAN et al., 2015). A compreensão dos mecanismos e definição de grupos de espécies com o maior potencial para filtrar o ar permitirá otimizar as funções dos ecossistemas restaurados que levem à promoção de serviços ecossistêmicos resultando no aprimoramento da qualidade de vida no ambiente urbano.

REFERÊNCIAS

ABREU-HARBICH, L. V.; LABAKI, L. C.; MATZARAKIS, A. Effect of tree planting design and tree species on human thermal comfort in the tropics. *Landscape and Urban Planning*, v. 138, p. 99-109, 2015.

AGYEMANG, C.; VAN HOOJIDONK C.; WENDEL-VOS, W.; UJCIC-VOORTMAN J. K.; LINDEMAN, E.; STONKS, K.; DROOMERS, M. Ethnic differences in the effect of environmental stressors on blood pressure and hypertension in the Netherlands. *BMC Public Health* v. 7, p. 118, 2007.

ALEXANDRIA, E.; JONES, P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Builging and Environment*, v. 43, p. 480 - 493., 480e2008.

ATKINSON, R. Atmospheric chemistry of VOCs and NOx. *Atmospheric Environment*, v. 34, p. 2063-2101, 2000.

BAIK, J.; KWAK, K.; PARK, S.; RYU, Y. Effects of building greening on air quality in street canyons. *Atmospheric Environment*, v. 61, p. 48-55, 2012.

BAKLANOV, A.; MOLINA, L. T.; GAUSS, M. Megacities, air quality and climate. *Atmospheric Environment*, v. 126, p. 235-249, 2016.

BELIS, C. A.; KARAGULIAN, F.; HOPKE, P. K. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe. *Atmospheric Environment*, v. 69, p. 94-108, 2013.

VAN DEN BOSCH, M.; SANG A. O. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. *Environmental Research*, v. 158, p. 373-384, 2017.

BRUNEKREEF, B.; HOLGATE, T. Air pollution and health. *The Lancet*, v. 360, p. 1233 – 1242, 2002.

BUCKERIDGE, M. S.; LOCOSSELLI, G. M. RE: Urban forests in the tropics, the biodiversity opportunities. *Highwire comment response to "The Natural Capital of city trees"*, 2017. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/re-urban-forests-tropics-biodiversity-opportunities> Acesso em: 20 nov. 2019.

BOTTALICO, F.; TRAVAGLINI, D.; CHIRICI, G.; GARFI, V.; GIANNETTI, F.; DE MARCO, A.; FARES, S.; MARCHETTI, M.; NOCENTINI, S.; PAOLETTI, E.; SALBITANO, F.; SANESI, G. A spatially-explicit method to assess the dry deposition of air pollution by urban forests in the city of Florence, Italy. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 27, p. 221-234, 2017.

BUCCOLIERI, R.; GROMKE, C.; DI SABATINO, S.; RUCK, B. Aerodynamic effects of trees on pollutant concentration in street canyons. *Science of Total Environment*, v. 407, p. 5247-5256 2009.

CARDELINO, C. A.; CHAMEIDES, W. L. Natural hydrocarbons, urbanization, and urban zone. *Journal of Geophysical Research*, v. 95, p. 13971-13979, 1990.

CARRUS, G.; SCOPELLITI, M.; LAFORTEZZA, R.; COLANGELO, G.; FERRINI, F.; SALBITANO, F.; AGRIMI, M.; PORTOGHESI, L.; SEMENZATO, P.; SANESI, G. Go greener, fell better? The positive effects of biodiversity on the well-being of individuals visiting urban and peri-urban green areas. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 221-228, 2015.

CHENG, Z.; LUO, L.; WANG, S.; WANG, Y.; SHARMA, S.; SHIMADERA, H.; WANG, X.; BRESSI, M.; MIRANDA, R. M.; JIANG, J.;

ZHOU, W.; FAJARDO, O.; YAN, N.; HAO, J. Status and characteristics of ambient PM_{2.5} pollution in global megacities. *Environmental International*, v. 89-90, p. 212-21, 2016.

D'AMATO, G., CECCHI, L., BONINI, S., NUNES, C., ANNESI-MAESANO, I., BEHRENDT, H., LICCARDI, G., POPOV, T., VAN CAUWENBERGE, P. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, v. 62, p. 976-900, 2007.

EC - EUROPEAN COMMISSION. *Directorate-General for Research and Innovation*. Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities. Luxembourg, 2015.

EVERARD, M.; MCINNES, R. Systemic solutions for multi-benefit water and environmental management. *Science of Total Environment*, v. 461-462, p. 170-179, 2013.

DALES, R. E.; CAKMAK, S.; JUDEL, S.; DANN, T.; COATES, F.; BROOK, J. R.; BURNETT, R. T. Influence of outdoor aeroallergens on hospitalization for asthma in Canada. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 113, p. 303-306, 2004.

GRANTZ, D. A.; GARNER, J. H. B.; JOHNSON, D. W. Ecological effects of particulate matter. *Environmental International*, v. 29 (2-3), p. 213-239, 2003.

HAASE, D.; LARONDELLE, N.; ANDERSSON, E.; ARTMANN, M.; BORGSTRÖM, S.; BREUSTE, J.; GOMEZ-BAGGETHUN, E.; GREN, A.; HAMSTEAD, Z.; HANSEN, R.; KABISCH, N.; KREMER, P.; LANGMEYER, J.; RALT, E. L.; MCPHEARSON, T.; PAULEIT, S.; QURESHI, S.; SCHWARZ, N.; VOIGT, A.; WURSTER, D.; ELMQVIST, T. A quantitative review of the urban ecosystem service assessments: concepts, models and implementations. *AMBIO*, v. 43, p. 413-433, 2014.

HEI - HEALTH EFFECTS INSTITUTE. *State of Global Air 2019* Disponível em: www.stateofglobalair.org. Acesso em: 20 nov. 2019.

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. *Renewable Energy*, v. 43, p. 157-164, 2012.

JUNIKKA, L. Survey of English macroscopic bark terminology. *IAWA Journal*, v. 151, p. 3-45, 1994. Doi: 10.1163/22941932-90001338.

KABISCH, N., FRANTZESKAKI, N., PAULEIT, S., NAUMANN, S., DAVIS, M., ARTMANN, M., HAASE, D., KNAPP, S., KOM, H., STADLER, J., ZAUBERGER, K., BONN, A. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, v. 21, p. 39, 2016.

KAMPA, M.; CASTANAS, E. Human health effects of air pollution. *Environmental Pollution*, v. 151, p. 362-367, 2008.

KELLERMAN, A. The evolution of service economies: a geographical perspective. *The Professional Geographer*, v. 37, p. 133-143, 2005.

LACHOWYCZ, K.; JONES, A. P. Greenspace and obesity: a systemic review of the evidence. *Obesity Reviews*, e183-e189, 2011.

LAURENT, O.; WU, J.; LI, L.; MILESI, C. Green spaces and pregnancy outcomes in Southern California. *Health & Place*, v. 24, p. 190 - 195, 2013.

LOCOSSELLI, G. M.; CHACÓN-MADRID, K.; ARRUDA, M. A. Z.; CAMARGO, E. P.; MOREIRA, T. C.; ANDRÉ, C. D. S.; ANDRÉ, P. A.; SINGER, J. M.; SALDIVA, P. H. N.; BUCKERIDGE, M. S. Tree rings reveal the reduction of Cd, Cu, Ni and Pb pollution in the central region of São Paulo, Brazil. *Environmental Pollution*, v. 242, p. 320-328, 2018.

LOCOSSELLI, G. M.; CAMARGO, E. P.; MOREIRA, T. C. L.; TODESCO, E.; ANDRADE, M. F.; ANDRÉ, C. D. S.; ANDRÉ, P. A.; SINGER, J. M.; FERREIRA, L.S.; SALDIVA, P. H. N.; BUCKERIDGE, M. S. The role of air pollution and climate on the growth of urban trees. *Science of Total Environment*, v. 666, p. 652-661, 2019.

LOCOSSELLI, G. M.; MOREIRA T. C. L.; CHACÓN-MADRID, K.; ARRUDA, M. A. Z.; CAMARGO, E. P.; KAMIGAUTI, L. Y.; TRINDADE, R. I. F.; ANDRADE, M. F.; ANDRÉ, C. D. S.; SALDIVA, P. H. N.; BUCKERIDGE, M. S. Spatial-temporal variability of metal pollution across and industrial district, evidencing the environmental inequality

in São Paulo. *Environmental Pollution*, 2020. In press. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114583.

LORETO, F.; FARES, S. Chapter 4 – Biogenic volatile organic compounds and their impacts on biosphere – atmosphere interactions. *Developments in Environmental Science*, v. 13, p. 57-75, 2013.

MAAS, J.; VERHEIJ, R. A.; VRIES S.; SPREEUWENBERG, P.; SCHELLEVIS, F. G.; GROENEWEGEN, P. P. Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiological Community Health*, v. 63, p. 967 – 973, 2009.

MCPHERSON, E. G.; NOWAK, D. J.; ROWNTREE, R. A. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. In: *USDA Forest Service Northeastern Forest Experiment Station general technician report: NE-186*, 1994.

MOREIRA, T. C. L.; LOURENÇO, L. F. A.; SILVA, G. T.; ANDRÉ, C. D. S.; ANDRÉ, P. A.; BARROZO, L. V.; SINGER, J. M.; SALDIVA, P. H. N.; SAIKI, M.; LOCOSSELLI, G. M. The use of tree barks to monitor traffic related air pollution: a case study in São Paulo – Brazil. *Frontiers in Environmental Science*, v. 6, p. 72, 2018.

MULLANEY, J.; LUCKE, T.; TRUEMAN, S. J. A review for benefits and challenges in growing street trees in paved environments. *Landscape and Urban Planning*, v. 134, p. 157-166, 2015.

NOWAK, D. J.; HIRABAYASHI, S.; BODINE, A.; GREENFIELD, E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, v. 193, p. 119-29, 2014.

O'BRIEN, E. *Chronology of leaded gasoline / leaded petrol history*. The Lead Group Inc: Summer Hill, Australia, p. 1-20, 2011.

ORDÓNEZ, C.; DUINKER, P. N. Assessing the vulnerability of urban forests to climate change. *Environmental Reviews*, v. 22, p. 311-321, 2013.

PANDIS, S. N.; HARLEY, R. A.; CASS, G. R.; SIENFIEL, J. H. Secondary organic aerosol formation and transport. *Atmospheric Environment*, v. 36, p. 2269-2282, 1992.

PLAZA, J.; GÓMEZ-MORENO, F. J.; NUÑEZ, L.; PUJADAS, M.; ARTIÑANO, B. Estimation of secondary organic aerosol formation from

continuous OC-EC measurements in a Madrid suburban area. *Atmospheric Environment*, v. 40, p. 1134-1147, 2006.

PRAJAPATI, S. K. Ecological effect of airborne particulate matter on plants. *Environmental Skeptics and Critics* v. 1, p. 12-22, 2012.

QUEROL, Z.; VIANA, M.; ALASTUEY, A.; AMATO, F.; MORENO, T.; CASTILLO, S.; PEY, J.; DE LA ROSA, P.; CAMPA, A. S.; ATÍÑANO, B.; SALVADOR, P.; DOS SANTOS, S.; FERNÁNDEZ-PATIER, R.; MORENO-GRAU, S.; NEGAL, L.; MINGUILLÓN, M. C.; MONFORT, E.; GIL, J. I.; INZA, A.; ORTEGA, L. A.; SANTAMERÍA, J. M.; ZABALZA, J. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment*, v. 41, p. 7219-7231, 2007.

RIDOLO E.; ALBERTINI, R.; GIORDANO, D.; SOLANI, L.; USBERTI, I.; DALL'AGLIO, P. P. Airborne pollen concentrations and the incidence of allergic asthma and rhinoconjunctivitis in northern Italy from 1992 to 2003. *International Archives of Allergy and Immunology*, v. 142, p. 151-157, 2007.

SAEBO, A.; POPEK, R.; NAWROT, B.; HANSLIN, H. M.; GAWRONSKA, H.; GAWRONSKA, S. W. Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of Total Environment*, v. 427-428, p. 347-354, 2012.

SALIM, S. M.; BUCCOLIERI, R.; CHAN, A.; DI SABATINO, S.; CHEAH, S. C. Large eddy simulation of the aerodynamics effects of trees on pollutant concentrations in street canyons. *Procedia Environmental Sciences*, v. 4, p. 17-24, 2011.

SALMOND, J. A.; WILLIAMS, D. E.; LAING, G.; KINGHAM, S.; DIRKS, K.; LONGLEY, I.; HENSHAW, G. S. The influence of vegetation on the horizontal and vertical distribution of pollutants in a street canyon. *Science of Total Environment*, v. 443, p. 287-298, 2013.

SAWYER, R. F. Vehicle emissions: progress and challenges. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, v. 20, p. 487-488, 2010

SHANAHAN, D. F.; LIN, B. B.; BUSH, R.; GASTON, K. J.; DEAN, J. H.; BARBER, E.; FULLER, R. A. Toward improved public health outcomes from urban nature. *American Journal of Public Health*, v. 105, p. 470-477, 2015.

SHANNIGRAHI, A. S.; FUKUSHIMA, T.; SHARMA, R. C. Anticipated air pollution tolerance of some plant species considered for green belt development in and around an industrial/urban area in India: an overview. *International Journal of Environmental Studies*, v. 61, p. 125-137, 2004.

SILVA, E. M. F.; BENDER, F.; MONACO, M. L. S.; SMITH, A. K.; SILVA, P.; BUCKERIDGE, M. S.; ELBL, P. M.; LOCOSSELLI, G.M. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. *Estudos Avançados*, v. 33, p. 81-101, 2019.

SYDNOR, T. D.; SUBBURAYALU, S. K. Should we consider expected environmental benefits when planting larger or smaller tree species. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 37, p. 167- 172, 2011.

TAKEBAYASHI, H.; MORIYAMA, M. Surface heat budget in green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, v. 42, p. 2971-2979, 2007.

TONG Z.; BALDAUF, R. W.; ISAKOV, V.; DESHMUKH, P.; ZHANG, K. M. Roadside vegetation barrier designs to mitigate near-road air pollution impacts. *Science of Total Environment*, v. 541, p. 920- 927, 2016.

TYRVÄINEN, L.; OJALA, A.; KORPELA, K.; LANKI, T.; TSUNETSUGU, Y.; KAGAWA, T. The influence of urban green environment on stress relief measures: A field experiment. *Journal of Environmental Psychology*, v. 38, p. 1-9, 2014.

VILLENEUVE, P. J.; JERRETT, M.; SU, J. G.; BURNETT, R. T.; CHEN, H.; WHEELER, A. J.; GOLDBERG, M. S. A cohort study urban green space with mortality in Ontario, Canada. *Environmental Research*, v. 115, p. 51 - 58, 2012.

XU, Y.; SHANG, B.; YUAN, X.; FENG, Z.; CALATAYUD, V. Relationships of CO₂ assimilation rates with exposure- and flux-based O₃ metrics in three urban tree species. *Science of Total Environment*, v. 613-614, p. 233-239, 2018.

YANG, J.; MCBRIDE, J.; ZHOU, J.; SUN, Z. The urban forest in Beijing and its role in air pollution reduction. *Urban Forestry & Urban greening*, v. 3, p. 65 - 78, 2005.

YANG, J.; YU, Q.; GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 7266-7273, 2008.

YUNUS, M.; YUNUS, D.; IQBAL, M. Systematic bark morphology of some tropical trees. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 1034, p. 367-377, 1990.

WANG, Y. Q.; TAO, S.; JIAO, X. C.; CONVENY, R. M.; WU, S. P.; XING, B. S. Polycyclic aromatic hydrocarbons in leaf cuticle and inner tissues of six species of trees in urban Beijing. *Environmental Pollution*, v. 151(1), p. 158-164, 2008.

WEBER, F.; KOWARIK, I.; SÄUMEL, I. Herbaceous plants as filters: immobilization of particulates along urban street corridors. *Environmental Pollution*, v. 186, p. 234-240, 2014.

5 Sustentabilidade da mobilidade em centros urbanos: um panorama do uso e influência da bicicleta na cidade de São Paulo

Carolina Cássia Conceição Abilio
Maria da Penha Costa Vasconcellos

MOBILIDADE URBANA: DESIGUAL E SEGREGADA

Ao longo dos últimos anos, a mobilidade urbana nos grandes centros apresenta demandas crescentes por custos mais baixos em transporte público, solução alternativa para os congestionamentos e redução de impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis.

A mobilidade de grandes grupos populacionais acarreta sérias consequências ambientais e sociais, para além da poluição aérea, aumento nos níveis de poluição sonora, impactos na camada de ozônio, doenças respiratórias e obesidade, assim como, aumento significativo de acidentes e mortes decorrentes de forma direta ou indireta do trânsito de veículos automotores. Destacam-se recordes de emissões de dióxido de carbono, advindas principalmente da queima de combustíveis fósseis, sendo os transportes terrestres responsáveis por 74% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas por esse setor apenas no ano de 2010 (SHELLER; URRY, 2000; URRY, 2007; IEA, 2012; ZHANG; YAZDANI, 2014).

A soberania dos automóveis é uma realidade presente em vários centros urbanos do mundo, atingindo principalmente cidades com crescente índice populacional e alta taxa de uso de veículos individuais.

Carros ocupam em média 80% dos espaços de trânsito de grandes centros urbanos, apesar de representar apenas 35% das viagens diárias realizadas por seus moradores (RUBIM; LEITÃO, 2013). Em grandes cidades, a mobilidade por meio automotivo de uso individual é insustentável; mesmo se considerando a tendência do uso de veículos elétricos, a viabilidade da circulação urbana permanece comprometida considerando o número de veículos em circulação (REDDY; BALACHANDRA, 2012; INSTITUTE FOR MOBILITY RESEARCH, 2013).

A mobilidade automotiva deve ainda ser considerada em seu impacto financeiro, desde o custo com cuidados médicos por acidentes e doenças respiratórias, desgaste emocional e perda de energia produtiva no tempo gasto em congestionamentos. Em 2010, o Brasil teve um prejuízo financeiro de 2,6% do PIB, o equivalente a R\$ 99 bilhões de reais, valor na época, relacionado ao tempo que os trabalhadores levavam no trajeto origem/destino. Em contrapartida, muitos incentivos financeiros para fomentar o mercado automobilístico ocorreram no Brasil, desde taxas e impostos reduzidos ao adquirir um automóvel, até preços de combustível mais baixos que os de tarifas de ônibus, em alguns períodos localizados (RUBIM; LEITÃO, 2013; VIANNA; YOUNG, 2015).

O Sistema Nacional de Mobilidade Urbana é definido pela Política Nacional de Mobilidade Urbana, como sendo “o conjunto organizado e coordenado dos modos de transporte, de serviços e de infraestruturas que garante os deslocamentos de pessoas e cargas no território do Município” (BRASIL, 2012). Descreve ainda que são considerados modais de transporte urbano os tipos motorizados e não-motorizados, públicos ou privados, coletivos ou individuais, englobando nessas categorias automóveis particulares, ônibus municipais, trens, metrô, táxis e cooperativas de transporte individual, bicicletas e o deslocamento a pé como tendo a mesma prioridade como modalidade de transporte na cidade.

A escolha do ente federal pela construção de rodovias no território nacional e o incentivo à indústria automobilística, de veículos automotores – carro, caminhões e a motocicleta – em detrimento a conexões via ferroviárias e modais sobre trilhos urbanos, caracterizam um dos principais desafios atuais a serem enfrentados no campo da mobilidade urbana. Decorrentes dessa configuração histórica, a mobilidade “carrocêntrica” nos grandes centros, e particularmente, na cidade de

São Paulo, atrasaram soluções possíveis com o uso de outros modais (ZANDONADE; MORETTI, 2012; RUBIM; LEITÃO, 2013).

A busca de um modelo de mobilidade sustentável, faz-se necessário na ampliação e melhorias no serviço, almejando a atratividade do sistema público de transporte sobre o uso do automóvel particular, visando alcançar sustentabilidade ambiental, econômica e social da cidade (SCARINGELLA, 2001; REDDY; BALACHANDRA, 2012; JAIN; SHARMA; SUBRAMANIAN, 2012).

Entre os motivos para a crise ou colapso do sistema de mobilidade paulistano encontra-se a dificuldade do planejamento do poder público em antecipar-se à expansão de uma rede que possibilite responder rapidamente à dinâmica social urbana, evitando priorizar grandes obras, as quais necessitam de significativo investimento de capital, e promovendo outras maneiras de uso da infraestrutura viária já existente, de modo a incentivar a pluralidade de modais. Frente a um problema demasiadamente complexo como esse, com dimensões econômicas, políticas, sociais e tecnológicas, entre outras, é necessário ir além da gestão departamentalizada do tráfego ou do transporte público, e considerar que a mobilidade urbana é vital ao bem-estar e segurança social de seus habitantes, buscando confluir as várias dimensões do poder público em sua melhoria. Essa tentativa de unificação da gestão foi vista pela primeira vez recentemente na cidade de São Paulo, sob a gestão do então prefeito Fernando Haddad (2013-2016) (REQUENA, 2015; SCARINGELLA, 2001).

Requena (2016), ao analisar o panorama da mobilidade na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) a partir dos dados da Pesquisa Origem e Destino (OD) do Metrô, de 2007, encontrou clara predominância dos deslocamentos viários e motorizados, por meio de ônibus e automóveis individuais, principalmente esse último, em taxas mais altas nos espaços geográficos considerados de elite e classe média alta, enquanto os espaços heterogêneos de classes médias e baixas e os espaços exclusivos de classes baixas realizam mais viagens em ônibus.

A Figura 1 refere-se à predominância de viagens coletivas ou individuais dentro de cada uma das zonas OD, assim como às linhas de transporte sobre trilhos e as principais estruturas viárias da metrópole. Na cor cinza escuro, pode-se notar que as regiões em que há predomi-

nância do uso do transporte individual sobre o coletivo estão concentradas no centro expandido e no começo das zonas leste e norte da capital, assim como no ABC, nas regiões centrais de alguns municípios e no extremo leste da RMSP. No local de concentração de infraestrutura adequada, localizada de modo mais focalizado na região central da capital, percebe-se um número maior de viagens sendo realizada pelo modo coletivo.

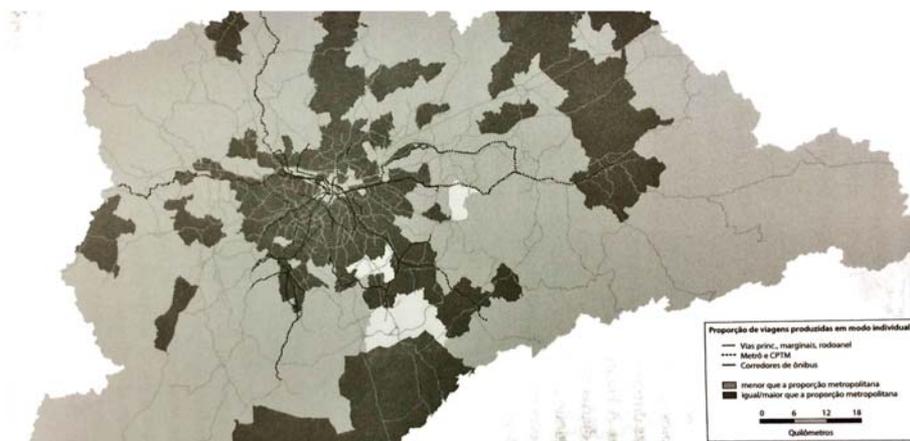


Figura 1 - Razão local entre a proporção de viagens individuais e coletivas, RMSP, 2007

Fonte: Requena (2016)

Legenda:

- menor que a proporção metropolitana
- igual/maior que a proporção metropolitana

Sendo assim, pode-se fazer uma associação entre os espaços das classes com maior poder aquisitivo e o acesso às infraestruturas de transporte de forma mais concentrada na região central da capital. Outros focos de uso do automóvel individual coincidem, ainda, com os espaços nos condomínios murados nas áreas periféricas da cidade.

Segundo (ZANDONADE; MORETTI, 2012; REQUENA, 2016), uso e ocupação do solo na região metropolitana e na região central da

cidade de São Paulo configuram desequilíbrios significativos entre usuários de automóveis e o número de passageiros transportados por modais coletivos.

AS BICICLETAS NA HISTÓRIA DE SÃO PAULO

Frente a esse cenário, esta pesquisa teve como objeto a mobilidade por bicicleta como um modal de transporte.

Originária de cidades europeias, a bicicleta passou por diversas modificações durante o século XIX até tornar-se o que hoje é reconhecido como uma bicicleta. Após seu aperfeiçoamento e produção em larga escala, passou a se destacar por conta de sua versatilidade – poderia ser utilizada tanto para encurtar significativamente o tempo de trajetos, quanto para o lazer, ou para práticas esportivas – e acessibilidade. A bicicleta ainda influenciou largamente a autonomia das mulheres com relação aos próprios deslocamentos, tendo impactos sobre os vestuários utilizados na época, considerando-se o volume das saias, comprimento e incomodo nos movimentos de pedaladas; começa, assim, uma revolução na versatilidade das roupas femininas para seu uso (ARONSON, 1952; SOUZA, 2016).

Em pesquisa, ao relatar o uso da bicicleta ao longo da história da cidade de São Paulo, Souza (2016) aponta que as bicicletas chegaram ao Brasil na segunda metade do século XIX, trazidas por imigrantes europeus que vieram a trabalho para os estados do Paraná e Santa Catarina. Posteriormente, foram também trazidas pela elite burguesa carioca e paulistana, que frequentemente viajava à Europa e se inspirava em estilos de vida desses países, para suas respectivas cidades. A partir daí, foi popularizada nos âmbitos esportivos e de lazer, com a criação de publicações especializadas e a abertura de mercados econômicos relacionados à compra, troca e manutenção de bicicletas.

Em 1948, as duas primeiras e mais conhecidas fábricas de bicicleta brasileiras, Caloi e Monark, foram inauguradas na cidade de São Paulo. Isso tornou a bicicleta mais acessível a outras classes sociais por conta das facilidades de um mercado nacional de peças e modelos, o que barateava os custos de produção e manutenção (GUTH, 2016; SOUZA, 2016).

Em São Paulo, houve a criação de espaços de socialização ao redor da bicicleta como prática esportiva, como o Velódromo, localizado na Rua da Consolação, e diversos clubes. Esses espaços eram frequentados pelas elites da cidade, que circulavam com bicicletas importadas. Contudo, alguns anos após sua chegada no Brasil, a bicicleta já estava sendo utilizada para além dos velódromos e pistas e tomou as ruas da cidade como uma forma de transporte urbano (SOUZA, 2016).

No Brasil, o entusiasmo da bicicleta como manifestação esportiva deu lugar ao favoritismo pelo futebol e corridas automobilísticas, que viriam a se tornar a expressão esportiva típica do país. Sendo assim, a bicicleta passa a ocupar um lugar de menor destaque na mídia e no cotidiano paulistano, passando a ser utilizada como transporte de pequenas cargas e de pessoas e como instrumento de exercício físico. Durante essa época, começo do século XX, o automóvel foi adotado pela elite paulistana e tomou lugar de destaque nas políticas públicas urbanas, também desenhadas pela e para as elites, e foram realizados amplos investimentos viários nas regiões centrais da cidade (ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011; SOUZA, 2016).

Progressivamente, foi sendo deixado de fora das políticas públicas de mobilidade o planejamento municipal voltado aos pedestres, ciclistas e o transporte público, em prol de investimentos significativos em vias exclusivas para a circulação de automóveis. Esse cenário culminou no Plano de Avenidas, iniciado durante a gestão municipal de Prestes Maia (1938-1945), que teve profundos impactos na paisagem urbana e consolidou São Paulo como a capital do automóvel, ajudando também a firmar a imagem do *status* e prestígio social relacionado ao carro (ROLNIK; KLINTOWITZ, 2011; SOUZA, 2016).

Frente a esse cenário, o uso da bicicleta como meio de transporte começa a se popularizar por conta do valor das passagens, do agravamento dos congestionamentos, do crescente número de usuários do sistema de transporte público e como uma maneira de contornar os crescentes tempos de viagem entre os trajetos realizados na capital.

Interessante registrar um modelo de bicicleta em particular, a Barra Circular, lançada pela Monark na década de 1960, foi posteriormente apontado como sendo o principal influenciador da adoção da bicicleta em larga escala por parte de trabalhadores. A Barra Circular é

um modelo popular, financeiramente mais acessível que outras bicicletas da época, e possui dentro do quadro um aro de metal que reforça a sua estrutura, a qual deve seu nome e que proporciona uma robustez maior a toda a estrutura. Conta ainda com um bagageiro embutido, o que a torna versátil para o deslocamento de pequenas e médias cargas, e passageiros. Esse modelo de bicicleta, assim como seu competidor, a Barra Forte da Caloi, lançada na mesma época e seguindo características semelhantes, é ainda hoje muito difundido entre regiões periféricas da cidade e é amplamente utilizado por entregadores e vendedores (GUTH, 2016; SOUZA, 2016) (Figura 2).



Figura 2 - Na esquerda, bicicleta Barra Reta, da Caloi; na direita, bicicleta Barra Circular, comercializada pela Monark

Nota-se o quadro reforçado e bagageiro em ambos os modelos.

Fonte: Abilio (2018)

Ao mesmo tempo em que a bicicleta era associada à classe trabalhadora como modal de transporte, durante as décadas de 1960 e 1970, uma série de campanhas publicitárias por parte da Caloi teve forte influência em pautar a bicicleta como um objeto de lazer da classe média. A criação de modelos casuais, para utilização aos finais de semana, e a inauguração de uma linha infantil de bicicletas, direcionou o consumo desse objeto como um dispositivo para passeio e marcou a infância de crianças (Figura 3) dessa época (SOUZA, 2016).

BLOG PROPAGANDAS DE GIBI
PROPAGANDASDEGIBI.WORDPRESS.COM

tôda a
turminha tá de
Monareta 67
e você,
meu chapa?

Monareta 67 mirim 

Selim MUSTANG - a emoção de estar numa sela de verdade!

A turma dos mais velhos adorou. Agora, e a vez da turminha barra limpa. A sua vez, amiguinho. É a onda máxima, mora! • Diga ao Papai que ele não precisa comprar bicicleta todo ano. Um único tamanho de Monareta serve para muitos e muitos anos. Mostre quanta economia (ele entende disso). • Diga à Mamãe que pedalar na Monareta é um exercício legal para você se desenvolver mais depressa e ganhar saúde. Mamãe vai aprovar! • E olhe: Monareta tem selim "Mustang" - igual a uma sela de verdade, para que você sinta a emoção de cavalgar um pônei. E ainda: Mini-rodas, baixinhas e bem macias (com rodinhas auxiliares, pra aprender a andar). • Não tem conversa, meu chapa: este ano o presente é Monareta. Exija-a do Papai!

uma brasinha lançada pela **Monark**  a bicicleta do Rei Pelé

Figura 3 - Propaganda da bicicleta infantil Monareta 67, da Monark, de 1966
Fonte: Propagandas de Gibi (2018)

O cenário de consumo e cultura da bicicleta segue pautado por essa segregação e imagem, de transporte para os mais pobres e lazer e diversão para classes mais altas, até o final da década de 1970 e o começo da década de 1980, onde é então marcado por uma mudança significativa. A maior liberdade corporal, a geração do corpo saudável e sarado, os debates sobre as práticas do tempo livre que se deram em meio à agitação da década de 1970 tiveram como consequência a formação de novas tribos urbanas e a busca por novas práticas esportivas. Entre outros esportes que proliferaram nessa época, como o skate e os patins, a prática de BMX – abreviação de *Bicycle Biccross* – foi amplamente adotada por jovens no Brasil. O BMX é praticado com bicicletas rebaixadas, com rodas de tamanho menor, para a realização de manobras (SOUZA, 2016), conforme apresentado na Figura 4. Nota-se a geometria compacta da bicicleta para saltos e manobras.



Figura 4 - Praticante de BMX realiza manobra na escadaria do Metrô Liberdade, no centro de São Paulo

Fonte: Naffita BMX (2018)

Juntamente com a expansão da prática do BMX, com a criação de pistas e contando com o incentivo das marcas nacionais de bicicletas, popularizaram-se em larga escala no Brasil as bicicletas especializadas para trilhas de terra, as Mountain Bikes. Essas novas modalidades esportivas centradas na bicicleta foram responsáveis pela criação de um cenário nacional de ciclismo, com provas disputadas internacionalmente, equipes esportivas profissionais, associações, revistas e bicicletarias especializadas, e a criação de grupos amadores para a prática e difusão do ciclismo como prática urbana. Por conta da fácil utilização das Mountain Bikes em ruas asfaltadas, muitos grupos de ciclismo urbano que marcaram a cena em São Paulo se estabeleceram durante essa época (Figura 5), como o Night Bikers, de 1988, e o Saia na Noite, de 1992 (GUTH, 2016; SOUZA, 2016).



Figura 5 - Membros do Night Bikers pedem implementação da Lei Municipal 10.907/90, que dispõe sobre espaços para ciclovias no município de São Paulo, no começo dos anos 1990

Fonte: Bike É Legal (1990)

O mercado de bicicletas brasileiro, contudo, apresentou nesse período desigualdade de gêneros. Um dos primeiros modelos femininos de bicicleta, no Brasil, foi lançado quase 40 anos após o estabelecimento das primeiras fábricas nacionais de bicicleta, em 1975 pela Caloi. Comercializada como Caloi Ceci, o modelo contava com uma cesta dianteira e barra central rebaixada, assim como uma geometria mais leve e fina, características que atrairiam o público feminino e a tornaram um sucesso de vendas. Direcionado a mulheres contemporâneas, a Caloi Ceci possuía um forte apelo à delicadeza e ao bom gosto, como indicado por seu *slogan*: “ande na moda com Caloi Ceci” (Figura 6).



Figura 6 - Propaganda do primeiro modelo feminino de bicicletas, Caloi Ceci, de 1980

Fonte: Caloi (1980)

Em 1997, com a formação de novos grupos de ciclismo nas cidades brasileiras e o impulso do cicloativismo, assim como a presença constante e crescente da bicicleta nas vias, culmina na inclusão da bicicleta como um veículo não-motorizado no Código de Trânsito Brasileiro

(CTB). Como tal, permite que seu condutor circule nas vias em meio ao tráfego geral e tenha prioridade com relação a veículos motorizados por conta de sua vulnerabilidade física. Contudo, algumas críticas são apontadas, como o fato de a legislação não prever o treinamento dos condutores de veículos motorizados, como carros, caminhões e ônibus para a presença de bicicletas nas vias, assim como não prevê normativa de comportamentos de condução para o ciclista, o que pode potencializar acidentes em situações inesperadas (MALATESTA, 2014).

Posteriormente, a Política Nacional de Mobilidade Urbana (2012) prioriza os investimentos, norteia o desenvolvimento de políticas públicas em modais ativos de deslocamento e exige a criação de um Plano Municipal de Mobilidade Urbana em complexo metropolitano expandido (GUTH, 2016). Em São Paulo o Plano Municipal de Mobilidade Urbana mais recente, datado de 2015, teve importantes impactos nas políticas públicas ciclovárias.

Em São Paulo, a bicicleta já havia sido contemplada como modal pelo primeiro plano ciclovitário a nível municipal em 1981 no qual foi elaborado um projeto de ligação entre os dois polos mais significativos do ciclismo na cidade à época a Cidade Universitária e o Parque do Ibirapuera. Nessa mesma ocasião, a CET elaborou um plano de ciclovias em escala municipal baseado na disponibilidade de avenidas de acomodar bicicletas em seus canteiros centrais – por conta da inexistência de dados de uso e demanda da bicicleta, que passariam a ser registrados pelas Pesquisas OD futuras – denominado de Sistemas Ciclovitários Setoriais. Embora o projeto nunca viesse a ser concretizado, muitas das ciclovias delimitadas pelo estudo foram construídas posteriormente sem alterações, o que comprova sua elevada qualidade técnica (MALATESTA, 2014).

Historicamente, representantes da sociedade civil organizada impactaram significativamente o avanço das políticas públicas ciclovárias, como apontado por Malatesta (2014) e Souza (2016). Em 2005 foi criado o Grupo de Trabalho (GT) Bicicleta, junto à CET, formado por representantes do poder público estadual, municipal e membros da sociedade civil. O GT foi responsável pela produção de um documento com o planejamento de uma infraestrutura ciclovitária de 104,8 km, embora poucos quilômetros viessem a ser implementados. Em 2015 foi instituído dentro do Conselho Municipal de Transporte e Trânsito (CMTT)

a Câmara Temática da Bicicleta (CTB), que contém representantes regionais de cada uma das macrorregiões da cidade, assim como representantes indicados por associações de cicloativismo de São Paulo e representantes da prefeitura e CET (SÃO PAULO, 2015b). Originalmente criado para discutir a implementação do plano cicloviário de 400km com a opinião e participação ativa dos ciclistas, que conheciam as especificidades de suas regiões, o grupo segue atualmente como um local de discussão sobre futuras políticas cicloviárias e assuntos de interesse geral, como campanhas de educação no trânsito, disputas sobre retiradas de ciclovias, novos desenhos viários e implementação de bicicletários.

Desse modo, durante 1997 a 2007, as viagens por bicicleta aumentaram em 200% na RMSP, ainda que não representem ao todo 1% das escolhas de modal – são o equivalente a 0,8% do total de viagens da RMSP e 0,6% das viagens do município. Foram impulsionadas principalmente pela falta de acesso ao sistema público de transportes, seja por conta dos altos valores da tarifa ou pela falta de cobertura em toda mancha urbana, assim como pelos crescentes índices de congestionamento e o tempo gasto no trânsito. Sua praticidade de uso e mobilidade também contribui para sua adoção como meio de transporte, principalmente levando em conta gastos com estacionamento, documentação e combustível quando comparados a veículos (MALATESTA, 2014; SÁ et al., 2016; SOUZA, 2016).

A partir de 2012 nota-se uma importante modificação no padrão de consumo e uso de bicicletas. Além de queda no número total de ciclistas da cidade, observou-se um aumento do consumo de bicicletas da camada 25% mais rica da população, ao mesmo tempo em que se observa um declínio de uso dos 25% mais pobres. Sá et al. (2016) argumentam que a diminuição do consumo de bicicletas pelas camadas mais empobrecidas da população pode estar relacionada com políticas de incentivo à compra de veículos motorizados, como automóveis e motocicletas, lançadas pelo poder público a fim de combater a crise interna do país, durante os anos de 2007 e 2012. Como indicado anteriormente, as altas distâncias percorridas por trabalhadores moradores de regiões periféricas também contribuem para a utilização de carros e motos por aqueles que podem acessar esses meios.

Em pesquisa realizada em 2015 pela Organização Não Governamental (ONG) Ciclocidade – Associação de Ciclistas Urbanos de São

Paulo – foi traçado perfil dos usuários de bicicleta na cidade de São Paulo. Em média, o ciclista urbano paulistano realiza um trajeto de 10 a 30 minutos, cinco vezes por semana e, em aproximadamente 70% dos casos, utiliza a bicicleta como único meio de transporte para a locomoção, não realizando integração com outros modais. Aproximadamente 40% da amostra possui renda média entre um e três salários mínimos e pertence à faixa etária abrangendo 25 a 34 anos. Mais de 85% dos ciclistas abordados são do sexo masculino. Esses dados são corroborados por outra pesquisa realizada em âmbito nacional pela ONG Transporte Ativo (CICLOCIDADE, 2015; TRANSPORTE ATIVO, 2015).

Um marco recente na história de políticas públicas voltadas à ciclistas foi a implementação, em larga escala, de um plano municipal cicloviário. A gestão municipal do Prefeito Fernando Haddad (2013-2016) adotou diversas medidas de incentivo à pluralidade de modais de transporte na cidade, com enfoque em um modelo de mobilidade sustentável e almejando a transformação de São Paulo em uma cidade sustentável. Foram realizadas, durante sua gestão, importantes ações para a melhoria do cenário do transporte público na cidade, como implementação de faixas exclusivas de ônibus nas principais vias, redução da velocidade máxima para automóveis nas principais vias, e implementação de estruturas cicloviárias em larga escala, a maior já vista pela cidade.

O Plano de Mobilidade do Município de São Paulo, de 2015, propõe “a construção de um modelo de mobilidade que priorize o transporte coletivo em detrimento ao individual motorizado” (SÃO PAULO, 2015a, p. 100), assim como uma posição de “incentivo aos modos não motorizados ou mais propriamente à mobilidade ativa (o modo a pé e bicicleta), que promovem ganhos ambientais, econômicos, sociais e de saúde” (SÃO PAULO, 2015a, p. 100). Em consonância com demais políticas, o plano prevê ainda uma meta de aumento do número de incentivos ao uso da bicicleta, como criação de bicicletários públicos, integração da bicicleta como modal na utilização de outros equipamentos de transporte e a implementação de uma redistribuição da malha viária em chamadas ruas completas, com ênfase em calçadas, ciclovias e áreas de embarque e desembarque de transporte público (SÃO PAULO, 2015a).

As mudanças realizadas no cenário da cidade buscam desfocar o desenho e a funcionalidade da malha urbana de um modelo centrado na mobilidade por carros e melhorar as condições para que viagens com

outros tipos de modais ocorram, principalmente por veículos não motorizados. Ao considerar o pedestre como elemento chave da configuração, o desenho urbano deve propiciar uma conectividade de rotas, de modo a possibilitar o deslocamento a pé do ponto de origem ao destino, assim como uma oferta de estímulo à vida urbana e à ocupação do espaço público, conferindo assim uma característica de caminhabilidade sobre o espaço (RODRIGUES et al., 2014; BARROS; MARTÍNEZ; VIEGAS, 2015).

Em 2018, o município de São Paulo contava com 498,3 km de vias com tratamento cicloviário permanente, sendo 468 km de ciclovias e ciclofaixas e 30,3 km de ciclorrotas, segundo informações de consulta pública da CET¹. Além das estruturas permanentes, possui ainda 120,8 km de ciclofaixas operacionais de lazer, que são abertas aos domingos e feriados. Paralelamente houve um aumento do número de bicicletários e paraciclos disponíveis, que disponibilizam 6.149 vagas nos bicicletários públicos e 121 paraciclos distribuídos próximos aos terminais de transporte público e locais de interesse cultural, como shoppings e museus.

Complementando o sistema cicloviário da cidade, parcerias público-privadas resultaram em dois programas de compartilhamento de bicicletas na cidade, a BikeSampa e o CicloSampa. Financiados por bancos privados, os dois sistemas juntos disponibilizam mais de 2.000 bicicletas públicas espalhadas em 292 estações localizadas principalmente na região centro-oeste da cidade, que podem ser utilizadas por qualquer cidadão cadastrado na plataforma do programa. A partir de 2018, esse cenário é complementado pelas bicicletas compartilhadas tipo *dockless* – bicicletas sem uma estação fixa – da empresa Yellow, *startup* de mobilidade urbana dos mesmos fundadores da 99.

O avanço das bicicletas no cenário urbano da cidade, assim como a ampliação da estrutura cicloviária disponível, impactou também a chegada de outros modais de transportes urbanos mirando trajetos cotidianos curtos, como é o caso dos patinetes eletrônicos². A disputa de mais de 10 empresas por uma fatia do mercado, crescente, de pequenos

¹ Consulta em janeiro de 2018.

² <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/02/uber-e-outras-10-empresas-entregam-planos-para-operar-patinete-em-sp.shtml>. Acesso em: 18 fev. 2019.

trajetos individuais indica a potencialidade lucrativa desse meio, que já avançou sobre algumas cidades, principalmente norte-americanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora a bicicleta não seja uma adição recente à paisagem urbana paulistana, sua história, e a de seus usuários, está intimamente relacionada a lutas por melhorias no campo da mobilidade urbana relacionada à mobilidade ativa e sustentável. Assim como nas suas primeiras aparições históricas, a bicicleta também revolucionou e possibilitou a liberdade de movimento àqueles que estavam, de alguma forma, restritos a ele.

A ampliação de seu uso em anos recentes, revigorada pelas políticas públicas ciclovárias e pela inacessibilidade de outros meios de transporte, coincidiu com outras mudanças importantes no cenário da mobilidade urbana da cidade de São Paulo, como a introdução, em larga escala, de aplicativos de caronas compartilhadas, assim como bicicletas e patinetes elétricos para aluguel.

Um importante indicativo da mudança dos padrões de locomoção do usuário dos sistemas de transporte é a substituição do ônibus, carro-chefe de grande parte das deslocamentos urbanos, para os sistemas de transporte sobre trilhos e os aplicativos de caronas³. Embora ainda sutis, essas mudanças têm impacto direto na produção e manutenção de hábitos cotidianos relacionados a sociabilidades, consumo, relações de trabalho e a produção da própria cidade, e merecem ser melhor estudados também por outros campos que não classicamente se ocupam com os estudos da Mobilidade, como as Ciências Humanas e Sociais.

Estudos realizados em diversos centros urbanos e políticas públicas voltadas aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) explicitam a necessidade da mobilidade por bicicletas com impactos positivos na saúde física e mental de seus usuários, na diminuição dos impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis, no ganho

³ <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/12/onibus-perde-espaco-para-metro-trem-e-aplicativos-nos-deslocamentos-em-sp.shtml>. Acesso em: 18 fev. 2019.

de tempo origem e destino e, particularmente, na diminuição de sobrecarga nos transportes coletivos no transporte de passageiros em distâncias maiores.

Recomenda-se que o poder público nas cidades brasileiras efetivamente implemente e incentive a cultura do ciclismo, com a criação de ciclovias, estacionamento para as bicicletas, treinamento para o uso de novos usuários, serviços de reparos especializados e espacializados na cidade e legislação local de incentivo às condições de infraestrutura de higiene pessoal nos locais de trabalho.

REFERÊNCIAS

ABILIO, C. “*É uma sensação de vácuo...*”: Contribuições da Sociologia da Mobilidade sobre o uso da bicicleta na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ARONSON, S. H. The Sociology of the Bicycle. *Social Forces*, v. 30, n. 3, p. 305-312, 1952.

BARROS, A. P. B. G.; MARTÍNEZ, L. M. G.; VIEGAS, J. M. A caminhabilidade sob a ótica das pessoas: o que promove e o que inibe um deslocamento a pé? *UR Cadernos FA / UL*, v. 8, p. 94-103, 2015.

BIKE É LEGAL. 1990. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QHUK6NGYPWU> Acesso em: 02 fev. 2018.

BRASIL. *Lei No 12.587, de 3 de janeiro de 2012*, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso em: 02 nov. 2015.

CALOI. *Caloi Ceci*. Filme para a campanha Caloi Ceci da Caloi, 1980. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?time_continue=30&v=GQDWrkdPvjU Acesso em: 02 fev. 2018.

CICLOCIDADE. *Pesquisa: Perfil de Quem Usa Bicicleta na Cidade de São Paulo - Arquivo de Apresentação*. 2015. Disponível em: <http://www.ciclocidade.org.br/noticias/773-pesquisa-perfil-de>

quem-usa-bicicleta-na-cidade-de-sao-paulo-arquivo-de-apresentacao>. Acesso em: 02 fev. 2016.

GUTH, D. Migração Modal: por que estamos perdendo ciclistas diariamente. In: ANDRADE, V.; RODRIGUES, J.; MARINO, F.; LOBO, Z. *Mobilidade por Bicicleta no Brasil*. PROURB/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *CO₂ Emissions from Fuel Combustion*. Disponível em: http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/PBL_2012-International-Energie-Agency-CO2-from-fossil-fuel-combustion-ed-2012-PART-III.pdf Acesso em: 02 jan. 2018.

INSTITUTE FOR MOBILITY RESEARCH. *Megacity Mobility Culture: how cities move on in a diverse world*. 1st. Ed. Munich: Springer, 2013.

JAIN, V.; SHARMA, A.; SUBRAMANIAN, L. Road traffic congestion in the developing world. *Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Computing for Development - ACM DEV '12*, p. 1, 2012.

MALATESTA, M. E. B. *A bicicleta nas viagens cotidianas do município de São Paulo*. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

NAFFITA BMX. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=95jSs3w2a6w>. Acesso em: 02 fev. 2018.

PROPAGANDAS DE GIBI. *Anúncios old school publicados em gibis*. Disponível em: <https://propagandasdegibi.wordpress.com/tag/1966/>. Acesso em: 02 jan. 2018.

REDDY, S.; BALACHANDRA, P. Urban mobility: A comparative analysis of megacities of India. *Transport Policy*, v. 21, n. May, p. 152-164, 2012.

REQUENA, C. *O paradigma da fluidez do automóvel: burocracias estatais e mobilidade em São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Ciências Políticas) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

REQUENA, C. A mobilidade paulistana: viária e desigual. In: MARQUES, E. (org.). *A metrópole de São Paulo no século XXI*. São Paulo, Ed. Unesp, 2016.

RODRIGUES, A. R. P. et al. Indicadores do desenho urbano e sua relação com a propensão a caminhada. *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 3, p. 62-88, 2014.

ROLNIK, R.; KLINTOWITZ, D. (I)Mobilidade na Cidade de São Paulo. *Estudos Avançados*, v. 25, n. 71, p. 89-108, 2011.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. Plano de Mobilidade Urbana e o futuro das cidades. *Estudos Avançados*, v. 27, n. 79, p. 55-66, 2013.

SÁ, T. H.; DURAN, A. C.; TAINIO, M.; MONTEIRO, C. A.; WOODCOCK, J. Cycling in São Paulo, Brazil (1997-2012): Correlates, time trends and health consequences. *Preventive Medicine Reports*, v. 4, p. 540-545, 2016.

SÃO PAULO. *Plano de Mobilidade Urbana. 2015a* Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/planmob/>>. Acesso em: 02 jul. 2016.

SÃO PAULO. *Câmeras temáticas. 2015b*. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/participacao_social/conselhos_e_orgaos_colegiados/conselho_1/index.php?p=215736. Acesso em: 02 jan. 2018.

SCARINGELLA, R. S. A Crise Da Mobilidade Urbana Em São Paulo. *São Paulo em Perspectiva*, v. 15, p. 55-59, 2001.

SHELLER, M. B.; URRY, J. The City and the Car. *International Journal of Urban and Regional Research*, v. 24, n. December 2000, p. 737-757, 2000.

SOUZA, Y. V. *Quando as rodas conquistam a cidade: cultura, tensões, conflitos e ações na prática do ciclismo em São Paulo*. Dissertação (Mestrado em História Social) - Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2016.

TRANSPORTE ATIVO. *Pesquisa Nacional pela Mobilidade por Bicicleta*. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.ta.org.br/perfil/ciclista.pdf>>. Acesso: 02 ago. 2016.

URRY, J. *Mobilities*. Cambridge: Polity Press, 2007.

VIANNA, G. S. B.; YOUNG, C. E. F. Em Busca do Tempo Perdido: uma estimativa do produto perdido em trânsito no Brasil. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 19, n. 3, p. 403–416, 2015.

ZANDONADE, P.; MORETTI, R. O Padrão de Mobilidade de São Paulo e o Pressuposto de Desigualdade. *Eure*, v. 38, n. 113, p. 77–97, 2012.

ZHANG, M.; YAZDANI, B. Editorial: paradigm change of mobility in the twenty-first century. *Journal of Sustainable Mobility*, v. 1, n. 1, p. 9–18, 2014.

6 Gestão da saúde e segurança do trabalho no setor de transporte ferroviário: muito além dos padrões

Leandra Antunes

Ildeberto Muniz de Almeida

INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário metropolitano de passageiros é um modal que presta um importante papel para a sociedade, favorecendo a articulação de regiões e o deslocamento de pessoas para o trabalho e lazer.

Outro papel muito importante que o transporte ferroviário de passageiros representa para a sociedade é o significativo volume de emprego para muitas pessoas. O ambiente de trabalho no setor de transporte ferroviário de passageiros é complexo e envolve uma série de riscos para os trabalhadores que, por sua vez, podem acarretar graves acidentes do trabalho. Entre os possíveis riscos que os trabalhadores podem estar expostos, o atropelamento por trem é um dos riscos apontado por vários autores (FISCHER et al.; 2004; SOUZA; FRATINI, 2005; AREOSA, 2014; PANTUZZO, 2015).

Fischer et al. (2004) analisaram 34 acidentes envolvendo maquinistas de trens urbanos no Rio Grande do Sul, com o objetivo de identificar fatores causais dos acidentes ocorridos no período de 1987 a 1992, de 1994 a 1998 e 2000 a 2002. Os autores identificaram que o tipo de acidente mais frequente é o atropelamento ou suicídio de usuário (23,5%), que ratificam a carga psíquica do maquinista, cujas consequências são o estado de tensão no dia a dia e o sentimento de culpa pelo atropelamento.

Queda de trabalhador com e sem diferença de nível surgem ambas com 20,6% dos acidentes. Nesses casos, a chuva amplia o risco de

queda no lastro da via permanente e na escada de acesso ao trem (FISCHER et al., 2004).

Outro ponto relevante apontado no mesmo estudo é que a pressão pelo cumprimento de horário e/ou as poucas horas de sono, no caso de maquinistas com revezamento noturno, também são fatores que podem ter contribuído com a ocorrência dos acidentes (FISCHER et al., 2004).

Segundo Souza e Fratini (2005), durante a 63ª reunião da Comissão Metroferroviária da Associação Nacional de Transportes Público (ANTP), o Grupo de Trabalho de Gestão de Riscos identificou a necessidade das operadoras do transporte ferroviário investirem em tecnologias relacionadas a sistemas de prevenção de atropelamentos.

Em estudo sobre a percepção de risco dos trabalhadores no setor ferroviário em Portugal, maquinistas relataram que colidir com outro trem ou atropelar uma pessoa estão entre os maiores medos que têm no ambiente de trabalho. A mesma pesquisa também apresenta relatos de trabalhadores que necessitam de apoio psicológico, justamente por terem presenciado situações de atropelamento e retirada do corpo da vítima para liberação da via (AREOSA, 2014).

A equipe que atua na manutenção da via permanente está sujeita ao atropelamento durante a inspeção, em especial na inspeção e manutenção dos dormentes, na manutenção de lastro, na soldagem de trilhos e nos serviços de poda, roçada, limpeza de canaletas e recolhimento de lixo. Quanto à manutenção da via, o autor relata que o horário mais adequado, do ponto de vista da segurança, para realizar a manutenção da via é o período noturno, entretanto, a falta de iluminação noturna é um fator que pode reduzir a segurança (PANTUZZO, 2015).

De acordo com Llory e Montmayeul (2014), é preciso reconhecer que a segurança ferroviária é complexa e que aprofundada análise das causas dos acidentes pode contribuir com a prevenção da ocorrência de novos eventos similares. Os autores salientam que, a segurança precisa ser conduzida com base em estudos preventivistas de risco e no estabelecimento de ações corretivas, de formação e reciclagem de pessoal e uma análise aprofundada das lições aprendidas com as experiências.

Nesse sentido, analisar as causas dos acidentes de trabalho no setor ferroviário é um assunto de suma importância para os trabalhadores, à sustentabilidade da organização e à sociedade.

MODELOS CAUSAIS

No meio técnico, ainda são realizadas análises de acidentes do trabalho apoiadas em modelos causais que não incluem as escolhas e as possíveis dificuldades que um trabalhador pode encontrar durante a execução do trabalho (LLORY; MONTMAYEUL, 2014).

Em algumas empresas prevalece a visão reducionista de que os acidentes do trabalho seriam eventos causados pelo comportamento inadequado de operadores atrelado ao descumprimento dos padrões de segurança (ALMEIDA; VILELA, 2010; LLORY; MONTMAYEUL, 2014). Estudo baseado em 71 laudos de acidentes do trabalho, identificou que as vítimas costumam ser responsabilizadas pelos acidentes, mesmo em situações de elevado risco e sem condições mínimas de segurança para os trabalhadores (VILELA; IGUTI; ALMEIDA, 2004). Ainda segundo os autores, quem analisou os acidentes os tratou como algo simples, com causa única, sem explorar outras eventuais causas, sem fazer referência à condição disponível para o desenvolvimento da atividade e ao estado dos indivíduos.

As pessoas são propensas a esquecer que há complexidades nas formas de trabalho. Sendo assim, atribuir a culpa a vítima é uma maneira simplista de reduzir a responsabilidade sobre o acidente e as suas consequências (AREOSA, 2012).

O cenário torna-se mais preocupante à medida que o profissional de segurança do trabalho que conduz a análise dos acidentes tende a proteger a empresa a qual é subordinado e, por consequência, tende a transferir a responsabilidade aos trabalhadores vitimados (JACKSON FILHO et al., 2013).

Ao analisar um acidente é preciso explorar o histórico de ocorrências relacionadas às suas origens; mapear os atores e suas inter-relações para que sejam identificadas disfunções organizacionais; também é importante analisar como se deram as decisões e o seus impactos na ocorrência do acidente.

Explorada em profundidade e apoiada em conceitos guia, a análise dos acidentes do trabalho pode possibilitar aprendizado organizacional (ALMEIDA et al., 2014).

Apesar disso, em muitos casos, a conclusão da causa do acidente pode ser lavrada de maneira pouco aprofundada, dependendo da visão adotada para a elaboração da análise de acidente de trabalho.

A investigação das causas mais profundas está quase sempre relacionada a aspectos organizacionais, e permite uma avaliação de múltiplos aspectos que contribuíram com o acidente (LLORY; MONTMAYEUL, 2014).

Em 05 de outubro de 1999, dois trens colidiram de frente em Ladbroke Grove, subúrbio de Londres. Na ocasião, o maquinista não parou em sinal vermelho e conduziu o trem para uma via que estava sendo ocupada por composição de alta velocidade que trafegava em sentido contrário. Diante da iminente colisão, os controladores da ferrovia não tiveram tempo hábil para reagir e evitar o desastre. A colisão deixou 31 mortos e mais de 400 feridos (LLORY; MONTMAYEUL, 2014).

Ao invés de culpar o maquinista do trem que não parou no sinal e/ou os controladores que reagiram tardiamente e assim encerrar a análise do acidente, buscou-se analisar detalhadamente as situações de trabalho disponíveis para os maquinistas dos trens e para os controladores da ferrovia, antes do veredito final. Uma análise do acidente com maior grau de detalhamento, ou seja, com maior profundidade, permitiu que fossem evidenciadas falta de visibilidade e legibilidade do sinal devido a incidência do sol no instante do acidente, aspectos da complexidade do sistema de comunicação que comprometeu a agilidade no momento de emergência, por parte do controlador da ferrovia além de histórico de problemas de segurança mantidos intocados, todos envolvendo o mesmo sinal. (LLORY; MONTMAYEUL, 2014).

A reanálise do caso contribuiu para a tomada de ações corretivas de maneira mais assertiva, com foco preventivo, favorecendo a gestão da saúde e segurança do trabalho.

MODELOS DE ANÁLISE ORGANIZACIONAL

Os acidentes de trabalho ocorrem devido à uma rede de fatores interligados. Dentro do cenário, Llory e Montmayeul (2014) sugerem que a organização seja explorada em três dimensões, como segue:

- i. **Dimensão temporal ou histórica:** o período de incubação do acidente é caracterizado por um período onde não é dada atenção

aos acontecimentos que trazem sinais da degradação do ambiente de trabalho. Portanto, é fundamental que seja verificado se as condições de segurança do trabalho estavam degradadas antes do acidente que está sendo analisado. Os autores apresentam, como exemplo, que no caso do acidente com o trem ocorrido em Londres, a equipe responsável pela análise investigou a história do local da sinalização e descobriu que, anos antes do acidente, a sinalização foi trocada quando a via passou a ser bidirecional, além de passar a ter trens de alta velocidade. A investigação permitiu concluir que a sinalização da via permanente estava em local inadequado e com falha na legibilidade.

- ii. **Dimensão transversal:** analisar como a dinâmica das relações entre as áreas da empresa e sua interface com empresas terceirizadas, flui de maneira integrada e cooperativa. Sendo assim, é importante que sejam pesquisados todos os atores envolvidos no evento que está sendo investigado, seus organismos de vinculação e a gerência responsável pela definição da organização do trabalho.
- iii. **Dimensão vertical:** averiguar a relação dos recursos humanos em toda a organização, desde o nível operacional até a alta gerência. Um olhar apurado para disfunções decorrentes seja da ausência da tomada de decisão, ou das ações tomadas é primordial na análise da dimensão vertical. Os autores acrescentam, como exemplo, no caso de Ladbroke Grove, o fato de não se ter dado ouvidos aos pedidos de modificação da sinalização.

Na mesma obra os autores recomendaram a inclusão da dimensão comunicações na análise desse tipo de eventos. Isso significa explorar mecanismos existentes e adotados nas comunicações entre instâncias de mesmo nível e de diferentes níveis hierárquicos no sistema.

A análise dos saberes do trabalhador está relacionada a diferença existente entre o trabalho real e o trabalho prescrito. Para Daniellou, Simard e Boissières (2010), o trabalho prescrito, ou seja, a forma de execução do trabalho e a forma de usar as máquinas e ferramentas, as regras e o tempo atribuído para a execução não correspondem ao trabalho real desempenhado pelo trabalhador.

Para compreender o trabalho real, a influência dos fatores organizacionais sobre as atividades e o surgimento dos agravos, é possível contar com a Ergonomia da atividade.

Hollnagel (2014) preconiza que o processo de análise de acidente de trabalho precisa incluir etapa de compreensão do cotidiano do trabalho, incluindo a identificação dos acertos e erros que ocorrem diariamente, para que sejam efetivamente compreendidas as razões que explicam o ocorrido.

Por definição, erros são ocorrências involuntárias. Eles podem ocorrer devido a desvio de um objetivo, uma norma ou uma regra. Em classificação bastante difundida, Reason (2000) diferencia erros na execução do planejado, quer dizer, a possibilidade de não fazer algo ou de não agir conforme o pretendido (lapsos e deslizes) e a possibilidade de se fazer o pensado e não alcançar o pretendido (engano “*mistakes*”). Para Daniellou, Simard e Boissières (2010), os principais tipos de erros estão vinculados a:

- Uma confusão de percepção ou lapso, por exemplo, digitou 17236 no lugar de 17326.
- Execução da regra, devido a uma situação mal caracterizada. Muitas vezes uma pessoa externa é que irá conseguir visualizar o erro.
- Modo de implementação do conhecimento, quando o trabalhador precisa mobilizar um conhecimento para analisar uma situação e tomar uma decisão, principalmente em situações não habituais.

Amalberti (2016) acrescenta que para desconstruir a ligação entre o erro e o acidente, seria necessário analisar os saberes do trabalhador e a maneira que ele controla uma determinada situação.

Jackson Filho e Lima (2015) citam que a Análise Ergonômica do Trabalho implica em compreender, do ponto de vista dos atores, como ocorrem as falhas do processo de trabalho. Sendo assim, a verificação dos erros humanos com base na exclusiva análise dos desvios de comportamento seguro passa a ser uma abordagem inadequada.

A análise de mudanças é o processo que busca esclarecer as origens que contribuíram para a ocorrência das mudanças. Para tanto, são

realizados questionamento que buscam identificar as causas mais profundas que contribuíram para a mudança ocorrida no acidente (ALMEIDA et al., 2014).

O processo pode identificar origens técnicas, tais como, choque elétrico, intoxicação etc. Entretanto, a identificação de falhas na gestão, falhas na comunicação, falhas na manutenção e os aspectos sociais ou comportamentos que influenciaram nas decisões tomadas também podem surgir como fatores que contribuíram para a ocorrência do acidente (ALMEIDA et al., 2014).

Segundo Reason (2000), na análise de acidentes organizacionais é importante considerar que os seres humanos estão sujeitos a falhas e os erros surgem como consequência de fatores sistêmicos que estão à montante. O autor cita que os erros podem ser considerados consequências, ao invés de causas. Sendo assim, o importante é compreender os motivos que explicam as falhas das barreiras e os fatores históricos que contribuíram com a incubação do acidente.

As barreiras permitem a proteção dos trabalhadores e são usados no controle de situação de risco ou perigo pelo controle de energia e transporte incontrolado de massa ou informação. De acordo com Holnagel (2014), são divididas em físicas ou materiais, funcionais e simbólicas.

As barreiras físicas permitem o bloqueio físico e a propagação da energia, por exemplo, uma porta-corta fogo. As barreiras funcionais são pré-condição de uma ação, por exemplo um sistema de intertravamento que bloqueia o sistema. E, as barreiras simbólicas necessitam de interpretação para alcançar o propósito, por exemplo, as placas de sinalização, os alarmes etc. (ALMEIDA; VILELA, 2010).

Reason (2000) compara barreiras com as fatias de um queijo suíço (Figura 1), pelo fato das barreiras poderem apresentar falhas. Segundo a teoria, a presença de um furo em uma das camadas pode não gerar grandes consequências, mas se houver furos em diversas camadas, e os mesmos estiverem alinhados, surgem uma trajetória e a oportunidade da ocorrência de acidente.

O conceito de barreiras também é tratado no diagrama Bow-Tie, ou gravata-borboleta. O diagrama foi desenvolvido para a indústria de alta tecnologia, mas com o passar do tempo a área de segurança do trabalho também passou a usá-lo, por permitir a compreensão de possíveis

caminhos entre o perigo e o acidente, além de também compreender a influência do sistema de segurança sobre o evento, no caso o acidente (JACINTO; SILVA, 2010).

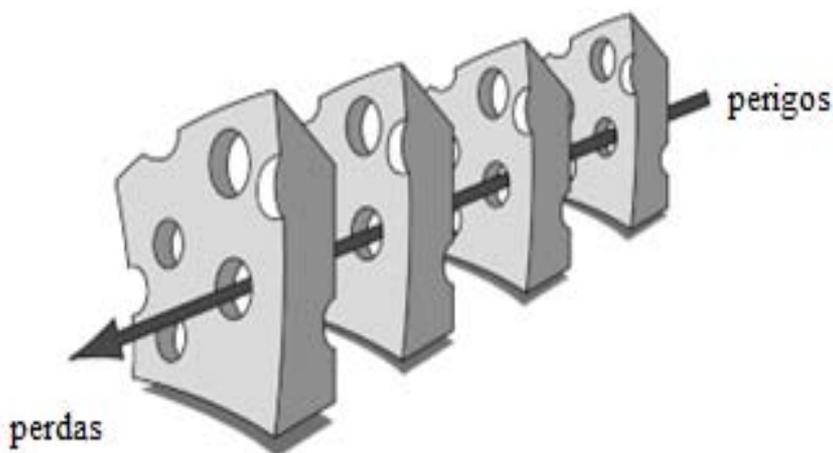


Figura 1 - Modelo do “Queijo Suíço”

Fonte: Reason (2000)

A Figura 2 apresenta o diagrama, onde o lado esquerdo inclui uma lista de potenciais perigos que podem conduzir a um acidente, enquanto o lado direito representa as diversas consequências possíveis. Entre os perigos e o evento indesejável, o diagrama apresenta barreiras de prevenção para evitar o evento indesejável. E entre o evento indesejável e as consequências, o diagrama apresenta barreiras de proteção para minimizar as consequências (JACINTO; SILVA, 2010).

Entre os principais benefícios do uso do diagrama é apontada a avaliação do desempenho da barreira, por exemplo, como se deu o tempo de resposta, o nível de eficiência e o nível de confiança, contribuindo de maneira acentuada com a gestão de riscos (JACINTO; SILVA, 2010).

No contexto da análise dos acidentes, a análise das barreiras contribui para a compreensão das falhas da proteção do trabalhador contra as nocividades presentes no sistema, sendo assim, um importante ponto de partida para o entendimento das falhas na gestão de segurança que

levaram ao acidente (ALMEIDA et al., 2014). Em síntese, a análise das barreiras explica a ocorrência de acidentes como resultado ou produto da falta ou da falha de barreiras que deveriam ter mantido sob controle os perigos existentes e mitigado consequências de eventual descontrole dessa nocividade. Em conformidade com a noção de análise em profundidade ressalta-se a necessidade de esclarecer as razões que expliquem seja a falta ou a falha das barreiras em questão. Mais recentemente essa abordagem também considera a existência de barreiras de monitoramento da situação do sistema e de suas barreiras e suas eventuais contribuições para a segurança.

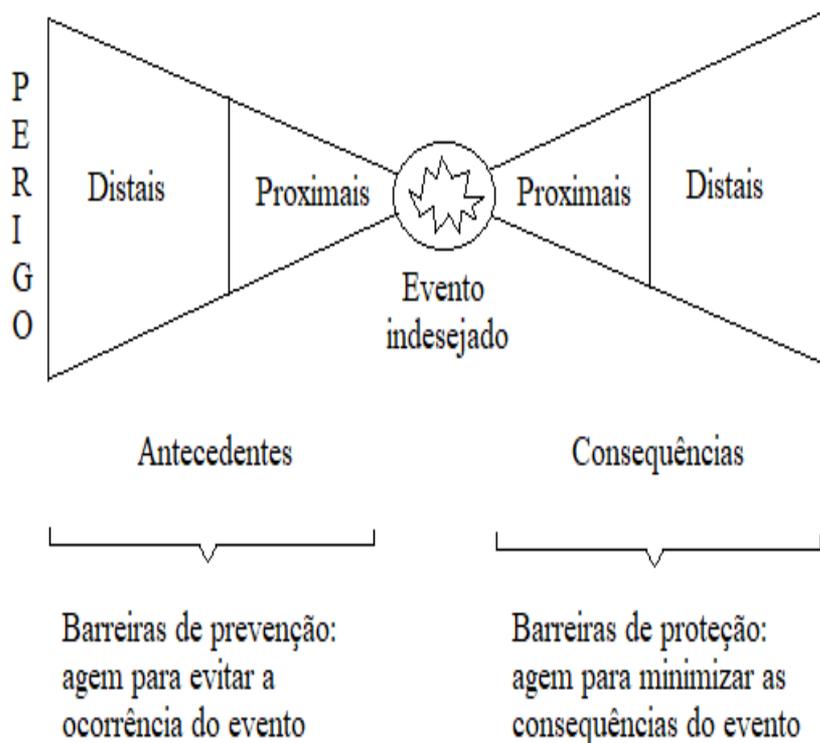


Figura 2 - Diagrama Bow-Tie ou Gravata-borboleta
 Fonte: Almeida e Vilela (2010) - Adaptado de Hale et al. (2007)

A aplicação do Modelo de Análise e Prevenção de Acidentes (MAPA), segundo Almeida e Vilela (2010), pressupõe a aplicação de

conceitos como guias para construção de uma rede de fatores relacionados à origem do acidente. Sendo eles:

- i. Trabalho habitual: o analista precisa observar como o trabalho é realizado rotineiramente e quais os componentes da atividade, ou seja, quem são os indivíduos que desenvolvem o trabalho, quais as tarefas, quais os materiais, como é o meio de trabalho, quais as estratégias e modos operatórios usados no trabalho rotineiro e na vigência de variabilidades que demandem ajustes. Explica o acidente como fracasso de estratégias e modos operatórios usados anteriormente com sucesso no sistema e pelas condições do sistema que levaram a esse fracasso.
- ii. Análise de mudanças: parte do princípio que uma mudança no sistema de trabalho contribuiu para a ocorrência do acidente. Seja ela relacionada à forma de organização, a gestão de pessoal, ao material, à forma de manutenção, à forma de comunicação, aos indivíduos presentes por exemplo. O acidente é explicado pela ocorrência dessas mudanças e pelas condições do sistema que permitiram suas origens.
- iii. Análise das barreiras: consiste na identificação das formas que a empresa adotou para identificar perigos e riscos e como foram concebidas as barreiras para eliminar, monitorar ou mitigar a ocorrência de eventos indesejáveis. Explica o acidente pela falta ou falha de barreiras e pelas condições do sistema que permitiram as origens de tais falta ou falha.
- iv. Ampliação conceitual: que destaca a possibilidade de conceitos de diferentes campos do conhecimento, em especial daqueles que já tenham sido usados em análises de acidentes, permitirem novas leituras ou compreensões de aspectos ou fatos registrados na coleta de dados do acidente. O exemplo mais frequente é o de acidentes envolvendo comportamentos de tipo omissões do acidentado que, após “ampliação conceitual” passaram a ser entendidos como situações descritas na literatura como armadilhas cognitivas.

O MAPA foi aplicado por pesquisadores e membros de Centro de Referência em Saúde do Trabalhador em várias situações de trabalho como construção civil, alimentos, frigorífico entre outros (ALMEIDA; VILELA, 2010).

CONSIDERAÇÕES

O estudo demonstrou que a abordagem organizacional na análise de acidente de trabalho ultrapassa o conceito de culpa da vítima, uma vez que o acidente é fruto da interação de várias atividades.

Muito tem sido estudado sobre acidente envolvendo colisão de trem, descarrilamento de trem, acidentes em passagem de nível e até sobre pessoas que cometem suicídio na via. Esse último principalmente em função do número expressivo de ocorrências notificadas.

Segundo a Agência Ferroviária Europeia, entre 2012 e 2014, na Europa, 72% das mortes ocorridas nas linhas férreas (Figura 3) foram em virtude de pessoas que cometeram suicídio nas linhas férreas (ERA, 2016).

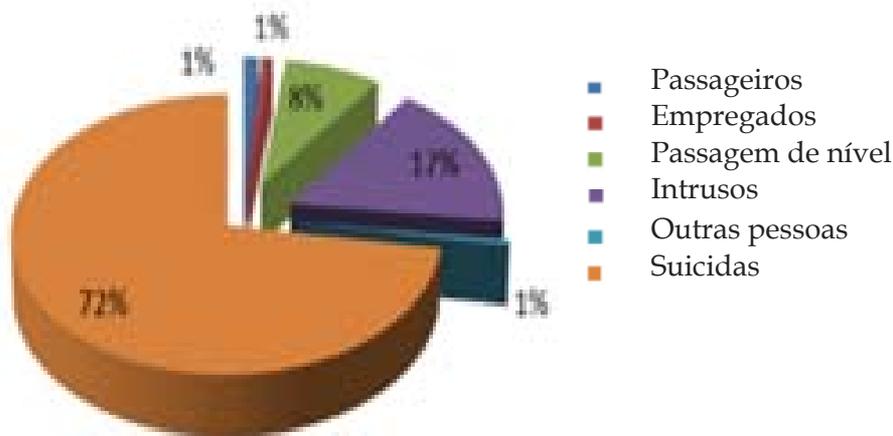


Figura 3 - Mortes em linhas férreas na Europa

Fonte: adaptada de ERA (2016)

Dentro do contexto da relação do maquinista e o atropelamento, é importante considerar que por mais que o maquinista esteja atento durante a condução do trem, ao acionar o freio, a composição ainda percorre alguns metros até efetivamente parar. Sendo assim, estar atento não pode ser considerado como único meio para prevenção de atropelamentos.

Os acidentes que ocorrem nos trilhos comumente geram impacto psicológico no maquinista que conduzia o trem em casos de atropelamento. Ainda de acordo com o autor, há casos de maquinistas que desenvolvem distúrbios no sono e na concentração, tremor e aumento do batimento cardíaco nas primeiras 24 horas após o acidente. Também há casos de maquinistas que desenvolvem estresse pós-traumático após um acidente, além de depressão e fobia (CHAVDA, 2016). A representação desses eventos com o modelo da gravata-borboleta ajuda a evidenciar que o acidente não se encerra no momento de descontrole da nocividade potencial presente no sistema. Em outras palavras, que em muitos casos também está recomendada a busca ativa de efeitos tardios do ocorrido, inclusive para o operador envolvido. Quanto mais precoce a resposta do sistema a essas situações, melhores tendem a ser os resultados obtidos.

Quando o acidente de trabalho é tratado como evento causado por um único elemento do sistema, como a falha na conduta do trabalhador, a organização amputa a análise e perde a oportunidade de aprender e melhorar seu desempenho, pois todos os outros elementos do sistema ficam às escuras. A empresa deixa de identificar oportunidades de melhoria e aprendizado organizacional, além de não tratar os múltiplos aspectos que contribuíram para a ocorrência do evento.

Este estudo também contribuiu com a hipótese de que seguir estritamente o prescrito pode ser inviável e ou insuficiente para garantir o trabalho seguro. As prescrições são incapazes de antecipar toda a complexidade do real e podem deixar de considerar interações novas entre setores distintos que necessitam trabalhar em sintonia, em especial quando estão presentes trabalhadores da produção, manutenção e terceiros. Por outro lado, a gestão das comunicações precisa considerar as necessidades de informação das partes envolvidas, como instrumento de cooperação de trabalho.

Elaborar procedimentos e esperar que os trabalhadores fiquem em estado de alerta constante ao longo de toda a jornada desconsidera as características fisiológicas e psíquicas dos seres humanos. A adoção de redundância nas barreiras contribui com o controle e a regulação humana, pois se um sistema falhar, o outro sistema supre a falha. Além disso, barreiras para mitigar os efeitos tardios e de longo prazo também precisam ser estabelecidas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. M.; VILELA, R. A. G. *Modelo de análise e prevenção de acidentes de trabalho* – MAPA. Piracicaba: CEREST, 2010. 52 p.
- ALMEIDA, I. M.; VILELA, R. A. G.; SILVA, A. J. N.; BELTRAN, S. L. Model of Analysis and Prevention of Accidents - MAPA: tool for operational health surveillance. *Ciência & saúde coletiva*, v. 19, n. 12, p. 4679-4688, 2014.
- AMALBERTI, R. *Gestão da segurança*. Presidente Prudente, 2016. 158 p.
- AREOSA, J. *O lado obscuro dos acidentes de trabalho*. Um estudo de caso no setor ferroviário. Braga: Edições Húmus, 2012. 199 p.
- AREOSA, J. As percepções de riscos ocupacionais no setor ferroviário. *Revista Sociologia Problemas e Práticas*, v. 75, p. 83-107, 2014. Disponível em: <<http://spp.revues.org/1568>>. Acesso em: 05 jul.2016.
- CHAVDA, S. Sickness absence of LU train drivers after track incidents. *Occupational Medicine*. Jul. 2016. Disponível em: <<http://occmed.oxfordjournals.org/content/early/2016/07/13/occmed.kqw088.abstract>>. Acesso em: 15 ago. 2016.
- DANIELLOU, F.; SIMARD, M.; BOISSIÈRES, I. *Fatores humanos e organizacionais da segurança industrial*. Foncsi, 2010. 115 p.
- ERA - EUROPEAN RAILWAY AGENCY. *Railway Safety Performance in the European Union*. 2016. Disponível em: <<http://www.era.europa.eu/Document-Register/Documents/Railway%20Safety%20Performance%202016%20final%20E.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2016.

- FISCHER, D.; GUIMARÃES, L.B.M.; VENTER, L.; BATISTA. Análise de acidentes do trabalho típicos envolvendo operadores de trem urbano. In: XIII Congresso Brasileiro de Ergonomia, 2004, Fortaleza. *Anais...Fortaleza :ABERGO*, 2004. P. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/publicacoes/92_21_Lia_Abergo2004.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2016.
- HOLLNAGEL, E. *Safety-I and Safety-II: the past and future of safety management*. Famham: Ashgate, 2014. 187 p.
- JACINTO, C.; SILVA, C. A semi-quantitative assessment of occupational risks using bow-tie representation. *Safety Science*, v.48 p. 973-979, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753509002045>>. Acesso em: 23 dez. 2016.
- JACKSON FILHO, J. M.; LIMA, F. P. A. Análise Ergonômica do Trabalho no Brasil: transferência tecnológica bem-sucedida? *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional* v. 40, n.131, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0303-76572015000100012>. Acesso em: 23 dez. 2016.
- JACKSON FILHO, J. M.; VILELA, R. A. G.; GARCIA, E. G.; ALMEIDA, I. M. Sobre a “aceitabilidade social” dos acidentes do trabalho e o inaceitável conceito de ato inseguro. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, v. 38, n.127, p. 6-8, 2013. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0303-76572013000100001>. Acesso em: 02 dez. 2016.
- LLORY, M.; MONTMAYEUL, R. *O acidente e a organização*. São Paulo: Editora Atlas, 2014. 311 p.
- PANTUZZO, C.H. *Levantamento dos riscos existentes na manutenção da via permanente ferroviária*. São Paulo: PECEUSP, 2015. p.61 Monografia – Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- REASON, J. Human error: models and management. *The Western Journal of Medicine*. v.172, p. 393, 2000.
- SOUZA, C. G.; FRATINI, W. Gestão de riscos: questão crucial para as operadoras metroferroviárias. *Cadernos Técnicos: Transporte metrofer-*

roviário no Brasil, v. 2, 2005. Disponível em: < http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2016/02/24/29C25B25-92DD-445E-8EC6-28E020A3EDC9.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2016.

VILELA, R. A. G.; IGUTI, A. M.; ALMEIDA, I. M. Culpa da vítima: um modelo para perpetuar a impunidade nos acidentes do trabalho. *Cadernos de Saúde Pública*. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, v. 20, n. 2, p. 570-579, 2004. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/13275>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

7 Visualização do metabolismo urbano em ambiente institucional de ensino, pesquisa e assistência à saúde

Andre Hideki Higa
Paulo César Xavier Pereira

INTRODUÇÃO

Universidades brasileiras têm produzido extensa documentação a respeito do processo e dos resultados dos planejamentos elaborados para e pelas instituições de ensino superior no Brasil. Considerando os materiais publicizados nos seus portais oficiais, pode-se verificar a diversidade de tipos de planos¹ (UNIFESP, 2018). Pelo conteúdo dos planos, é possível extrair os instrumentos utilizados para formular ou embasar decisões de planejamento. Instrumentos como mapeamento do entorno urbano, processo participativo, diagnóstico de resíduos sólidos, indicadores e outros são utilizados pelos planejadores e gestores para definir metas, procedimentos e objetivos institucionais.

Considerando que as universidades poderiam ser “laboratórios” de gestão ambiental, tornando-se modelos de referência de sustentabilidade (TAUCHEN; BRANDLI, 2006), experiências com instrumentos de planejamento ainda em desenvolvimento ou pouco usuais podem ser positivas para as universidades e suas respectivas cidades.

¹ Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), Plano Estratégico de Tecnologia da Informação (PETI), Plano de Desenvolvimento da Tecnologia da Informação (PDTI), Plano de Logística Sustentável (PLS), Projeto Político-Pedagógico (PPP), Projeto Pedagógico Institucional (PPI), Plano Diretor (PD), entre outros.

Por outro lado, análises do metabolismo urbano podem ser de grande contribuição para subsidiar decisões de projeto e de desenho urbano (KENNEDY; PINCETL; BUNJE, 2011). Os estudos de metabolismo urbano desenvolvidos para cidades contribuíram com análises das mais específicas, como balanço local de nitrogênio ou chumbo, até as mais abrangentes, como medição de eficiência metabólica ou qualidade de vida.

No entanto, indagações sobre como analisar o fenômeno do metabolismo urbano em universidades ainda não foram respondidas.

Entre os métodos de análise de processos de metabolismo urbano encontra-se o *Material Flow Analysis* (MFA), ou análise de fluxo de material (BRUNNER; RECHBERGER, 2005), um conceito que remete ao século XIX, mas que somente é instrumentalizado para planejamento urbano em 1965 por Abel Wolman (ZHANG, 2013; KARVOUNIS, 2015; DINARÈS, 2014). Como instrumento de planejamento, são encontradas referências de aplicação desta metodologia em cidades, porém não em instituições.

É de se supor que, quando aplicado o MFA a instituições de ensino e pesquisa, como universidades, a visualização dos fluxos de material possa permitir a análise das interfaces entre a universidade e a cidade, ao apresentar um componente do metabolismo urbano já com o foco na identificação de fluxos cuja mudança seja mais efetiva, objetivando maior sustentabilidade do sistema. Essa análise parte do pressuposto da cidade como um sistema formado por fluxos de energia e materiais, que é uma das interpretações possíveis do metabolismo urbano, defendida pela disciplina da “ecologia industrial” (DINARÈS, 2014).

Nesse sentido, diagnósticos de gerenciamento de resíduos sólidos, que incluem uma série de fluxos de resíduos, na forma de diagramas, embora não produzidos especificamente para estudo de metabolismo urbano, podem ser considerados para aplicação do MFA, no sentido de contribuir com novas frentes de pesquisa do metabolismo urbano em menor escala, a nível local (institucional).

Diagramas como esse podem ser desenhados também para fluxos de energia e consumo de água. No entanto, optou-se pelo estudo do metabolismo urbano partindo do fluxo de resíduos de serviço de saúde, pois apresenta interface entre planejamento institucional, saúde ambi-

ental e sustentabilidade que pode contribuir com o avanço do conhecimento e aplicação de conceitos em prol do desenvolvimento sustentável.

Considerando-se o *Campus* São Paulo da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) como um nível local da instituição Unifesp, este capítulo tem por objetivo apresentar a experiência de utilização do diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos na aplicação do MFA para compor visualizações de metabolismo urbano, como método possível e viável e que pode contribuir para subsidiar decisões de gestão e de planejamento institucional. Aqui cabe a indagação: seria o MFA um método para subsidiar decisões de projeto e desenho urbano?

Devido às atividades desenvolvidas no *Campus* São Paulo da Unifesp, voltadas para ensino, pesquisa, extensão e assistência à saúde, as unidades integrantes são classificadas como estabelecimentos de saúde, logo geradores de resíduos de serviços de saúde (RSS). Essa tipologia de resíduos (RSS) exige procedimentos e práticas específicas, que configuram o gerenciamento de resíduos especiais, pois seu gerenciamento impróprio e descuidado representa risco à saúde dos expostos, risco ambiental e de segurança ocupacional.

Em 2016, foi contratada uma empresa especializada em planejamento para assessorar a elaboração do Plano Diretor de Infraestrutura (PDInfra) desse *campus*. A partir de então, os dados do diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos foram integrados ao planejamento institucional.

Por outro lado, regulamentação e normatização específicas voltadas para estabelecimentos geradores de RSS exigem a elaboração de Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), o que envolve diagnosticar o cenário de geração, segregação e destinação. A elaboração e implantação do PGRSS, além de atendimento às normas vigentes, tem ainda a finalidade de racionalizar os custos com taxas e coleta e destinação, reduzir o impacto ambiental e promover valores sustentáveis.

A partir dos dados trazidos pelo diagnóstico de RSS no *campus* foi possível identificar e visualizar os diferentes fluxos de materiais resultantes das atividades acadêmicas, de pesquisa, assistenciais, administrativas e outras e representados por diversos tipos de resíduos sólidos gerados e que permitiu intuir os fluxos de entrada de materiais.

Assim, a visualização de fluxos de materiais pode subsidiar decisões de projeto e de gestão ao representar, de forma sucinta e sistematizada, um sistema complexo como o representado por um *campus* universitário.

CAMPUS SÃO PAULO DA UNIFESP E SEUS RESÍDUOS SÓLIDOS COMO OBJETO DE ESTUDO

O *Campus* São Paulo da Unifesp encontra-se em área urbana consolidada do Município de São Paulo, localizado na Vila Clementino, Subprefeitura da Vila Mariana. Esta área tem expressiva presença de estabelecimentos ligados à saúde (Figura 1) e, em consonância a esta característica, desde 2016, no Plano Diretor Estratégico (PDE) do Município, foi delimitado o “Pólo de Saúde, Ensino e Pesquisa”, que posteriormente foi nomeado como “Complexo de Saúde, Educação em Saúde e Pesquisa em Saúde” conforme despacho 317/2017 da Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (SMUL).

O *campus* universitário contribuiu com esta característica do bairro, pois suas principais atividades também estão relacionadas à área da saúde. Os imóveis pertencentes ao *campus* e as respectivas atividades universitárias desempenhadas, que incluem atividades acadêmicas, administrativas, assistências (em saúde), biotério e laboratorial estão ilustradas na Figura 2.

Como característica de sua implantação, o *campus* ocupa diversos edifícios, próprios e alugados, espalhados pelo bairro. Em 2017, por volta de 140 imóveis estavam sob gestão do *Campus* São Paulo² da Unifesp. Esta dispersão de atividades em muitos imóveis, que acarreta aumento de custos de contratos de serviços (como limpeza, manutenção e segurança) e de aluguéis e na falta de integração entre as atividades, foi um dos motivos para a universidade contratar uma empresa para assessorar a formulação do Plano Diretor de Infraestrutura (PDInfra).

² Dados obtidos em levantamento do Departamento de Infraestrutura do *Campus* São Paulo da Unifesp.

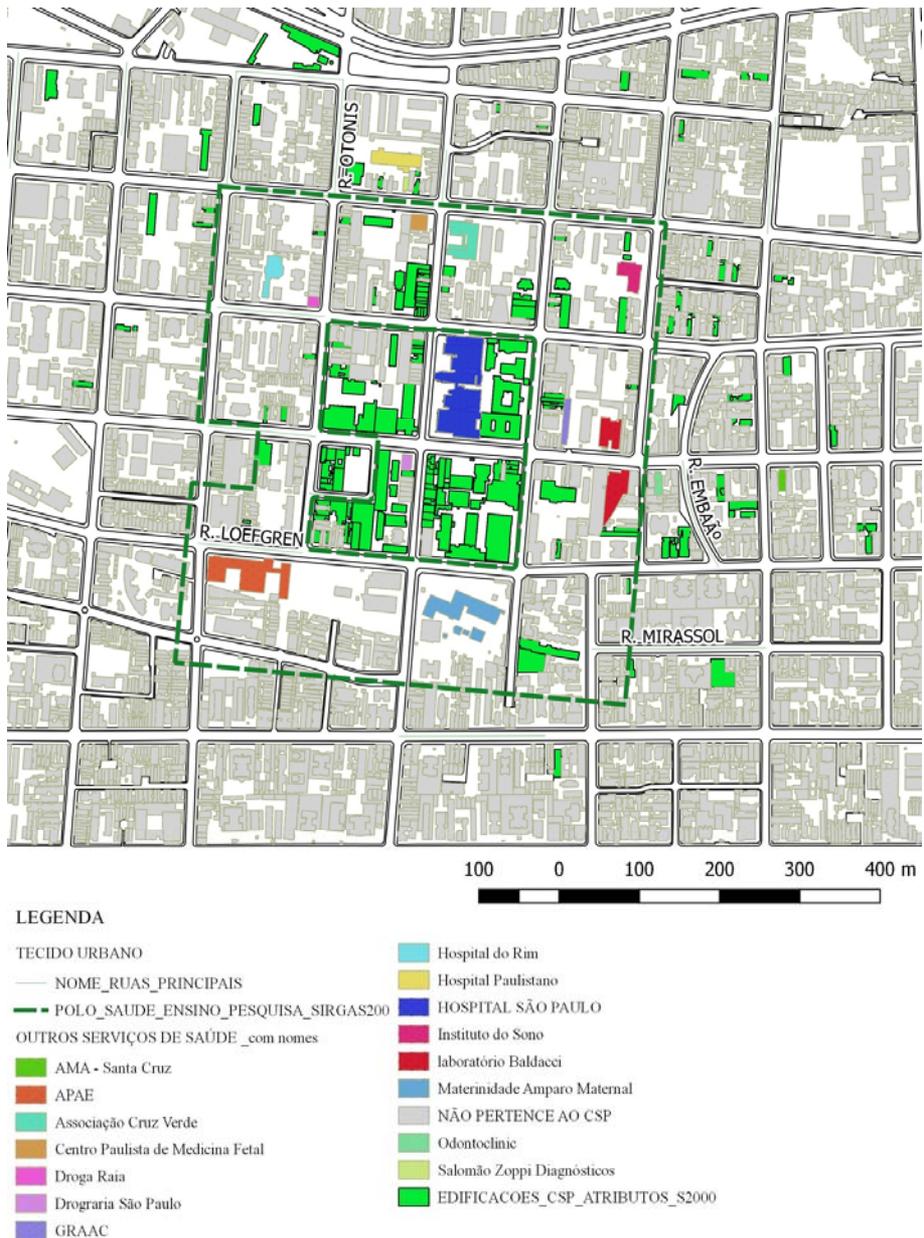


Figura 1 - Mapa do Campus São Paulo da Unifesp e outros serviços de saúde, 2017

Fonte: Base georreferenciada formulada por MPS Arquitetos Associados (2017)

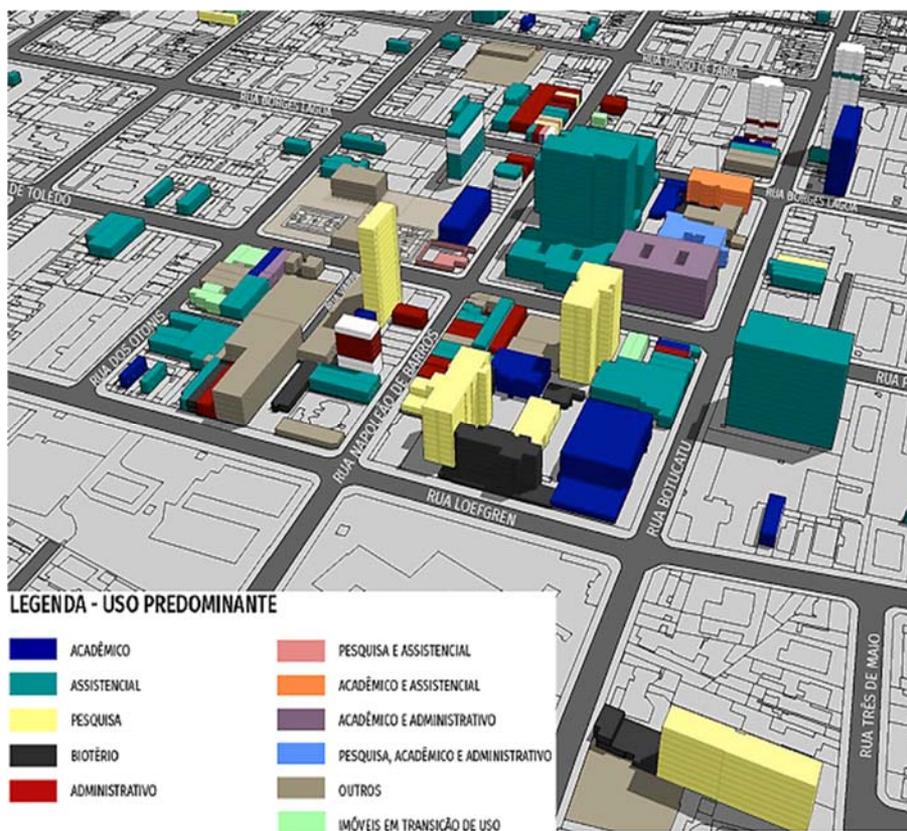


Figura 2 - Edifícios integrantes do Campus São Paulo da Unifesp e atividades predominantes, 2017

Fonte: MPS Arquitetos Associados (2017)

Uma das subdivisões do PDInfra, denominado Plano Temático 5 – *Campus Sustentável*³, continha em seu escopo a necessidade de formulação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS)

³ Concorrência – Técnica e Preço 04/2015 – Processo número 23089.000639/2013-91: Edital de licitação na modalidade concorrência do tipo técnica e preço para contratação de empresa especializada em planejamento para elaboração do Plano Diretor de Infraestrutura do *Campus* São Paulo da Unifesp.

para o *campus*. Percebeu-se também que o *Campus* São Paulo pelas atividades de ensino, pesquisa e extensão em saúde, seria um estabelecimento de saúde, e, portanto, o plano deveria ser um Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde (PGRSS).

Para a formulação do PGRSS foi elaborado um diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos, que segue a classificação da Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) número 222/2018 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Quadro 1), na qual os resíduos são classificados por grupos, conforme suas características (ANVISA, 2018).

Quadro 1 - Classificação de RSS

| CLASSIFICAÇÃO | CARACTERÍSTICAS |
|----------------|---|
| Grupo A | Possível presença de agentes biológicos; risco de infecção |
| Grupo B | Contém produtos químicos que podem trazer danos à saúde pública ou ambiental |
| Grupo C | Contém rejeitos radioativos |
| Grupo D | Contém resíduos que podem ser equiparados a resíduos domiciliares por não trazerem risco à saúde pública ou ambiental |
| Grupo E | Resíduos perfurocortantes ou escarificantes |

Fonte: adaptado de ANVISA, 2018

A importância do gerenciamento de resíduos sólidos provenientes de serviços de saúde está relacionada ao meio ambiente e à saúde,

pois esses resíduos são potencialmente contaminantes e infectantes, oferecendo risco à saúde do trabalhador e ao ambiente-

Outra dimensão do gerenciamento de resíduos sólidos é a proveniente do conceito de metabolismo urbano, ao considerar que os resíduos são produtos das transformações ocorridas dentro da cidade no caso das transformações ocorridas dentro do *campus* estudado.

METABOLISMO URBANO

A expressão “metabolismo social” foi utilizada por Karl Marx já no século XIX para explicar a transformação da natureza por meio do trabalho e do sistema capitalista de trocas (ZHANG, 2013; KARCOUNIS, 2015; DINARÈS, 2014). Porém, apenas em meados do século passado houve a primeira publicação sobre a aplicação do conceito para modelar os fluxos de uma cidade (fictícia), feita por Abel Wolman (1965).

Interpretar a cidade como fluxo de materiais e energia é apenas uma das interpretações possíveis e já elaboradas a respeito do metabolismo urbano (Quadro 2). A ecologia industrial (DINARÈS, 2014) é uma das disciplinas cuja abordagem permitiu a formulação de alguns instrumentos de análise que são aplicados em cidades para mesurar determinados componentes do metabolismo urbano.

Quadro 2 – Interpretações e debates sobre o conceito de metabolismo urbano

| Interpretações/ debates atuais | DISCIPLINA | | | | |
|--|-----------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | ecologia urbana | ecologia industrial | economia ecológica | ecologia política | geografia política |
| Cidade como um ecossistema | X | | | | |
| Cidade como fluxo de material e energia ou fluxos de materiais e energia na cidade | | X | | | |

(continua...)

Quadro 2 – Interpretações e debates sobre o conceito de metabolismo urbano*(... continuação)*

| Interpretações/ debates atuais | ecologia urbana | ecologia industrial | economia ecológica | ecologia política | geografia política |
|--|--------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| A base material da economia, ou a quebra da ligação entre urbanização, crescimento econômico e consumo de recursos | | X | X | | |
| Cidade como um sistema socioecológico | X | | X | | |
| Condutores econômicos da relação rural-urbana, e a produção e reprodução da inequidade | | | X | X | |
| Reprodução da inequidade urbana e a governança dos fluxos urbanos | | | X | X | |
| Ressignificação da cidade: metabolismo urbano e relações sociais, técnicas e ecológicas | | | | X | X |

Fonte: adaptação e tradução de Dinarès (2014)

Entre os métodos de análise de processos de metabolismo urbano, conforme ilustrado no Quadro 3, foi utilizado o MFA, considerando que o procedimento metodológico envolve a simples comparação entre entradas, estoques e saídas de um processo ou sistema, sendo que

é um método utilizado para gerir recursos, realizar gerenciamento de resíduos sólidos e gerenciamento ambiental (BRUNNER; RECHBERGER, 2005).

Quadro 3 - Métodos de análise de processos

| AUTOR | MÉTODO |
|---|--|
| Brunner; Rechberger (2005); Niza et al. (2009); Zhang et al. (2013) | <i>Material Flow Analysis – MFA</i> |
| Antikainen et al. (2005) | <i>Substance Flow Analysis – SFA</i> |
| Liang et al. (2012) | <i>Input-Output analysis (and PIOT-physical input-output tables)</i> |
| Huang; Hsu (2003); Liu et al. (2011) | <i>eMergy (energy flow)</i> |
| Holden (2004); Muñiz; Galindo (2005) | <i>Ecological footprint analysis</i> |
| Li et al. (2012) | <i>Ecological network analysis</i> |
| D’Alisa et al. (2012) | <i>MuSIASEM (Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism)</i> |
| Chester et al. (2012) | <i>Life Cycle Analysis – LCA</i> |

Fonte: adaptado de Karvounis (2015)

Mais especificamente, os objetivos do MFA são investigar os fluxos e estoques de qualquer sistema baseado em materiais (BRUNNER; RECHBERGER, 2005), ou seja, embora os estudos relacionados cronologicamente por Kennedy, Pincetl e Bunje (2011) de 1965 a 2009 sejam de

idades ou regiões, propõe-se analogamente que seja possível aplicar a mesma metodologia em uma universidade.

ANÁLISE DE FLUXO COMO INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO

Considerando o diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos, produzido a partir do levantamento de todos os resíduos gerados na instituição, pode-se intuir que a quantidade gerada representa a soma dos fluxos de saída do sistema. Sabe-se que essa é uma abordagem para simplificar a análise de um sistema complexo, em que há outras formas de saída, como evaporação, descarte irregular e não contabilizado.

Quadro 4 - Resumo das etapas de formulação de MFA

| ETAPAS | FATORES | RESULTADO |
|---|--|---|
| a. Definir problema e objetivo | Conceito | Questões |
| b. Definir o sistema | Dados disponíveis | Desenho de sistema |
| c. Selecionar e definir os processos | Atividade | Desenho de processos |
| d. Selecionar substâncias | Objetivo | Indicadores |
| e. "balanço grosseiro" | Pontos principais | Visão geral |
| f. Análise de sensibilidade | Parâmetros | Quais parâmetros são mais relevantes no sistema |
| g. Planejamento da pesquisa | Resultados da análise de sensibilidade | Indicações para próximos estudos |
| h. Cálculo dos fluxos de material | Dados | Balanço |
| i. Cálculo da função de transferência e coeficientes de transferência | Fluxos | Função de transferência |
| j. Apresentação dos resultados | Desenho do sistema | Visualização |

Fonte: Adaptado de Villeneuve et al. (2004)

Os fluxos de saída não contabilizados, ou não contabilizáveis são esperados em sistemas como cidades, tanto é que em um guia de implantação de análise de MFA para municipalidades da União Europeia um sistema com mais ou menos 20% de precisão entre o balanço de entrada, saída e estoque é tolerável (VILLENEUVE et al., 2004). Nesse guia, os autores indicam etapas para a formulação do MFA, além dos fatores e resultados de cada etapa (Quadro 4), com a ressalva de que nem todas as etapas precisam ser cumpridas para se estabelecer um MFA, haja visto que em cada contexto haverá diferença de disponibilidade de informações ou outras restrições que impedem de se atingir determinadas fases.

Ao aplicar este modelo no contexto do *Campus* São Paulo da Unifesp, com o uso de informações institucionais disponíveis e os dados do diagnóstico do gerenciamento de RSS, foi possível chegar a alguns resultados, conforme indicado no Quadro 5.

Quadro 5 – Etapas, fatores e resultados da aplicação do MFA no *Campus* São Paulo da Unifesp

| ETAPAS | FATORES | RESULTADO |
|--------------------------------------|--|---|
| 1. Definir problema e objetivo | Conceito | Como analisar a produção de RSS em um <i>campus</i> disperso? |
| 2. Definir o sistema | Dados disponíveis | Sistema <i>Campus</i> São Paulo |
| 3. Selecionar e definir os processos | Atividade | Processos principais: estoque, atividades e transporte |
| 4. Selecionar substâncias | Objetivo | Substâncias classificadas conforme RDC 222/2018 |
| 5. "balanço grosseiro" | Pontos principais | Diagrama |
| 6. Análise de sensibilidade | Parâmetros | Resíduos comuns (grupo D) e Resíduos infectantes (grupos A e E) |
| 7. Planejamento da pesquisa | Resultados da análise de sensibilidade | Afinar a classificação e melhorar o monitoramento do estoque |

(continua...)

Quadro 5 – Etapas, fatores e resultados da aplicação do MFA no *Campus* São Paulo da Unifesp

(...continuação)

| ETAPAS | FATORES | RESULTADO |
|---|--------------------|---|
| 8. Cálculo dos fluxos de material | Dados | São gerados 3.257,57 kg/dia de RSS dos grupos selecionados |
| 9. Cálculo da função de transferência e coeficientes de transferência | Fluxos | Com os dados atuais, não é possível calcular o equilíbrio entre entrada, saída e estoque. |
| 10. Apresentação dos resultados | Desenho do sistema | Visualização do sistema <i>Campus</i> São Paulo |

Fonte: Adaptado da metodologia de Villeneuve et al. (2004)

Na aplicação do método, a única etapa que não foi possível obter resultados foi a etapa 9 (cálculo da função de transferência e coeficientes de transferência), pois dados a respeito dos estoques de material no *campus* não estão disponíveis.

Pelas especificidades do *campus*, as quantidades diárias de resíduos sólidos produzidos foram relacionadas por atividades e segundo a classificação da RDC 222/2018 (Tabela 1). Para o resíduo comum, optou-se por manter os dados brutos (L/dia), porém a título de comparação, foi feita a conversão de valores (L/dia) para (Kg/dia) pelo estudo realizado na Universidade Federal dos Pampas (RUBERG et al., 2009). A taxa de conversão foi de 27,40 kg/L. Ao estabelecer a relação entre atividade e classificação de resíduos, o gerenciamento de resíduos sólidos deixa de ser um tema gerencial, para ser um elemento integrador do planejamento institucional.

No caso de *campus* universitário, tanto para a gestão quanto para o planejamento, é importante a visualização dos dados, pois permite a rápida compreensão do conjunto de informações e a quantificação gráfica dessas informações também indica onde estão os valores mais expressivos e significantes para a instituição. Assim, esses dados foram representados graficamente por meio de diagramas.

Tabela 1 – Quantidade diária de resíduos sólidos gerados, por atividade no Campus São Paulo da Unifesp, 2017

| ATIVIDADE | Σ res_quim (Kg/dia) | Σ res_infectante (Kg/dia) | Σ res_comum (L/dia) |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Desconhecido | | 45 | 481.12 |
| Acadêmico | 4.48 | 120.17 | 3419.29 |
| Administrativo | | | 1350.19 |
| Assistencial | 0.75 | 1101.99 | 8495.64 |
| Biotério | | 383 | 178.5 |
| Infraestrutura | | 32.5 | 330.75 |
| Laboratorial | 22.87 | 687.51 | 6425.34 |
| Outros | | 9.84 | 2599.05 |
| Total | 28,1 | 2.380,01 | 23.279,88 |

Fonte: Baseado no levantamento de MPS Arquitetos Associados (2017)

Para o estudo do metabolismo urbano do sistema do *Campus* São Paulo da Unifesp, foram propostos dois diagramas: um diagrama *sankey* e um diagrama do sistema.

O diagrama *sankey* é um fluxograma em que os fluxos têm a espessura proporcional ao valor que a representa. Como a atividade é um aspecto importante para o planejamento institucional, foi elaborado um diagrama *sankey* com os fluxos de geração de resíduos por atividade, apresentado na Figura 3.

Como um diagrama *sankey* pressupõe fluxos e que a soma dos valores em cada ponta dos fluxos são as mesmas, este método de visualização adere ao conceito de metabolismo urbano.

Pelo princípio de conservação de massa adotado pelo MFA (BRUNNER; RECHBERGER, 2005), pode-se adotar o valor de entrada como o mesmo valor de saída, logo como é conhecida a quantidade de material que sai na forma de resíduos, estima-se o valor de entrada. Ao menos neste diagrama, a quantidade que seria de estoque é ignorada. Assim, estima-se o valor de entrada como igual ao valor da soma dos fluxos de saída (Figura 4).

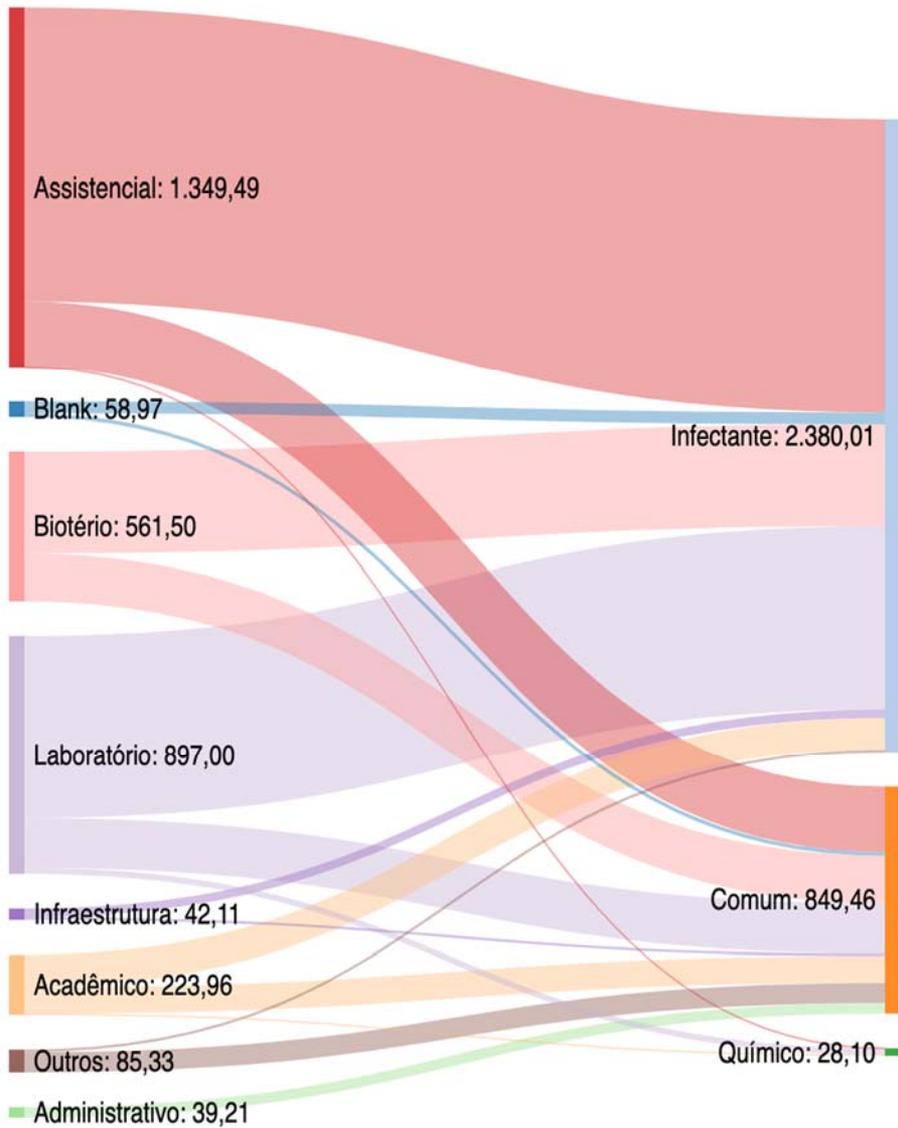


Figura 3 – Diagrama do fluxo de resíduos conhecidos do Campus São Paulo da Unifesp, 2017

Fonte: Diagrama baseado no levantamento de MPS Arquitetos Associados (2017)

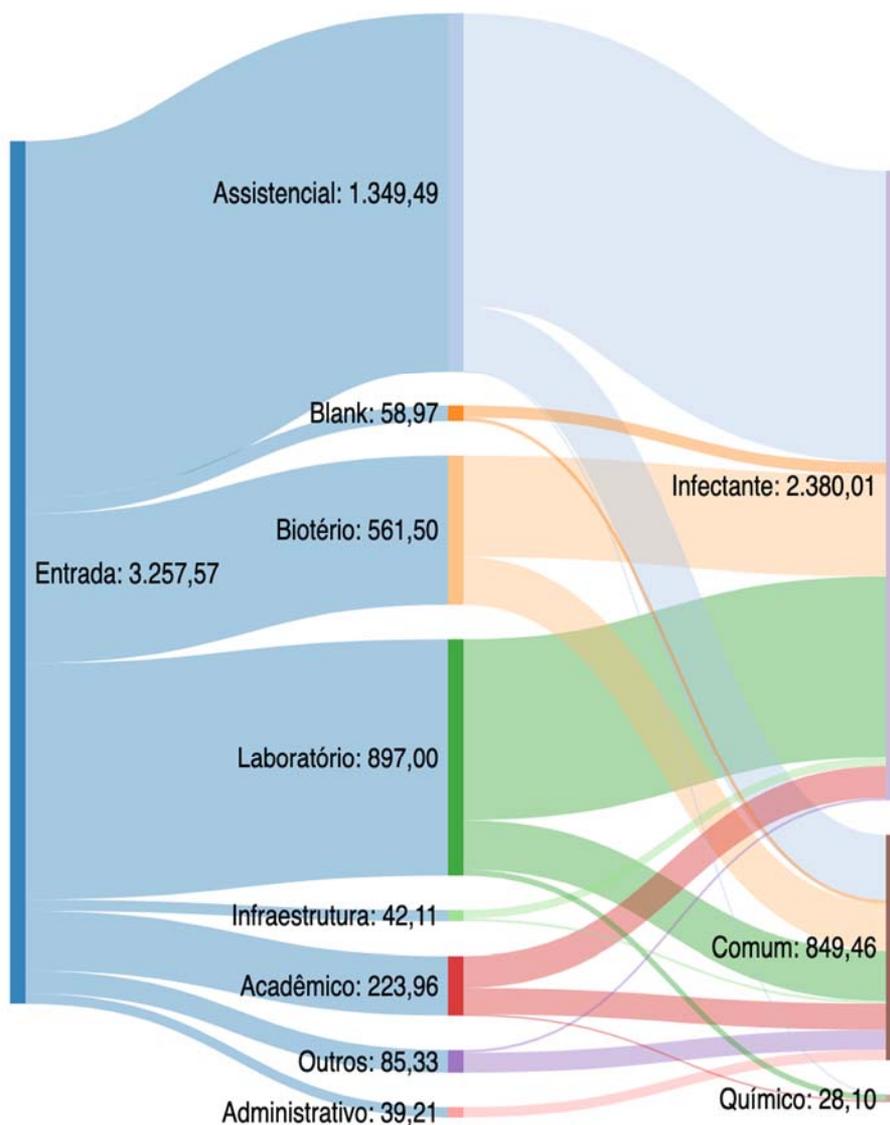


Figura 4 - Diagrama do fluxo de resíduos conhecidos no Campus São Paulo da Unifesp com estimativa da entrada, 2017

Fonte: Diagrama baseado no levantamento da empresa MPS Arquitetos Associados, 2017

Embora tais valores possam ser considerados pouco precisos para o caso de quantidade de entrada de materiais, pode-se dizer que é uma aproximação que pode orientar políticas institucionais. Considerando que não houve necessidade de se realizar um levantamento específico de estoques, não foi preciso destacar, treinar ou direcionar recursos humanos para este fim.

Importante ressaltar que controle de estoque de materiais e inventário são medidas necessárias nas instituições, porém, em contextos em que esse controle não é realizado, por motivos diversos, o atendimento à legislação ao formular um plano de gerenciamento de resíduos pode contribuir, inclusive com o dimensionamento de estoques.

A partir da visualização desses dados, a gestão e o planejamento de ações da instituição pode analisar os valores obtidos, verificar se é viável regularizar estoques, reagentários e depósitos com o volume proporcional à quantidade de entradas estimadas, ou, se é o caso de se propor ações mitigadoras da geração, como: não geração, redução, reutilização ou envio para reciclagem de resíduos, assim como enviar para tratamento específico os resíduos perigosos, que são premissas expressas na hierarquia de resíduos trazida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

Em continuidade à aplicação do método, segundo o guia de uso do MFA para gerenciamento de resíduos sólidos municipais (VILLENEUVE et al., 2004), a quinta etapa (“balanço grosseiro”) é utilizada para conferir os pontos principais da análise de fluxo de material. Desta forma, ambos os fluxogramas (Figuras 3 e 4) poderiam servir de panorama dos principais fluxos da instituição, em apenas uma imagem. No entanto, o formato de diagrama mais consolidado de MFA é composto pela delimitação do sistema, processos, taxa de trocas do estoque e fluxo (BRUNNER; RECHBERGER, 2005), cujas informações necessárias nem sempre estão disponíveis, ou que, em geral, a própria instituição não tem mapeadas.

No caso do *Campus* São Paulo da Unifesp, para a formulação do diagrama, foram desenhados processos e fluxos conhecidos dentro do sistema delimitado pelos edifícios em uso pelo *campus*. Importante notar que dentro desse sistema, os espaços encontram-se dispersos e não são contíguos. Uma vez delimitada a fronteira do sistema e seus principais

fluxos e processos, pode-se incluir os valores de geração de resíduos sólidos conhecidos, que no caso, são fornecidos pelo diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos. Diferentemente dos primeiros diagramas, diagramas de MFA consideram ainda os estoques, ou seja, os materiais que ainda se encontram dentro do sistema, conforme apresentado na Figura 5. Como forma de tornar o *campus* mais sustentável, algumas ações buscam a valorização de resíduos, ao evitar que esses sejam destinados a aterros sanitários, como é o caso do reaproveitamento de resíduos orgânicos para compostagem e horta.

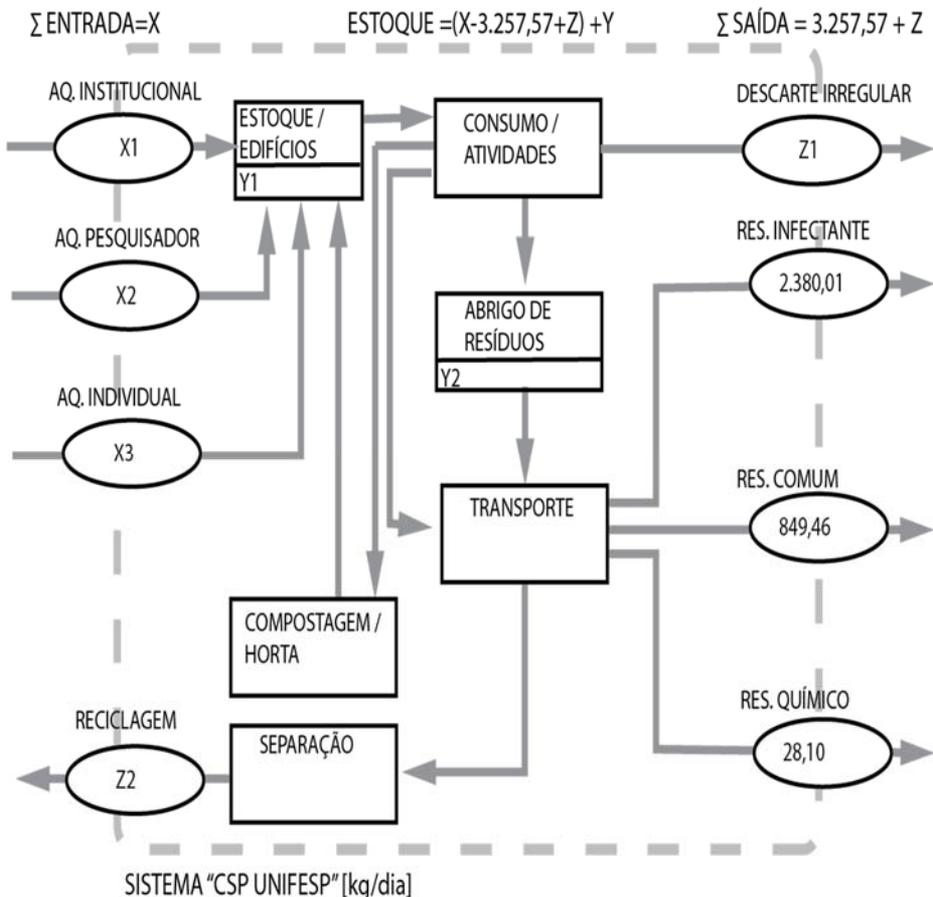


Figura 5 - MFA do sistema Campus São Paulo da Unifesp, em 2017

Outra ação que contribui para a sustentabilidade do *campus* é a separação de resíduos por meio de coleta seletiva e envio para reciclagem, criando um fluxo de saída (Z2). Fluxos de saída em uma instituição como o *campus* da universidade aqui tratada indicam a destinação a ser dada aos seus resíduos. Após a elaboração do diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos, constatou-se que há descarte irregular, ocorrido por práticas não sustentáveis como: por meio de diluição de produtos químicos no sistema de esgoto sanitário ou por segregação incorreta dos resíduos, destinar resíduo comum como se fosse resíduo infectante, logo que necessita de tratamento. Nesse segundo caso, porém, ainda é passível de ter a quantidade gerada contabilizada, o que não acontece com o descartado no esgoto.

No balanço quantitativo são propostas três variáveis: entradas (X), estoques (Y) e saídas (Z). Embora sejam conhecidos apenas os valores dos fluxos de saída, decorrentes dos dados do diagnóstico do gerenciamento de resíduos, o diagrama de MFA ainda é revelador dos principais processos que ocorrem no sistema do *campus*, assim como explicita as lacunas de informação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do método MFA mostrou ser possível formular análise de fluxo de material a partir do diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos. Embora a análise apresente lacunas de informação, pode-se constatar que a visualização por meio de diagrama *sankey* ou diagrama do sistema permite a sintetização de um sistema complexo em figuras de simples leitura, que podem contribuir para tomada de decisão e planejamento de ações, por parte dos gestores.

Ressalta-se ainda que o balanço de entradas e saídas, representado por um ou mais diagrama *sankey*, exige menos informações que o diagrama do sistema, assim, contar somente com o diagnóstico de gerenciamento de resíduos sólidos pode levar apenas ao primeiro exemplo de visualização.

Por fim, enfatiza-se a importância da aplicação, em ambiente institucional, de métodos de sintetização de informações complexas e com

grande volume de dados, o que além de permitir a visualização dos fluxos, facilita a divulgação de informação e a comunicação com a comunidade local, interessados e a administração da instituição.

REFERÊNCIAS

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222*. Brasília. 2018.

BRASIL. Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. *Política Nacional de Resíduos Sólidos*, 10 ago 2010.

BRUNNER, P. H.; RECHBERGER, H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. [S.l.]: Taylor & Francis e-Library, 2005.

DINARÈS, M. *Urban Metabolism: A review of recent literature on the subject*. Documents d'Anàlisi Geogràfica, 2014.

KARVOUNIS, A. Urban metabolism. In: CHRYSOULAKIS, N.; CASTRO, A. D.; MOORS, E. J. *Understanding Urban Metabolism - A tool for urban planning*. Nova York: Routledge, 2015.

KENNEDY, C.; PINCETL, S.; BUNJE, P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, v. 159, p. 1965-1973, 2011.

MPS ARQUITETOS ASSOCIADOS. *Plano Diretor de Infraestrutura do Campus São Paulo*. São Paulo, 2017.

RUBERG, C. ; NEUFELD, A.; GONÇALVES, R.; MARINHO, J. Resíduos sólidos gerados na Universidade Federal do Pampa – Campus de São Gabriel/RS: estimando a geração per capita. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2009.

TAUCHEN, J.; BRANDLI, L. L. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 3, p. 503-515, set-dez 2006.

UNIFESP - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO. *Plano de Logística Sustentável*, 2017. Disponível em:

<<http://www.unifesp.br/reitoria/dga/images/PLS/Documentos/PLS-UNIFESP%202017.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2018.

VILLENEUVE, J.; MICHEL, P.; MÉNARD Y.; FEHRINGER, R.; BRANDT B.; BRUNNER P. H.; DAXBECK H.; NEUMAYER S.; SMUTNY R. MFA-Manual: Guidelines for the Use of Material Flow Analysis (MFA) for Municipal Solid Waste (MSW) Management. *Resource Management Agency (RMA)*, 2004. Disponível em: <rma.at/en/node/938>. Acesso em: 01 jul. 2018.

WOLMAN, A. The metabolism of cities. *Scientific America*, v. 213, n. 3, p. 179 - 190, 1965.

ZHANG, Y. Urban metabolism: A review of research methodologies. *Environmental Pollution*, v. 178, p. 463-73, 2013.

8 Desenvolvimento imobiliário em áreas contaminadas

Ana Paula Dominguez da Costa
Helena Ribeiro

INTRODUÇÃO

Em 2016, o Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis e dos Condomínios Residenciais e Comerciais (SECOVI) registrou a venda de 16,2 mil unidades habitacionais, somente na capital paulista. Este foi o pior ano da série histórica, desde 2004. No seu auge, em 2007, o mercado registrou a marca de 36,6 mil unidades vendidas. Apesar de o mercado imobiliário ter registrado queda nas vendas de 2013 a 2016, em muito devido à recessão econômica enfrentada no Brasil no período, a Fundação Getúlio Vargas (FGV) desenvolveu uma metodologia para calcular a demanda por imóveis até 2025. Esse estudo revela um incremento projetado de 14,5 milhões de unidades no estoque de domicílios, entre o período de 2015 e 2025, na região metropolitana de São Paulo, o que equivale a uma taxa de crescimento anual de 1,8% (SECOVI, 2016). Mesmo com a retração do mercado imobiliário, a demanda por moradia tende a crescer nos próximos anos. Isso leva incorporadoras a buscar novos terrenos para desenvolverem seus empreendimentos. As mudanças nos planos estratégicos e a criação de novos eixos estruturais concentram-se em regiões centrais do município, por vezes ocupadas por atividades industriais. Isso faz com que áreas preteritamente ocupadas por atividades poluidoras sejam re-

abilitadas para inserção no mercado imobiliário, impedindo a continuação de um espraiamento urbano descontrolado e a destruição do cinturão verde e dos mananciais hídricos da cidade.

Nesse contexto, os objetivos deste capítulo são: analisar a importância da reutilização de áreas contaminadas dentro do contexto do desenvolvimento urbano sustentável; e identificar exemplos internacionais de incentivos, reconhecimento e premiações, públicos ou privados, para a reutilização de áreas contaminadas, que poderiam subsidiar programas paulistanos.

Como método, foi desenvolvida pesquisa bibliográfica em artigos científicos, livros, dissertações e teses. Para a pesquisa de artigos científicos foram consultadas as bases de dados SciELO, SCOPUS, SCIENCE DIRECT, SCIRUS, WEB OF SCIENCE e Google Acadêmico. Ademais, foram consultados bancos de teses e dissertações da biblioteca USP e outros sites. Consultas foram realizadas em bibliotecas para obtenção do material não disponível pela internet, a exemplo dos livros. Para as buscas foram utilizadas as palavras chaves e expressões: “áreas contaminadas”, “*brownfields*”, “reutilização de áreas contaminadas”, “*brownfield redevelopment*”, “desenvolvimento urbano sustentável”, “*sustainable urban development*”, “riscos à saúde”, “mercado imobiliário”.

DESENVOLVIMENTO URBANO E REUTILIZAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS

O padrão de urbanização imprimiu às metrópoles ao menos duas fortes características associadas ao modo predominante de fazer “cidade”: apresentam componentes de “insustentabilidade” associados aos processos de expansão da área urbana e proporcionam baixa qualidade de vida a parcelas significativas da população (GROSTEIN, 2001). O uso do solo urbano é dinâmico e as cidades precisam se adaptar às mudanças da sociedade e às suas necessidades por emprego, moradia, saúde e qualidade de vida. Estudos apontam para a necessidade de cidades mais compactas e ecologicamente sustentáveis, em que há políticas de contenção do espraiamento, de adensamento junto a pontos de transporte coletivo e de incentivo a usos mistos. Esse modelo incentiva

o aproveitamento de vazios urbanos e áreas subutilizadas, localizadas nas regiões centrais (COSTA, 1999; HOMBRE, 2014).

Como ressaltam Nadalin e Iglioni, (2007), a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) continua crescendo pelo espraiamento urbano desconcentrado, pouco denso e criando espaços vazios dentro da área urbana, subutilizando a infraestrutura existente nas áreas centrais, impactando remanescentes florestais e mananciais que deveriam ser preservados, especialmente nos extremos Norte, Sul e Leste da cidade de São Paulo. O espraiamento das cidades também incorre em maiores investimentos para ampliar a infraestrutura com o objetivo de atender estas regiões e, até que exista um mínimo de saneamento nestas áreas, o descarte de esgoto e lixo ocorre de forma desordenada causando a poluição da água e do solo. O avanço da mancha urbana sobre áreas livres (*greenfields*), em detrimento de áreas já urbanizadas não utilizadas e possivelmente degradadas (*brownfields*), foi historicamente observado mesmo em países que já haviam implementado um gerenciamento de áreas contaminadas. A consequência desse espraiamento é a perda da qualidade ambiental e aumento nos gastos com a implantação de infraestrutura (SEPE; SILVA, 2004).

A Agenda 21, produto da conferência do Rio - ECO 92, e a Agenda Habitat pautam políticas públicas e práticas urbanas de diversas cidades e metrópoles. Entre as diretrizes formuladas, destacam-se: a ideia de desenvolvimento sustentável; a necessidade de coordenação setorial; a descentralização de tomada de decisões; e a participação das comunidades interessadas em instâncias específicas da gestão urbana. Essas diretrizes articulam o desenvolvimento econômico, desenvolvimento social, desenvolvimento urbano e proteção ao meio ambiente, indicando os componentes gerais para o entendimento da noção de desenvolvimento urbano sustentável (GROSTEIN, 2001).

Atingir o desenvolvimento sustentável exige o engajamento de instituições governamentais de diversos níveis para implementar estratégias que assegurem que o desenvolvimento econômico, metas sociais e regulamentações ambientais estejam alinhados aos mesmos objetivos. Tanto os discursos governamentais, quanto de setores privados, encontram conexão entre sustentabilidade e a reutilização de *brownfields*. A agência ambiental americana, por exemplo, é quase incapaz de descrever qualquer uma de suas políticas para *brownfields*, sem incluir na

mesma frase os termos “sustentável” e “reutilização de *brownfields*” (EISEN, 1999).

Dentro do contexto do desenvolvimento urbano sustentável, surge a problemática de cidades como São Paulo, que vivenciam o desenvolvimento pós-industrial, com a mudança de uso em áreas anteriormente caracterizadas por atividades industriais e que passaram a ter nova vocação para diferentes usos. Como, por exemplo, a região da Barra Funda, Jurubatuba, Vila Carioca, além de algumas cidades da Região Metropolitana, como Santo André, São Bernardo do Campo e Mauá, que também sofreram um esvaziamento industrial nas últimas décadas.

O novo desenho urbano para estas regiões deve considerar fatores como o planejamento para desenvolvimento e participação imobiliária, regulação do uso do solo, desenvolvimento social e econômico. Operações Urbanas Consorciadas (OUC) são um bom exemplo de modelo para promover a reurbanização destas regiões, à medida que obtém o recurso financeiro para implantar obras de melhorias de infraestrutura, por meio dos investimentos privados do desenvolvimento imobiliário no perímetro da Operação Urbana.

Brownfields e áreas contaminadas podem ser um fator limitante ao desenvolvimento nessas regiões, pelo alto custo do processo de reabilitação como um todo, além das etapas necessárias à aprovação dos empreendimentos. A reinserção de áreas que perderam suas funções no ciclo econômico é relevante, como forma de evitar a utilização de áreas livres, mas pouco incentivada no Brasil.

Loures (2014), em sua pesquisa sobre o redesenvolvimento urbano de áreas industriais, analisou 117 casos de reutilização de áreas industriais para novos usos, em países da Europa, América do Sul, incluindo o Brasil, África, Ásia, América do Norte e Oceania. No seu estudo, identificou 22 benefícios e 17 dificuldades para a reutilização dessas áreas, considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos, elencados no Quadro 1.

O redesenvolvimento urbano de antigas áreas industriais, promovido pela implantação de empreendimentos com diversidade de usos, tais como comércio, moradia e serviço, cria novos centros que movimentam a economia local, atraindo novos investimentos. Regiões cu-

jas paisagens se configuravam por galpões antigos e deteriorados (fábricas fechadas, terrenos vazios, com aspecto marginalizado) vão, pouco a pouco, ganhando novos usos e atraindo novos públicos. Este cenário pode ser facilmente reconhecido no município de São Paulo, ao se observar as transformações ocorridas em bairros como a Barra Funda, Chácara Santo Antônio, Ipiranga e Jurubatuba. Investimentos privados para a aquisição de terrenos e implantação de novos empreendimentos residenciais e comerciais nessas regiões, também impulsionam investimentos públicos para melhorar a infraestrutura no atendimento das novas demandas populacionais, com ampliação de vias, melhoria dos espaços verdes, implantação de creches, hospitais e escolas. Também atraem investimentos privados destes setores para novas escolas, hospitais e ofertas de outros serviços particulares.

Quadro 1 - Benefícios e dificuldades para o redesenvolvimento urbano em áreas industriais

| BENEFÍCIOS | DIFICULDADES |
|---|--|
| Aumento na percepção de pertencimento | Percepção de marginalidade e crimes |
| Aumento nas conexões do ambiente humano | Disponibilidade de mão de obra, porém não qualificada |
| Geração de empregos | Alto custo para o redesenvolvimento |
| Redução do estigma social | Acessos inadequados |
| Estímulo a recreação e conectividade | Dificuldade para adequação da área |
| Redução do espraiamento urbano | Conhecimento insuficiente sobre as inter-relações no processo de redesenvolvimento |
| Criação de habitações de interesse social | Desafios para obter apoio financeiro |

(continua...)

Quadro 1 - Benefícios e dificuldades para o redesenvolvimento urbano em áreas industriais*(...continuação)*

| BENEFÍCIOS | DIFICULDADES |
|--|--|
| Proteção e realce do patrimônio industrial | Incertezas sobre as responsabilidades e o processo de reutilização |
| Utilização da infraestrutura existente | Potencial de contaminação |
| Redução de gastos com infraestrutura | Incertezas práticas sobre a remediação e construção |
| Estímulo a investimentos dentro da cidade | Incertezas sobre os custos |
| Redução do consumo de <i>greenfields</i> | Incerteza sobre os prazos para a reabilitação e adequação da área |
| Estímulo a novas atividades econômicas | Infraestrutura defasada |
| Redução da poluição atmosférica e da água | Padrões de propriedades |
| Aumento na arrecadação de impostos | <i>Lobbies</i> regionais e locais |
| Aumento no valor da propriedade cultural | Incertezas de demanda |
| Prevenção da dispersão de contaminantes | Sobreposição de jurisdições |
| Proteção do habitat de fauna nativa | |
| Melhora da qualidade estética do tecido urbano | |
| Criação de áreas verdes | |
| Aumento do consumo na região | |

À medida que esses novos bairros e melhorias vão se consolidando, parece natural que a qualidade de vida também melhore. Proporcionalmente essa evolução também tende a valorizar os imóveis de uma maneira geral, tanto aquele que foi reabilitado para o novo uso, quanto os demais inseridos na região. Com o aumento do valor dos imóveis e com todas as mudanças locais, o custo de vida nestas regiões tende a se tornar mais elevado. Essoka (2010) estudou a possível associação entre o redesenvolvimento de *brownfields* e a gentrificação¹ de regiões, avaliando se as comunidades instaladas nessas regiões de fato se beneficiam com o redesenvolvimento do *brownfield*, ou se acabam sendo expulsas, à medida em que os custos locais aumentam e se tornam incompatíveis com a condição financeira anterior. Foram constatadas as duas situações: de pessoas que acabaram se mudando, pois não conseguiram mais arcar com os custos elevados e de comerciantes locais que viram suas rendas aumentarem com o crescimento do fluxo de pessoas na região.

A gentrificação é um processo que envolve inúmeros fatores dentro das cidades, de modo que a reutilização de áreas contaminadas, não figura, necessariamente, como um fator negativo dentro do contexto do redesenvolvimento urbano, como estudado por Essoka (2010). Os impactos positivos produzidos pela reutilização de uma área são muito maiores. Dentro dessa esfera, importante é como tornar o processo de reutilização de uma área mais atrativo, prático e economicamente viável, para permitir a construção de empreendimentos acessíveis à população de baixa renda, para que também se beneficiem e possam morar em áreas centrais e com qualidade de vida, ao invés de se verem obrigadas a morar em lugares afastados. Ou ainda, permitir que populações que residem em locais afastados tenham oportunidade de se mudar para bairros centrais e melhorar sua qualidade de vida.

¹ Gentrificação é um fenômeno que afeta uma região quando existem alterações na sua composição paisagística, ou intervenções que substituam os usos locais com a construção de novos pontos comerciais ou edifícios, resultando no aumento do custo de bens e serviços, dificultando a permanência de antigos moradores com renda insuficiente para sua manutenção no local, cuja realidade foi alterada.

O fato é que áreas vazias, deterioradas e contaminadas dentro dos centros urbanos, são um grande desperdício de terreno e de recursos. Ao se manter o solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, como frequentemente ocorre com áreas degradadas, deixa-se de cumprir a função social da propriedade urbana, prevista constitucionalmente no art. 182 § 2º, o qual estabelece: “a propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação das cidades expressas no Plano Diretor”, regra também prevista no Art. 39 da Lei Federal nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade (CARMONA, 2015).

Da mesma forma, a Constituição Federal (1988) sustenta o princípio social da cidade, no Art.182, *caput*, estabelecendo que “a política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das *funções sociais da cidade* e garantir o bem-estar de seus habitantes” (CARMONA, 2015). Por essa razão, em uma cidade onde as condições para habitação, trabalho, lazer e até mesmo circulação dependem da disponibilidade de área urbana, não é possível que terrenos, casas, prédios ou espaços públicos permaneçam deteriorados, não sejam utilizados e deixem de colaborar com o bem-estar de todos os cidadãos, ou pior, possam ainda, trazer riscos à saúde pública. O uso da propriedade urbana deve se dar em prol do coletivo, da segurança, do equilíbrio ambiental e do bem-estar dos cidadãos, conforme Art. 1º do Estatuto da Cidade.

O conceito de qualidade de vida deve ser entendido sob o prisma de que a mera sobrevivência das pessoas não é suficiente, pois é necessário que a cidade cumpra a sua função social, garantindo, a todos, moradia digna, acesso ao trabalho e ao emprego, mobilidade urbana, lazer e recreação (CARMONA, 2015).

A construção do espaço urbano demanda grandes intervenções na paisagem e altera drasticamente os componentes bióticos e abióticos naturais, criando não apenas novas paisagens, como também novos ecossistemas (ROCHA, 2015). De acordo com Costa (1999), a expressão “meio ambiente urbano” sintetiza dimensões físicas (naturais e construídas) do espaço urbano com dimensões de ambiência, de possibilidades de convivência e de conflito, associadas às práticas da vida urbana e à busca de melhores condições de vida. Uma ordem urbanística tem os

seguintes princípios: função social da propriedade, função social da cidade, obrigatoriedade do planejamento participativo, justa distribuição do ônus decorrente do processo de urbanização e coesão dinâmica (CARMONA, 2015).

A cidade de São Paulo está em constante alteração, não sendo mais aceitável, considerando todo o conhecimento disponível, que as mudanças não sejam planejadas e bem orientadas. Em que pese a importância da reutilização de áreas contaminadas para o desenvolvimento urbano, o município de São Paulo ainda carece de dispositivos para atrair investimentos para a reutilização desses imóveis.

Sepe e Silva (2004) destacaram algumas possibilidades de instrumentos legais que poderiam ser utilizados como incentivos para despertar o interesse da iniciativa privada para a reutilização de áreas contaminadas, como a criação de um “fator de interesse ambiental” dentro do Plano Diretor ou dispositivos específicos nas leis de cada OUC. Até mesmo a utilização dos fundos municipais, como o Fundo Especial do Meio Ambiente (FEMA) e o Fundo de Desenvolvimento Urbano (FUNDURB) poderiam dispor de recursos para a reutilização de áreas degradadas/contaminadas. Sánchez (2004) explica que, dentre os instrumentos econômicos, poderia ser utilizada uma política fiscal para encorajar a revitalização, desde o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) progressivo, até a utilização de outros instrumentos como as OUC. Reforça ainda que a existência de fundos para remediar áreas órfãs poderia favorecer a revitalização de áreas. Para a reutilização de áreas contaminadas inseridas nos perímetros de OUC, poderia ser considerado, por exemplo, a possibilidade de desconto na aquisição do Certificado de Potencial Adicional de Construção (CEPAC). Também seria uma alternativa, que uma parte do valor arrecadado com a venda de CEPACs fosse direcionado à reabilitação de áreas contaminadas órfãs, inseridas no perímetro da OUC. Entretanto, nas atuais previsões legais, nenhuma dessas possibilidades se concretiza.

Na esfera federal, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos de 2010 ter determinado a criação de um fundo nacional para o gerenciamento de áreas contaminadas órfãs, tal fato ainda não se concretizou.

No âmbito estadual, a Lei Estadual nº 13.577/2009 instituiu a criação do Fundo Estadual para Prevenção e Remediação de Áreas Contaminadas (FEPRAC), fundo de investimentos vinculado à secretaria de Meio Ambiente do Estado, destinado à proteção do solo contra alterações prejudiciais à suas funções, assim como à identificação e remediação de áreas contaminadas. Os recursos do FEPRAC, conforme o Artigo 32 da Lei, seriam aplicados em operações financeiras, destinadas a apoiar e incentivar ações relacionadas a identificação e remediação de áreas contaminadas. O Decreto Estadual nº 59.263/2013 regulamentador da Lei nº 13.577/2009 destaca a necessidade de incentivar a reutilização como forma de promover a reabilitação de áreas contaminadas, sendo a prática considerada ainda, como de interesse público.

Em 2017, fundamentada no Inciso VI do Artigo 2º, Artigo 61 e Artigo 94 do Decreto Estadual nº 59.263/2013, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) dedicou um capítulo da Instrução Técnica – IT nº 039/2017, para estabelecer incentivos para a reutilização de áreas contaminadas, desagravando algumas imposições instituídas pela DD nº 038/2017, tais como: i) isenção de garantia bancária e seguro ambiental; ii) autuações para o poluidor; iii) isenção da análise técnica, econômica e financeira; e iv) controle de fontes de contaminação externas.

A DD nº 038/2017 estabelecia a obrigatoriedade de apresentar garantia bancária ou seguro ambiental, a fim de assegurar a implantação do Plano de Intervenção nos prazos estabelecidos, no valor de 125% do custo estimado no plano. A nova IT dispensa a obrigatoriedade de apresentação do seguro ou garantia bancária, entendendo que a implantação do empreendimento previsto para o local já é a garantia da implementação das medidas de intervenção para a reabilitação da área.

Em áreas com proposta de reutilização, ou já classificadas como “Área em Processo de Reutilização (ACRu)”, as penalidades de multa, previstas pela DD nº 038/2017 e detalhadas na IT nº 039/2017, não serão endereçadas ao Responsável Legal que propôs a reutilização da área contaminada. Essas penalidades serão endereçadas ao causador da contaminação. O Responsável Legal pela proposta de reutilização de área contaminada será autuado no caso de descumprimento das ações de gerenciamento descritas no Plano de Intervenção para Reutilização.

Os Responsáveis Legais pela reutilização da área contaminada estão dispensados de apresentar, no Plano de Intervenção, análise técnica, econômica e financeira que comprove a inviabilidade de utilização de técnica de remediação para tratamento da contaminação, nos casos em que sejam propostas medidas de contenção, de engenharia e medidas de controle institucional. Cabe à CETESB avaliar a adequação das medidas de intervenção propostas para cada caso, por ocasião da análise do Plano de Intervenção.

Nos casos em que houver a remoção ou o controle efetivo das fontes primárias e secundárias de contaminação e quando os resultados das campanhas de Monitoramento para Encerramento indicarem tendência de redução ou estabilidade das plumas de contaminação das águas subterrâneas abaixo da Concentração Máxima Aceitável (CMA), poderá ser estabelecida a restrição ao uso da água subterrânea sem a determinação de prazo e sem necessidade de monitoramento analítico. Nos casos em que persistir a necessidade de realização de monitoramento analítico das águas subterrâneas, a responsabilidade pelos monitoramentos futuros poderá ser atribuída ao síndico ou responsável pelo empreendimento, conforme cronograma proposto no Plano de Intervenção aprovado pela CETESB.

Nos casos de áreas em processo de reutilização, onde seja constatada que a contaminação tem origem em fontes externas à área do empreendimento, a CETESB coordenará as ações necessárias para acionar os responsáveis pela fonte de contaminação, demandando a adoção das medidas necessárias ao gerenciamento da área contaminada. Dessa forma, fica permitido ao responsável legal da área afetada pela contaminação externa propor medidas de engenharia e de contenção, para promover a reutilização segura da área, no Plano de Intervenção.

PROGRAMAS DE INCENTIVOS E PREMIAÇÕES INTERNACIONAIS

As experiências internacionais são excelentes exemplos de como gerir o problema das áreas contaminadas em centros urbanos, como São Paulo. Em países desenvolvidos, os procedimentos para a reutilização de áreas contaminadas ou degradadas estão consolidados e são práticas

incentivadas pelo poder público, conscientes da importância da reutilização dessas áreas para o desenvolvimento sustentável de suas comunidades. Existem desde programas públicos com incentivos fiscais nacionais, estaduais e municipais até premiações para os melhores projetos de revitalização de *brownfields*, promovidas por entidades não governamentais reconhecidas.

Os Estados Unidos foram pioneiros na implementação de medidas para o gerenciamento de áreas contaminadas e na promoção de revitalização destas áreas. A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) regulamenta e incentiva a revitalização de todos os tipos de áreas contaminadas, visando sua reutilização para fins produtivos, entendendo que remediar e reutilizar áreas contaminadas protege o meio ambiente, valoriza comunidades, melhora e impulsiona economias locais, preserva áreas verdes e previne o espraiamento urbano.

Em 1980, foi publicada a primeira legislação sobre o tema, o *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act* (CERCLA; P.L. 96-510, 1980), também chamado de “*Superfund*”. A lei foi criada após os acontecimentos dos casos do *Love Canal* e *Valley of the Drums*, áreas contaminadas com produtos perigosos e que atraíram a preocupação e atenção pública em virtude dos riscos e danos causados diretamente à população afetada (CUNHA, 1997; SÁNCHEZ, 2004; BEARDEN, 2012; USEPA, 2019). A lei adota o princípio do poluidor-pagador, e atribui ao proprietário da área a responsabilidade pela remediação, mesmo que este não seja o causador da contaminação. Para as áreas abandonadas, ou seja, aquelas em que o proprietário não foi localizado, abriu falência ou se recusa a tomar as providências para a remediação da área (áreas órfãs), foi criado o fundo “*Hazardous Substance Superfund Trust Fund*”, conferindo autonomia e suporte financeiro para que a própria USEPA pudesse tomar as providências para o gerenciamento da área contaminada, das etapas investigativas até a remediação e, posteriormente, acionar os responsáveis (USEPA, 2019). Os recursos direcionados para o fundo vieram da criação de quatro taxas, três delas sobre produtos químicos e petróleo e a outra sobre a renda dessas empresas e mineração. Somente no primeiro ano, as taxas recolheram ao fundo US\$ 1,6 bilhões. As taxas foram renovadas em 1986, por meio da aprovação da Lei “*Superfund Amendments and Reauthorization Act*” (SARA), o que

aumentou a arrecadação do fundo para US\$ 8,5 bilhões, em 1992. A partir de 1995 não houve renovação das taxas e o fundo passou a contar apenas com os aportes advindos de multas e processos judiciais (BEARDEN, 2012).

Em 1983, a USEPA criou a primeira “*National Priority List*” – NPL (Lista Nacional de Prioridades), incluindo nessa relação as áreas prioritárias para remediação. Para definir se uma área é prioritária ou não, a USEPA utiliza o critério de qualificação estabelecido pelo “*Hazard Ranking System*” – HRS (Sistema de Classificação de Perigos), publicado em 1982. O HRS (Sistema de Classificação de Perigos), é um sistema de pontuação que utiliza as informações das primeiras investigações ambientais de uma área, para avaliar os riscos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente, baseado em fatores individuais ou agrupados, tais como: caminhos das águas subterrâneas, da água superficial, do ar, de exposição ao solo, ameaça à cadeia alimentar, características dos resíduos e probabilidade de dispersão do contaminante (EPA, 2019). A inclusão da área na NPL se dá quando o índice HRS $\geq 28,5$. A área também pode ser inserida na NPL por notificação da *The Agency for Toxic Substances and Disease Registry* (ATSDR), sendo constatado o risco à saúde, ou por meio de nomeação pelo governo estadual. Somente as áreas inseridas na NPL são qualificadas para receber o suporte financeiro do *Superfund*.

Estudos apontam que a legislação até a década de 1980 tratava indiscriminadamente todos os tipos de propriedades contaminadas, ou potencialmente contaminadas, tendo como foco a defesa do perigo, restringindo a reutilização dessas áreas, o que reduzia seu valor de mercado e dificultava sua reintegração ao tecido urbano (MARKER, 2003; SÁNCHEZ, 2001; SOUZA, 2005). Como somente as áreas inseridas na NPL tinham acesso aos fundos do *Superfund*, áreas com menor grau de contaminação não recebiam quaisquer incentivos para ser reabilitadas, o que deixava de atrair investidores e dificultava a reutilização. A partir de 1980, 40 estados começaram a desenvolver o “*State Voluntary Cleanup Program*” – VCP (Programa de Remediação Voluntária), para estimular a revitalização das áreas não listadas pela NPL (BEINS; LESTER, 2015).

Em 1995, foi criado o “*Brownfields and Land Revitalization Program*” com o objetivo de empoderar os estados, comunidades e demais interessados na recuperação econômica de áreas contaminadas a trabalhar

em conjunto para prevenir, investigar, tratar e, de forma sustentável, reutilizar áreas degradadas ou contaminadas (*brownfields*). Desde então, se confirmou como um programa orientado a resultados, que mudou a maneira como áreas contaminadas são compreendidas, tratadas e gerenciadas. As ações foram iniciadas quando a United States Environmental Protection Agency (EPA), dispendo de verba inicial, incentivou governos locais com o lançamento de centenas de projetos pilotos (dois anos de duração) para a recuperação de áreas degradadas e desenvolveu guias e ferramentas de apoio. O “*Brownfields and Land Revitalization Program*” se difere do “*Superfund*” por ser direcionado à reabilitação de qualquer tipo de área contaminada e não somente às áreas abandonadas. Suas linhas de financiamento e crédito podem ser solicitadas por agentes ou entidades elegíveis aos fundos, para algumas modalidades, ressaltando entre elas:

- **Reconhecimento da área e Investigações Ambientais:** até US\$ 200.000 para locais impactados por substâncias perigosas, poluentes, ou outros contaminantes e derivados de petróleo. Três ou mais interessados podem aplicar em conjunto para financiamentos de até US\$ 1 milhão para investigações abrangendo no mínimo cinco áreas.
- **Remediação:** Até US\$ 200.000 por áreas contaminadas por derivados de petróleo, substâncias perigosas e outros tipos de contaminantes;
- **Treinamento Profissional:** linha de financiamento dedicada a programas de treinamentos para residentes de áreas afetadas que buscam novas habilidades ou oportunidades de seguir carreira na área ambiental, saúde e segurança. Os agentes ou entidades elegíveis podem solicitar até US\$ 200.000 para desenvolver programas de treinamentos que sejam voltados à revitalização de *brownfields*, que estimulam o desenvolvimento econômico e que produzam profissionais técnicos altamente qualificados na área ambiental, capazes de atuar na recuperação de outras áreas degradadas ou contaminadas.

- **Assistência Técnica:** linha de crédito para agências e organizações com projetos de treinamentos e pesquisas inovadoras que colaborem e contribuam com a revitalização de *brownfields*.

Os estados americanos também promoveram publicação de leis que minimizam os riscos associados à responsabilização legal pelo passivo da área contaminada ou degradada, para empreendedores e potenciais investidores interessados na revitalização do local. Alguns estados americanos, como Colorado, Connecticut, Illinois, Maryland, Massachusetts, Michigan, Missouri, Ohio, Pensilvânia e Wisconsin estimulam iniciativas de revitalização de *brownfields* como um dos princípios da política de *Smart Growth*, controlando o espraiamento urbano e direcionando o desenvolvimento em áreas urbanas já consolidadas (EISEN, 1999; BOLEN et al., 2002). Os programas estaduais geralmente estão ligados às leis do Superfund e aos *Voluntary Cleanup Programs (VCP)* (Programas de Remediação Voluntários) da EPA. Os VCPs são especialmente voltados às áreas contaminadas de menor prioridade ou menor periculosidade e focados em incentivar o setor privado na revitalização de *brownfields* e promover a reutilização dessas áreas. São oferecidos incentivos financeiros, como benefícios fiscais, padrões de qualidade ambiental mais flexíveis do que as leis do *Superfund* federais e estaduais, procedimentos de fiscalização simplificados, nos quais os empreendedores não serão submetidos a processos administrativos complexos, garantias do estado ou incentivos quanto à responsabilização civil sobre o passivo (UMICH, 2018).

Em Nova York, por exemplo, o *Brownfield Cleanup Program (BCP)* tem por objetivo encorajar o setor privado a sanear, descontaminar e reutilizar *brownfields*, como forma de revitalização econômica e ambiental de comunidades degradadas. O “BCP” é uma alternativa ao uso de áreas verdes (*greenfields*) e fornece incentivos tais como benefícios fiscais e isenção/desagravo de responsabilidade. O programa é administrado pelo Departamento de Conservação Ambiental (*Department of Environmental Conservation*) e Departamento de Tributação e Finanças (*Department of Taxation and Finance*) do estado de Nova York e os créditos obtidos podem ser maiores ou menores, dependendo da localização da área reabilitada e do nível de descontaminação alcançado.

Em 1995, o estado de Michigan criou um VCP como parte do compromisso de responsabilidade ambiental (*Michigan Environmental Response Act - MERA*). O Departamento de Qualidade Ambiental (*Department of Environmental Quality - DEQ*) administra o “*Michigan Brownfield Redevelopment Program*”, que é composto por dois fundos: um voltado para a recuperação de áreas (*Site Reclamation Fund*) e o outro para a investigação de áreas (*Site Assessment Fund*). O programa inclui incentivos legais, como por exemplo garantias de não acionar judicialmente, desagrar a responsabilidade legal de terceiros como agentes financeiros e do novo proprietário da área, ou seja, do proprietário que não causou a contaminação do local, e, em alguns casos, estes são isentos completamente da responsabilização civil pelo passivo. Através da Divisão de Remediação e Reutilização (*Remediation and Redevelopment Division*) são ainda ofertados apoios técnico e financeiro, incluindo, financiamento, empréstimos, incentivos fiscais e até o custeio das investigações ambientais para facilitar e possibilitar a recuperação e reutilização de áreas contaminadas.

Os valores de financiamentos ou empréstimos podem chegar até 1 milhão de dólares por projeto e podem ser usados tanto nas etapas investigativas quanto para os procedimentos de remediação, desde que os benefícios econômicos da reutilização da área suplantem os valores do crédito concedido pelo programa.

Os VCPs também são encontrados no âmbito municipal, como na cidade de Houston, Texas, que possui o seu próprio “*Brownfield Redevelopment Program*”, com o objetivo de revitalizar comunidades centrais, catalisar crescimento econômico sustentável, melhorar a qualidade de vida dos munícipes, assegurando um ambiente limpo e seguro. Através de parceria e fazendo uso dos fundos federais voltados à recuperação de *brownfields*, o programa oferece a empreendedores e investidores: treinamentos, orientações sobre leis e normas regulamentadoras, engajamento da comunidade, assistência técnica e profissional, estratégias de financiamento do projeto, Avaliação Preliminar e Investigação Confirmatória (Fase 1 e 2 conforme normas da EPA) e planejamento da remediação. Desde o lançamento do programa, em 2005, já foram reabilitadas mais de 75 áreas que resultaram na arrecadação de mais de US\$ 5 milhões em impostos (HOUSTON, 2018).

Premiações internacionais

No âmbito internacional, foram criadas premiações com o objetivo de reconhecer os esforços voltados à revitalização de *brownfields*. As premiações identificadas são todas de organizações ou instituições privadas, mas que contemplam algumas categorias que premiam iniciativas públicas voltadas à melhoria de processos e condições para que mais *brownfields* sejam revitalizados.

a) *The Brownie Awards* - Canadá

A premiação foi criada em 2001 pelo *Canadian Urban Institute* e, em 2018, chegou à sua 19ª edição.

O objetivo do “*The Brownie Awards*” é reconhecer os esforços e as inovações de profissionais que se dedicam à reabilitação de áreas contaminadas, subutilizadas ou sem desenvolvimento, transformando-as em áreas produtivas e reintegradas à malha urbana com projetos residenciais e comerciais, contribuindo assim para o saudável desenvolvimento de comunidades no território canadense.

O *Brownie Awards* é dividido em seis categorias: i) reprogramar; ii) remediar; iii) reinvestir; iv) reconstruir; v) renovar; e vi) *reach out*.

Na categoria Reprogramar estão iniciativas legais, políticas e programas, trata de projetos ou programas que: (a) quebram barreiras e/ou facilitam o desenvolvimento, investimentos e recuperação de *brownfields*; (b) servem como modelos de excelência que podem ser aplicados ou replicados em governos municipais e estaduais; e (c) estimulam novos investimentos ou facilitam parcerias colaborativas para implementar uma visão de intensificação e melhoria de retorno sobre os investimentos dos fundos públicos.

Remediar envolve remediação sustentável e inovações tecnológicas, com projetos ou programas que: (a) demonstram liderança e inovação nos processos de remediação ambiental; (b) promovem soluções econômicas “in situ” que evitam impactos ambientais mais amplos; (c) incorporam princípios ecológicos aos tratamentos convencionais; e (d) encorajam o uso de novas tecnologias e economicamente mais eficazes promovendo e impulsionando a criação e disponibilização de novas alternativas e tecnologias no mercado.

Reinvestir trata de financiamento, gestão de riscos e parcerias, com projetos ou programas que: (a) se apoiam em abordagens inovadoras para obtenção de financiamento com a finalidade de revitalização econômica e ecológica, como uso de parcerias público-privadas (PPP), e incentivos públicos para alavancar investimentos; e (b) facilitam soluções inovadoras para mitigar riscos no processo.

A categoria Reconstruir diz respeito ao desenvolvimento de projeto: Escala Edificação, cujos projetos ou programas: (a) demonstram excelência com resposta específica a iniciativas de políticas públicas que, aceleram o processo de reabilitação resultante do desenvolvimento do projeto; (b) promovem a melhoria do domínio público e impulsionam oportunidades para integração política e colaborativa entre diferentes setores; e (c) combinam criatividade e adaptação para reutilizar estruturas existentes na promoção de saúde e bem-estar.

Renovar volta-se ao desenvolvimento de projeto: Escala Bairro, com projetos ou programas que: (a) estimulam novos investimentos em transformações abrangendo o contexto de “bairro”; (b) aproveitam e adaptam estruturas de construções existentes para encorajar o desenvolvimento integrado multifásico; (c) demonstram alto nível colaborativo; inspiram proprietários de terrenos e investidores a se engajar com apoio da comunidade em um propósito único; e (d) promovem a transformação dando um novo enfoque ao domínio público, melhorando a funcionalidade, habitabilidade e características do bairro.

Na categoria *Reach out* estão a comunicação, publicidade e engajamento público, cujos projetos ou programas: (a) englobam com sucesso programas e planos municipais de investimento para a recuperação e/ou reabilitação de áreas degradadas, em apoio à competitividade de uma comunidade e sustentabilidade a longo prazo; (b) demonstram abordagens inovadoras para dar suporte a investimento público/privado e crescimento projetado para alcançar intensificação por meio da revitalização, reutilização ou outra forma de recuperação; e (c) envolvem a criação de uma “marca” ou “conceito” que melhore a aceitação e compreensão sobre a recuperação e reabilitação de áreas degradadas.

Todos os projetos inscritos nessas categorias concorrem para os prêmios de “Melhor Projeto de Pequeno Porte”, “Melhor Projeto de

Grande Porte”, “Melhor Projeto” e de “*Brownfielder of the Year*”, concedido ao profissional que mais se destacou na revitalização de *brownfields*.

b) *Big Apple Brownfield Awards* – Cidade de Nova York, EUA

A premiação foi criada em 2009 por iniciativa da “*The New York City Brownfield Partnership – NYC Brownfield Partnership*”, organização não governamental (ONG) e sem fins lucrativos formada por representantes de empresas de consultoria, organizações de empresas de remediação, legislação ambiental, de recuperação de áreas degradadas e organizações representantes da sociedade civil da cidade de Nova York. A ONG tem como principal objetivo alertar e conscientizar a comunidade, a iniciativa privada e entes públicos sobre a importância, os benefícios, as oportunidades e melhores práticas na recuperação e revitalização de *brownfield*.

O *Big Apple Brownfield Awards* foi a maneira encontrada pela ONG, em parceria com seus apoiadores, de homenagear e reconhecer por meio de uma premiação os projetos e profissionais de maior destaque e é dividido em seis categorias: i) Alcance comunitário (*Community Outreach*); ii) Desenvolvimento econômico (*Economic Development*); iii) Proteção ambiental (*Environmental Protection*); iv) Espaço aberto (*Open Space*); v) Habitação acessível/Interesse social (*Supportive/Affordable Housing*); e vi) Trabalho de destaque (*Distinguished Service Award Winner*), esta última categoria destinada a um profissional específico.

Chama atenção a categoria *Supportive/Affordable Housing*, dedicada exclusivamente às áreas que foram reabilitadas para a construção de empreendimentos de interesse social, a medida em que esta categoria reconhece também o contexto social e a importância desse tipo de empreendimento no desenvolvimento sustentável da cidade. Steve Dwyer destaca a importância de se construir empreendimentos de Habitações de Interesse Social (HIS) dentro de grandes centros urbanos, como Nova York, que tem se destacado dentro deste contexto e servido como exemplo para outras grandes cidades americanas. Os HIS’s construídos dentro dos grandes centros urbanos permitem a aproximação das pessoas aos seus locais de trabalho, diminuem a quantidade de viagens diárias com veículos particulares, intensificam o uso de transporte público e de formas alternativas, como o uso de bicicletas. Os projetos ganhadores

nesta categoria em 2017, os empreendimentos *Webster Residence* e *Park House*, têm 60% das suas unidades destinadas a pessoas com renda inferior a 60% da média da renda *per capita* local.

Um estudo da *Wayne State University* fez ainda um levantamento sobre os preços dos imóveis antes e depois da construção de empreendimentos HIS's e descobriu um efeito positivo no valor de imóveis em áreas nobres e aumento nos preços de imóveis em bairros menos valorizados. Importante o destaque para esta categoria da premiação, pois além de reconhecer o enorme benefício da remediação de uma área contaminada e sua recuperação para o meio urbano, o novo uso dado a esta área se converte para benefício daqueles menos privilegiados, melhorando a qualidade de vida dessas pessoas e incentivando a produção de habitações de interesse social dentro da mancha urbana.

c) *Brownfield Briefing Awards* - Reino Unido

Em 2018, foi realizada a 14ª edição do *Brownfield Briefing Award*, promovido pela companhia *Environment Analyst Ltd.*¹¹, atuante no Reino Unido. É uma companhia de iniciativa privada que tem como objetivo ajudar seus clientes a compreender melhor como meio ambiente, publicidade e políticas podem moldar oportunidades de negócios e decisões de investimentos. A agenda de atuação dentro de Desenvolvimento e Infraestrutura abrange temas como a reutilização de áreas contaminadas, construções sustentáveis, ecologia e inundações. O *Brownfield Briefing Award* é promovido, anualmente, e sua primeira edição foi realizada em 2004 com o objetivo de reconhecer a excelência técnica e conceitual de projetos que promovem a reutilização de áreas contaminadas.

Em 2018, a premiação contou com 14 categorias: i) Melhor uso de combinação de técnicas de remediação; ii) Melhor tratamento “in situ”; iii) Melhor projeto conceitual; iv) Melhor escopo ou desenvolvimento da investigação ambiental; v) Melhor encerramento do projeto/processo de monitoramento; vi) Melhor participação pública; vii) Melhor reutilização de materiais/estruturas existentes em um projeto; viii) Melhor avanço científico/laboratorial; ix) Melhor inovação digital na reutilização de uma área; x) Melhor projeto de revitalização urbana;

xi) Melhor infraestrutura na revitalização de uma área; xii) Melhor aprimoramento de biodiversidade; xiii) Projeto do ano; xiv) Melhor profissional revelação.

O ganhador nas categorias Melhor Projeto de Revitalização Urbana e Projeto do Ano foi o *Southall Waterside*, um empreendimento imobiliário de uso misto, no conceito de um novo bairro em uma área de mais de 350.000 m², que inclui lojas, restaurantes, lazer, escolas, espaços comunitários, praças, áreas verdes e 3.750 apartamentos de diferentes tipologias, desde estúdios até unidades com 3 dormitórios. A área, localizada na região oeste de Londres, havia sido ocupada por uma indústria de produção de gás de carvão da *Southall Gasworks*, construída pela *Brentford Gas Company*, em 1869, para atender à demanda por gás de carvão utilizado, naquele período, para iluminação de casas e ruas e na produção industrial. A área está localizada próxima a um rio e uma estrada de ferro o que facilitava o transporte de carvão. As atividades da planta foram encerradas em 1970 e, desde então, o imóvel teve vários locatários, o último deles utilizava a área para estacionamento de veículos, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 - Imagem aérea da área da antiga *Southall Gasworks*, desativada na década de 1970, ocupada pela atividade de estacionamento de veículos, 2016.

Fonte: DMAG (2018)

Para a reabilitação, será necessária a remediação de mais de 250.000 m³ de solo contaminado, além da remoção de antigos dutos remanescentes da atividade pretérita. A construção de todo o complexo imobiliário será faseada em um período de 25 anos. Na primeira fase, prevista para 2019, serão entregues 618 apartamentos, dos quais 186 de interesse social, com valores acessíveis. A entrega coincide com a inauguração do *Crossrail* com estação próxima do empreendimento. O projeto, além de promover a remediação da área, irá recuperar as margens do canal com implantação de áreas verdes e passeio para pedestres integrando ao empreendimento. A Figura 2 apresenta ilustração artística da vista interna do empreendimento.



Figura 2 - Ilustração artística da vista interna do empreendimento Southall Waterside

Fonte: BERKELEYGROUP (2018)

A prefeitura de Londres projeta que até 2036 serão necessários mais de um milhão de novas residências e postos de serviços para atender à demanda de crescimento do município, e com o aumento na desativação de indústrias na região, as áreas preteritamente ocupadas por atividades industriais tornam-se favoráveis à implantação de novos empreendimentos imobiliários, devido ao seu tamanho e por sua localização quase sempre central ou próxima da região metropolitana. A reutilização de áreas contaminadas ou degradadas é fortemente incentivada pelo Governo do Reino Unido, que disponibiliza um cadastro de áreas com potencial para desenvolvimento imobiliário, especialmente para a construção de novas habitações, e existe forte campanha para proteger as áreas verdes e rurais (*Campaign to Protect Rural England*), que incentivam a reutilização de *brownfields* e a preservação dos *greenfields*, como pode ser visto na Figura 3.

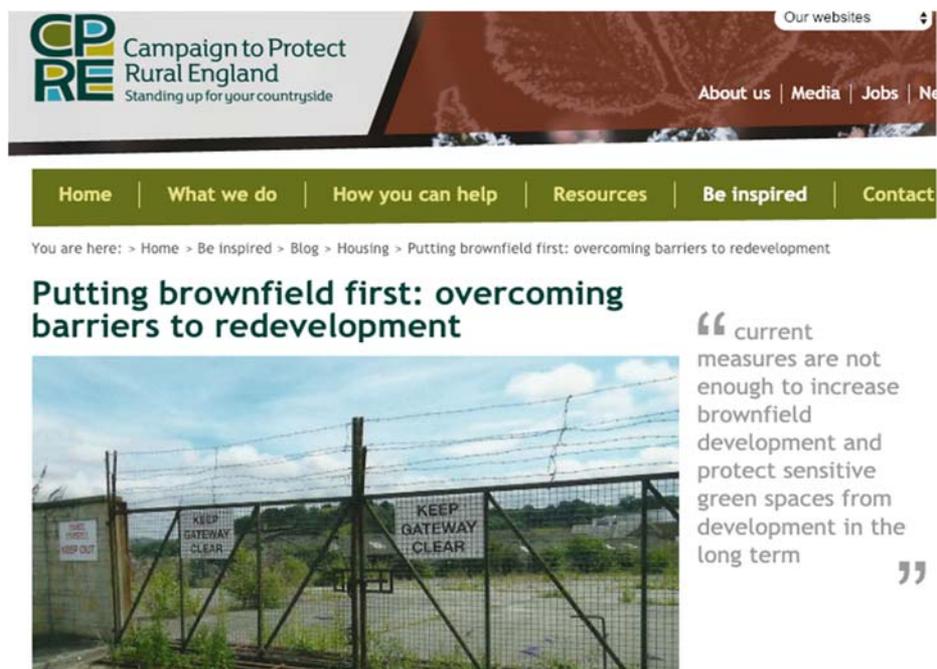


Figura 3 – Campanha de Proteção das Zonas Rurais do Reino Unido com incentivo à reutilização de *brownfields*

Fonte: CPRE (2018)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Áreas contaminadas são a herança de um passado sem controle. Foram muitos anos de ocupação do solo sem o ordenamento adequado e de desenvolvimento de atividades poluidoras sem gerenciamento. A reabilitação de áreas contaminadas torna-se uma necessidade para o re-desenvolvimento de regiões e o mercado imobiliário tem tido parte fundamental nesse processo, em todo mundo, investindo na produção de novos empreendimentos que atendam às demandas urbanas e a novos usos do solo de cidades em constante transformação. As experiências internacionais observadas mostraram que o sucesso dos programas de revitalização de *brownfields* foi possível com a criação de fundos que serviram, em um primeiro momento, para o gerenciamento de áreas órfãs e, segundo, para a criação de produtos de financiamento para empreendedores que se propuseram a investir no gerenciamento e reutilização de áreas degradadas. Dentro desse contexto, houve contribuição da flexibilização legal das questões relacionadas à responsabilização civil pelo dano ambiental. Os programas criados, em nível federal, foram abraçados por Estados que desenvolveram seus próprios programas de incentivo e apoio técnico a estes empreendedores. O que se almeja é reintegrar a área ao tecido urbano com a implantação de empreendimentos que atendam às necessidades da comunidade, de modo seguro.

REFERÊNCIAS

BEARDEN, D. *Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act: A Summary of Superfund Cleanup Authorities and Related Provisions of the Act*. Congressional Research Service Report, 2012.

BEINS, K., LESTER, S. *Superfund: Polluters pay so children can play*. 35th Anniversary. Center for Health, Environment & Justice: Virginia, 2015, 80 p.

BERKELEYGROUP. *Southall Waterside*. Disponível em: <https://www.berkeleygroup.co.uk/developments/london/southall/southall-waterside>. Acesso em: 13 dez 2018.

BOLEN, E.; BROWN, K.; KIERNAN, D.; KONSCHNIK, K. Smart Growth: A review of programs state by state. *Hastings Environmental Law Journal*, v. 8, n. 2, p. 145-233, 2002.

CARMONA, P. C. Qualidade de vida e princípios do direito urbanístico. In: ROCHA, L. L. *Urbanismo e Saúde Ambiental*. p. 152. Brasília, DF: Gazeta, 2015.

COSTA, H. S. Desenvolvimento sustentável: uma contradição em termos? *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais [Online]*, n. 2, p. 55-71, 1999. Disponível em: <http://rbeur.anpur.org.br/rbeur/article/view/37/0>. Acesso em: 02 maio 2018.

CPRE - THE COUNTRYSIDE CHARITY. Disponível em: <https://www.cpre.org.uk/magazine/opinion/item/3736-putting-brownfield-first-overcoming-barriers-to-redevelopment>. Acesso em: 12 dez. 2018.

CUNHA, R. C. A. *Avaliação de risco em áreas contaminadas por fontes industriais desativadas: estudo de caso*. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

EISEN, J. B. Brownfield policies for sustainable cities. *Duke Environmental Law & Policy Forum*, n. 9, p. 187-229, 1999.

DMAG - DAVIES MAGUIRE. *Southall Waterside*. Disponível em: <http://www.dmag.com/projects/southall-waterside/>. Acesso em: 13 dez 2018.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Superfund*. Disponível em: <https://www.epa.gov/superfund/introduction-hazard-ranking-system-hrs>. Acesso em: 21 maio 2019.

ESSOKA, J. D. The gentrifying effects of brownfields redevelopment. *The Western Journal of Black Studies*, v. 34, n. 3, p. 299-315, 2010.

GROSTEIN, M. D. MetrÓpole e expansão urbana a persistência de processos insustentáveis. *São Paulo em Perspectiva*, v.15, n.1, p. 13-19, 2001.

HOUSTON. *Brownfields* Disponível em: <http://www.houstontx.gov/brownfields/>. Acesso em: 11 nov. 2018.

HOMBRE - HOLISTIC MANAGEMENT OF BROWNFIELD REGENERATION. *HOMBRE's Role in Brownfields Management and Avoidance*. 2014. Disponível em: http://www.zerobrownfields.eu/quic-klinks/HOMBRE_Broschure_2014_FINAL.pdf. Acesso em: 03 nov. 2018.

LOURES, L. Post-industrial landscapes as drivers for urban redevelopment: Public versus expert perspectives towards the benefits and barriers of the reuse of post-industrial sites in urban areas. *Habitat International*. n. 45, p. 72-81, 2014.

MARKER, A. *Manual: Revitalização de áreas degradadas e contaminadas (brownfields) na América Latina*. São Paulo: SVMA, 2003.

NADALIN, V.; IGLIORI, D. Espreadimento urbano e periferização da pobreza na região metropolitana de São Paulo: evidências empíricas. *EURE (Santiago)*, v. 41, n. 124, p. 91-111, 2015.

ROCHA, C. D. Cidades sustentáveis: preservação do cerrado no perímetro urbano do Distrito Federal de acordo com a Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. In: ROCHA, L. L. *Urbanismo e saúde ambiental*. p. 152. Brasília, DF: Gazeta Jurídica, 2015.

SÁNCHEZ, L. E. *Desengenharia: O passivo ambiental na desativação de empreendimentos industriais*. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2001.

SÁNCHEZ, L.E. Revitalização de áreas contaminadas. In: MOERI, E.; COELHO, R.; MARKER, A. (Org.). *Remediação e revitalização de áreas contaminadas - Aspectos técnicos, jurídicos e financeiros - Experiências nacionais e internacionais*. São Paulo: Signus, 2004, p. 79-90.

SEPE, P. M.; SILVA, F. A.. Revitalização de áreas contaminadas no município de São Paulo. In: MOERI, E.; COELHO, R., MARKER, A. (Org.). *Remediação e revitalização de áreas contaminadas: aspectos técnicos, jurídicos e financeiros*. São Paulo: Signus Editora, 2004, p. 43-52.

SECOVI - SINDICATO DAS EMPRESAS DE COMPRA, VENDA, LOCAÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE IMÓVEIS E DOS CONDOMÍNIOS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS. *Anuário do mercado imobiliário - 2016*. São Paulo, SP, 2016.

SOUZA, C. Policy performance and brownfield redevelopment in Milwaukee, Wisconsin. *The Professional Geographer*, v. 57, n. 2, p. 312-327, 2005.

UMICH - UNIVERSITY OF MICHIGAN. Brownfield Redevelopment. Disponível em: <http://www.umich.edu/~econdev/brownfields/>. Acesso em: 03 nov. 2018.

USEPA - UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Superfund history*. Disponível em: <https://www.epa.gov/superfund/superfund-history>. Acesso em: 28 jan. 2019.

Parte III

Qualidade Ambiental: métodos e instrumentos

9 Distribuição espacial das concentrações de ozônio com uso de amostradores passivos em Jundiaí-SP

Edson Pacheco Júnior

Fernanda Alves Cangerana Pereira

João Vicente de Assunção

INTRODUÇÃO

O ozônio (O_3) é um gás presente em pequenas concentrações na atmosfera. Essencial para a manutenção da vida terrestre, o ozônio na estratosfera atua como um escudo contra raios ultravioleta (UV), que afetam a saúde humana e outras formas de vida (BAIRD, 2002). Todavia, o ozônio presente na camada mais baixa da atmosfera, a troposfera, causa danos para os seres humanos, plantações e florestas nativas (BYTNEROWICZ et al., 2008; WHO, 2013).

A fim de promover a melhoria da qualidade ambiental, muitos países implementam planos nacionais e transfronteiriços para diminuir a emissão de poluentes precursores e conseqüentemente reduzir a formação de poluentes secundários, como é o caso do ozônio troposférico. Os Estados Unidos da América (EUA) e o Canadá, por exemplo, no ano 2000 firmaram um acordo, denominado *Air Quality Agreement*¹, com medidas para serem cumpridas por ambos os países a fim de diminuir os

¹ O *Air Quality Agreement* é um acordo entre Estados Unidos da América e Canadá que existe desde 1991 com o objetivo de diminuir as chuvas ácidas. Tendo em vista que os níveis de ozônio eram preocupantes nos dois países, em 2000 foi decidido inserir o controle dos níveis do ozônio no acordo bilateral. (USEPA, 2018).

níveis de ozônio. O acordo compreende diversas medidas, desde o gerenciamento das emissões de poluentes primários até monitoramento do comportamento das massas de ar que atravessam fronteiras e afetam negativamente qualquer um desses dois países (USEPA, 2018). Em diversos países emergentes e principalmente nos desenvolvidos se observa que os maiores contribuintes para a poluição atmosférica são os veículos automotores (MCGRANAHAN; MURRAY, 2003), como é o caso do Brasil. Já os países em desenvolvimento e que apresentam altas taxas de crescimento econômico, tendem a ter maiores quantidades de emissões oriundas de indústrias.

No Brasil, um dos principais programas para a gestão da qualidade do ar é o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), estabelecido por resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 18 de 06 de maio de 1986. É dividido em diversas etapas, e considera desde a alteração da composição dos combustíveis até a utilização de determinados equipamentos e dispositivos com o propósito de diminuir a emissão de poluentes, como, por exemplo, os conversores catalíticos (“catalisadores”) (BRASIL, 2009).

O monitoramento de poluentes atmosféricos é importante para a avaliação do desempenho de programas ambientais assim como para subsidiar estudos epidemiológicos. Para esse fim são utilizados monitores automáticos e instaladas estações de medição automática em locais estratégicos nas áreas de interesse. (LOZANO et al., 2011).

Todavia, como a aquisição, instalação e manutenção de monitores automáticos e de estações de monitoramento requerem altos investimentos, muitos países não monitoram a poluição do ar, ou monitoram de forma limitada restringindo-as a alguns poluentes e poucos locais. No Brasil, apesar de existir a exigência legal da criação de uma rede nacional de monitoramento da qualidade do ar, conforme a Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1989, a medição contínua e com séries temporais consolidadas se restringe a poucos estados (IEMA, 2014; VORMITTAG et al., 2014).

Como alternativa à medição automática, muitos países e instituições de pesquisa utilizam amostradores passivos para complementar dados das estações automáticas, obter dados de áreas remotas e avaliar

a necessidade de instalação de novas estações de monitoramento, ou verificar se há necessidade de mudança do local da estação. (LOZANO et al., 2009; 2011).

O estado de São Paulo tem investido em monitoramento da qualidade do ar, por meio da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que mede sistematicamente o ozônio, automaticamente, desde 1981, inicialmente somente na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e Cubatão e, depois, em outros municípios do litoral e do interior do estado. Após avaliações específicas com estação móvel, em 2008, o estado instalou um monitor automático fixo para ozônio na região urbana de Jundiaí, (CETESB, 2009), município que dista 50 km da capital paulista, mostrando, portanto, que a região já apresentava concentrações relevantes desse poluente.

Com certa frequência têm sido registrados, nesse município, períodos em que as concentrações de ozônio ultrapassam o Padrão de Qualidade do Ar (PQAr) federal atingindo valores elevados, que colocam o município dentre os que mais excedem o padrão nacional de ozônio no estado de São Paulo (CETESB, 2018; QUALAR, 2018). Na tabela 1 é apresentado o PQAr federal para o poluente ozônio. No estado de São Paulo o PQAr adotado é igual ao federal, pois ambos se baseiam nas recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS). Na Figura 1 são apresentadas as ultrapassagens do PQAr federal assim como os valores intermediários (PI) que serão adotados em etapas até alcançar o Padrão Final (PF).

Tabela 1 – Padrão de qualidade do ar federal para ozônio e suas etapas intermediárias, conforme a Resolução CONAMA n°491, de 19/11/2018.

| Período de Amostragem | PI-1* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PF** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 8h*** | 140 | 130 | 120 | 100 |

Fonte: Brasil, 2018.

Notas:

* PI: Padrão de qualidade do ar intermediário.

** PF: Padrão Final

*** Tempo de amostragem de 8h considerando a máxima média móvel.

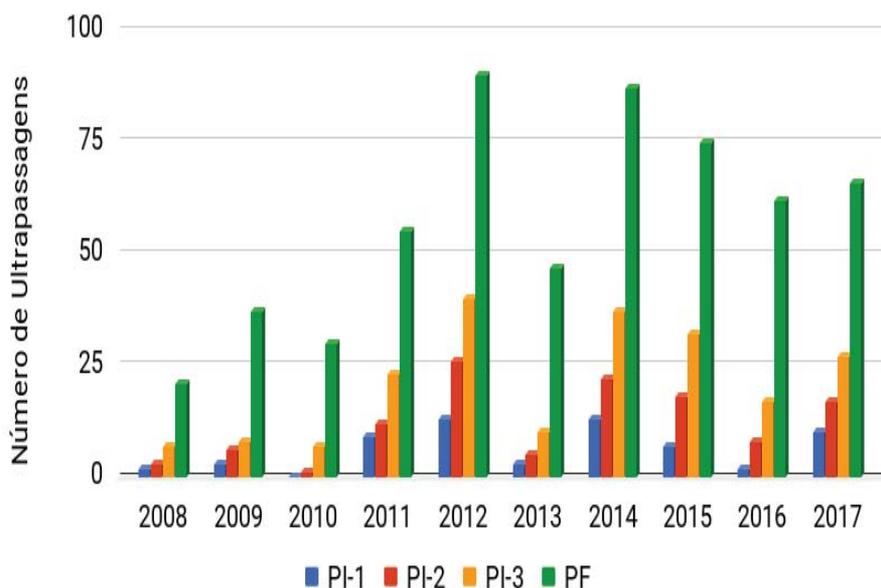


Figura 1 – Número de ultrapassagens dos PQAR federal vigente, para ozônio, e das etapas intermediárias, em Jundiáí, de acordo com a Resolução CONAMA nº 491, de 19/11/2018.

Fonte: CETESB/QUALAR (2018)

Nota:

PI-1: Padrão de qualidade do ar intermediário 1 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018, fixa a concentração máxima móvel de ozônio como $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tempo de amostragem de 8 h).

PI-2: Padrão de qualidade do ar intermediário 2 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018, fixa a concentração máxima móvel de ozônio como $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tempo de amostragem de 8 h).

PI-3: Padrão de qualidade do ar intermediário 3 estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018, fixa a concentração máxima móvel de ozônio como $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tempo de amostragem de 8 h).

PF: Padrão de qualidade do ar final estabelecido pela Resolução CONAMA nº 491 de 19/11/2018, fixa a concentração máxima móvel de ozônio como $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tempo de amostragem de 8 h).

O município de Jundiaí apresenta uma frota significativa de veículos, cuja evolução, de 2010 a 2017² está apresentada na Figura 2.

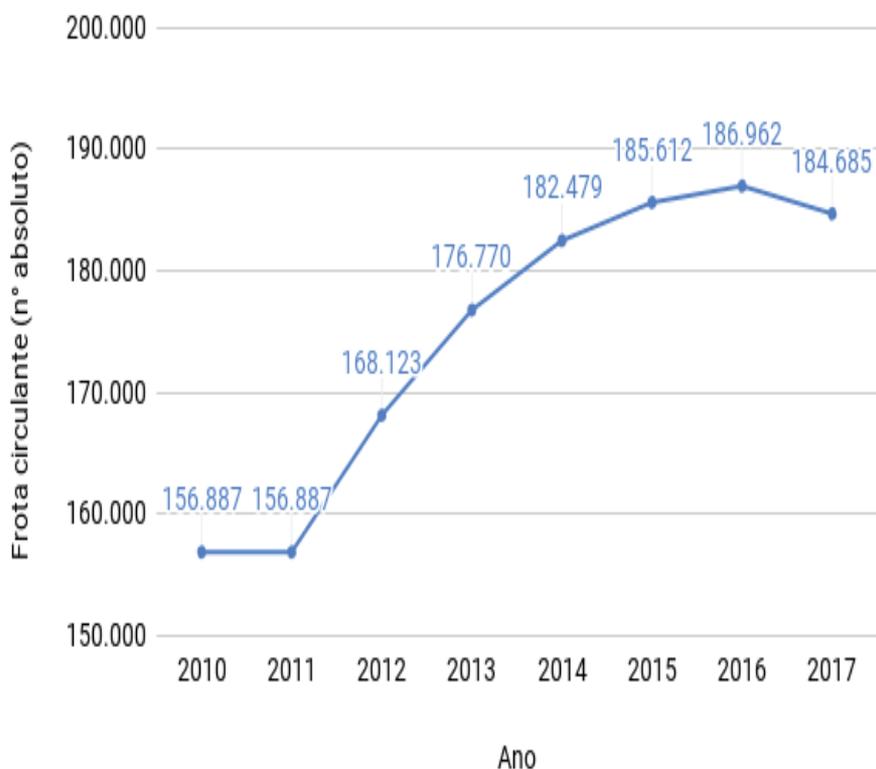


Figura 2 - Frota circulante de veículos automotores no município de Jundiaí de 2010 a 2017

Fonte: CETESB (2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Ainda que a frota de veículos seja significativa, a CETESB levanta a hipótese de que, provavelmente, as ultrapassagens dos PQAr

² Foram omitidos os dados da frota dos anos de 2008 e 2009 por considerar dados do DENATRAN e, portanto, superestimar a quantidade de veículos que circulam no município, de acordo com a CETESB (2011).

estejam relacionadas também com o transporte de massas de ar da Região Metropolitana de Campinas - RMC e, principalmente, da RMSP (CETESB, 2018).

As frequentes ultrapassagens do padrão de qualidade do ar (PQAr) observadas em Jundiaí, relatadas pela CETESB; a necessidade da avaliação da distribuição sazonal e geográfica do ozônio na região; as possíveis influências de emissões exógenas para os níveis de ozônio no município de Jundiaí; e a intenção de contribuir para estudos de exposição da população a esse poluente, foram as motivações para este trabalho (PACHECO JÚNIOR, 2018).

Para possibilitar uma abrangência maior e menores custos, o estudo utilizou amostradores passivos.

AMOSTRAGEM PASSIVA

A amostragem passiva é uma técnica amplamente utilizada em diversos países, inclusive os desenvolvidos. Os coletores passivos utilizam filtros que são impregnados com reagentes, que variam de acordo com o poluente a ser monitorado. Para medição passiva de ozônio os amostradores podem utilizar diversos reagentes, dentre os quais estão: azobenzeno, índigo carmim, iodeto de potássio e íon de nitrito (LEE; TSAI, 2008). O de íon de nitrito mostrou ser um dos mais confiáveis e, por esta razão, um dos mais utilizados (ZHOU; SMITH, 1997; HELALEH et al., 2002; LOZANO et al., 2009).

Pesquisas que avaliam a concentração de poluentes com amostradores passivos têm sido conduzidas em algumas cidades do Brasil. Campos et al. (2006) prepararam os próprios filtros e conduziram campanhas de monitoramento de SO₂, NO₂ e O₃ em área urbana de Salvador e no complexo petroquímico de Camaçari. Francisco (2012) preparou filtros com íon de nitrito e avaliou o efeito da atividade canavieira nas concentrações de ozônio de Araraquara. Silva (2013) conduziu diversas campanhas de amostragem em Cubatão, empregando também filtros impregnados com íon de nitrito.

Na Turquia já foram conduzidos diversos estudos avaliando a distribuição geográfica do ozônio com amostradores passivos em diferentes locais (ÖZDEN et al., 2008; KARACA; ÖZTÜRK, 2012; ALTUĞ et al., 2013; BOZKURT et al., 2015; TECER; TAGIL, 2014). Nos EUA há

diversos parques nacionais que monitoram ozônio com amostragem passiva (NATIONAL PARK SERVICE, 2018). Na União Europeia a Diretiva 2008/50/EC exige que sejam feitas avaliações com amostradores passivos a fim de manter, mudar ou instalar uma outra estação de monitoramento.

O princípio de amostragem passiva é baseado na difusão das moléculas pelo ar, processo descrito pela Primeira Lei de Fick, equação 1.0.

$$F_i = - D_{ij} \frac{dC_i}{dz} \quad (1.0)$$

Onde:

F_i = fluxo do gás i ($\text{mol cm}^{-2}/\text{s}^{-1}$);

D_{ij} = coeficiente de difusão do gás i no gás j ($\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$);

C_i = concentração do gás i no gás j (mol cm^{-3});

z = comprimento do percurso de difusão (cm).

A taxa de coleta teórica do ozônio troposférico é $21,8 \text{ ml}/\text{min}^{-1}$ (OGAWA, 2001). Todavia, as condições ambientais em campo variam (p. ex., direção e velocidade do vento) sendo possível determinar a taxa de coleta experimental tendo como referência um monitor automático, conforme a equação 2.0.

$$S_E = \frac{MV (MW_{O_3}/MW_{NO_3^-})}{C_{TRUE} t} \quad (2.0)$$

Onde:

S_E : taxa experimental de coleta do ozônio ($\text{cm}^3/\text{min}^{-1}$);

M : concentração de NO_3^- ($\mu\text{g}/\text{ml}^{-1}$);

V : volume de extração (5 ml);

MW_i : peso molecular da substância ($\mu\text{g}/\mu\text{mol}^{-1}$);

C_{TRUE} : concentração de ozônio pelo monitor automático ($\mu\text{g}/\text{cm}^{-3}$);

t : tempo de exposição (min).

AMOSTRAGEM PASSIVA DE O₃ COM ÍON DE NITRITO

Método: a técnica que utiliza íon de nitrito para amostrar ozônio foi inicialmente aplicada e validada por Koutrakis et al. (1993) em testes laboratoriais e de campo. Coletores passivos com esses filtros são amplamente conhecidos e comercializados por uma marca japonesa. No presente estudo os filtros foram preparados localmente seguindo estudos que validaram o método (KOUTRAKIS et al., 1993; CAMPOS et al., 2006) e obedecendo ao protocolo de campo e de quantificação do ozônio coletado (OGAWA, 2001). Um desenho ilustrativo do coletor utilizado é apresentado na Figura 3.

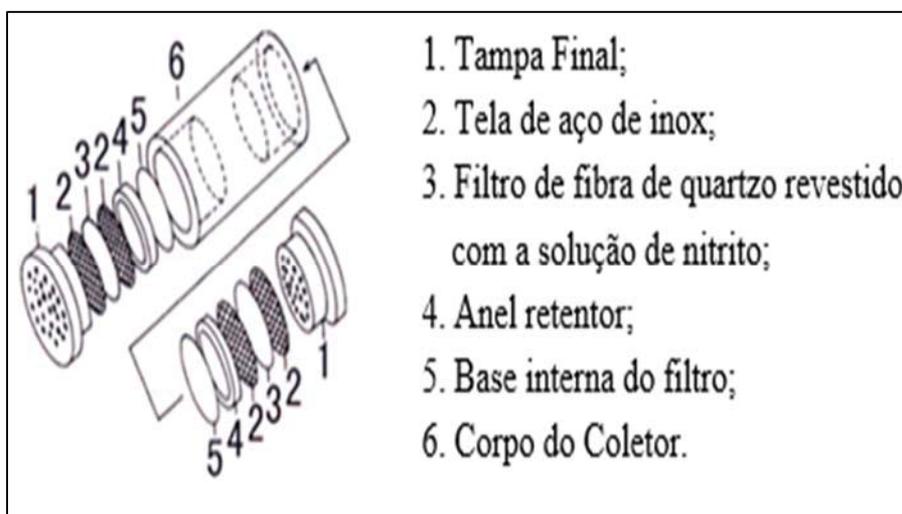


Figura 3 - Desenho ilustrativo do coletor passivo

Fonte: adaptado de Ogawa (2014).

O protocolo recomenda utilizar filtros de microfibras de quartzo com 14 mm de diâmetro. Os filtros devem ser impregnados por meio da adição de 200 µl de solução absorvente, secos à temperatura ambiente em dessecador por 48 horas e armazenados em frasco âmbar em geladeira antes da exposição. A solução de impregnação é formada de nitrito de sódio ($1,50 \times 10^{-1}$ M), carbonato de sódio ($2,00 \times 10^{-1}$ M) e glicerol (1M), dissolvidos em água ultrapura (CAMPOS et al., 2006).

A solução impregnadora de cada filtro ao entrar em contato com ozônio é oxidada a nitrato (equação 3.0).



Após cada período de exposição, os pares de filtro dos coletores devem ser transferidos para um frasco contendo 5 ml de água ultrapura, tipo Milli-Q, e submetido à agitação mecânica por 15 minutos. O extrato deve ser filtrado em membrana de 0,22 μm (Millipore®). Os íons nitrato são então analisados em cromatógrafo iônico (*Metrohm Compact IC 761*) equipado com coluna analítica Metrosep ASUPP5 (150 x 4 mm), eluente Na_2CO_3 ($3,2 \times 10^{-3}$ M)/ NaHCO_3 ($1,0 \times 10^{-3}$ mol L⁻¹) e fluxo de 0,7 mL min⁻¹. A detecção é obtida por detector de condutividade elétrica. A curva analítica deve ser preparada com concentrações que variaram entre 0,32 a 8,0 $\mu\text{g ml}^{-1}$. O limite de quantificação do método nestas condições é de 0,08 ppm.

ÁREA DE ESTUDO

Com aproximadamente 415 mil habitantes (IBGE, 2018), o município de Jundiaí possui uma área total de 431,97 km², e área urbana de 112 km² (PREFEITURA DE JUNDIAÍ, 2004). Sua economia é pujante e movida, sobretudo, pela atividade industrial, setor logístico e fruticultura. Sua localização geográfica está mostrada na Figura 4.

Para escolha dos locais de amostragem (Figura 5), os seguintes critérios foram adotados:

1. Áreas urbanas:
Relevantes em termos de exposição à poluição pela população;
Razoável segurança para alocação dos monitores passivos;
2. Área de Preservação Permanente (APP):
Sem influência direta de poluição atmosférica (de fontes fixas, móveis e incêndios florestais);
Razoável segurança para alocação dos monitores passivos.

3. Além disso, ao considerar que o município de Jundiaí é cortado por duas rodovias importantes e de intenso tráfego (Rodovia dos Bandeirantes e Via Anhanguera), achou-se importante alocar um coletor no Vetor Oeste, haja visto o tamanho da população ali residente e a importância da área para o município.

A área total coberta pela amostragem passiva cobriu, cerca de, 54,5 km² do município de Jundiaí.

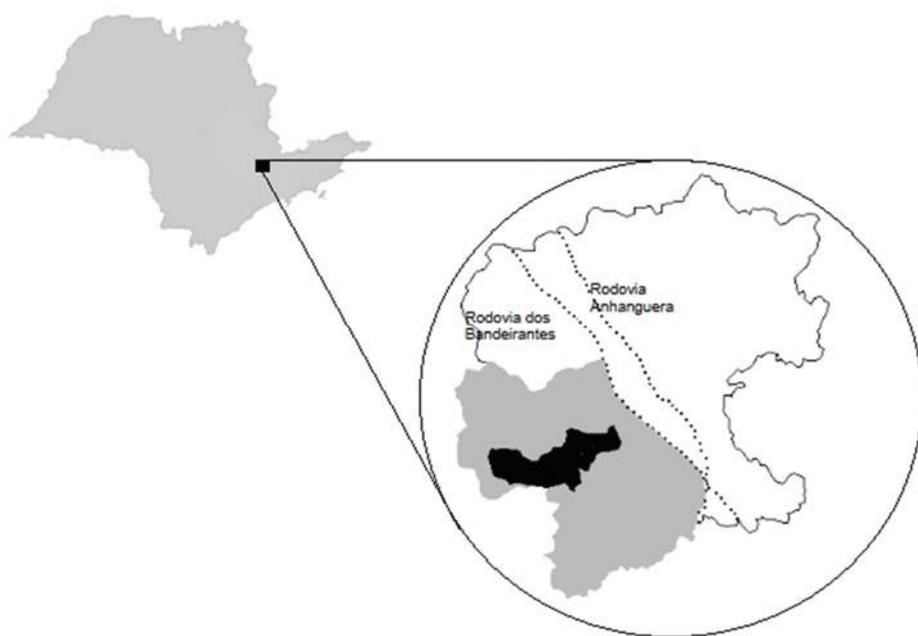


Figura 4 - Área de estudo no município de Jundiaí

Fonte: adaptado de Cardoso-Leite et al. (2005).

Para avaliar a variação sazonal do poluente, foram conduzidas amostragens de campo durante um ano, com coletas de uma semana de duração, ou seja, cada filtro ficou exposto por uma semana. As coletas ocorreram entre o dia 23 de setembro de 2016 e 22 de setembro de 2017,

com intervalo de uma semana entre cada campanha de coleta, totalizando 26 semanas de coletas.

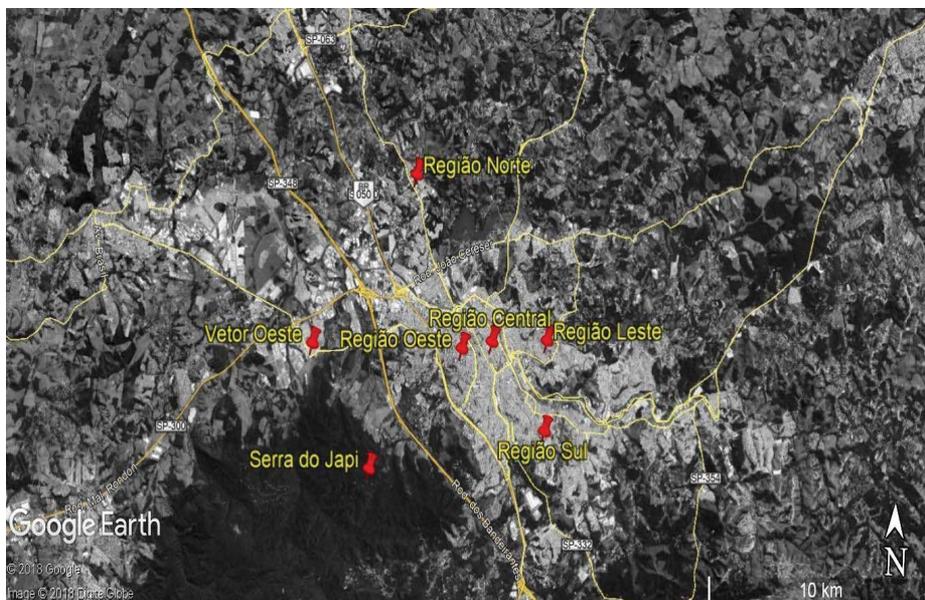


Figura 5 – Localização espacial dos coletores passivos utilizados no estudo (em Jundiaí).

Fonte: Adaptado de Google Earth Pro (2018).

 Locais em que foram colocados os coletores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações semanais de ozônio obtidas pela amostragem passiva são apresentadas no gráfico da Figura 6 e o perfil da distribuição das concentrações do poluente, por local de amostragem, é apresentado na Figura 7. Os dados da Figura 6 mostram, de forma geral, que as concentrações apresentaram aproximadamente o mesmo perfil, com concentrações mais altas no Vetor Oeste. Os dados da Figura 7 corroboram a afirmativa de que o Vetor Oeste tem concentração de ozônio diferenciada dos demais. Para melhor conclusão, estatística de comparação de médias foi feita e será apresentada.

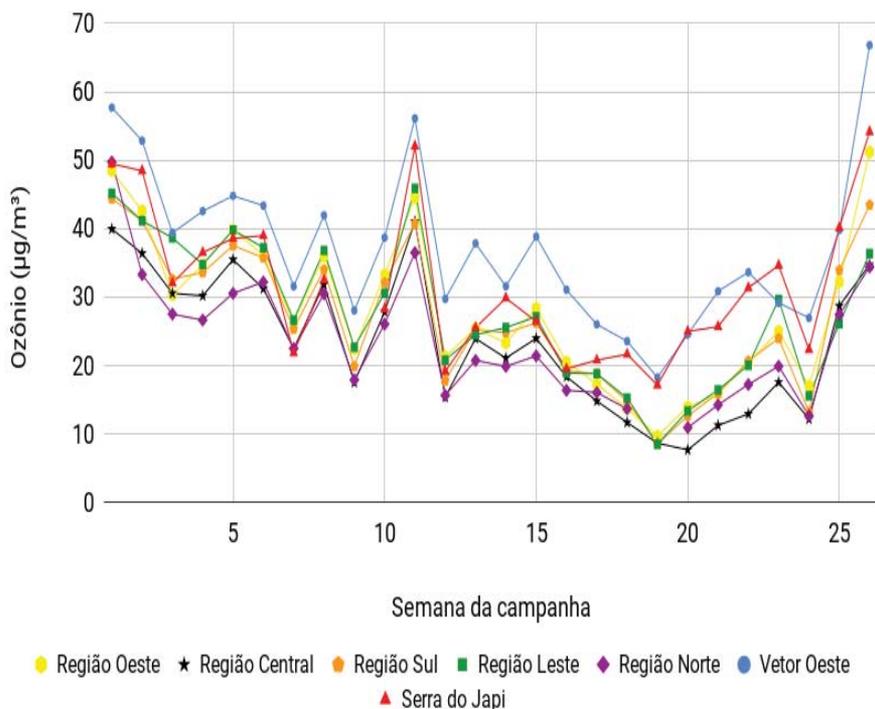


Figura 6 – Concentração semanal de ozônio durante as campanhas realizadas entre 23 de setembro de 2016 e 22 de setembro de 2017
Fonte: Pacheco Júnior (2018).

A análise da diferença entre os locais de amostragem foi realizada com a utilização da Análise de Variância com um fator (*One-way ANOVA*). A verificação da distribuição normal dos dados foi feita por meio do teste de *Shapiro-Wilk* em que se aceitou a hipótese nula (H_0 $p > 0,05$) com o valor p variando entre 0,06 e 0,56. Assim, afirmar-se com nível de significância de 5% que a amostra provém de uma população normal. Em seguida, foi submetido à análise do Teste de *Tukey* para verificar em qual local existiu diferença nas concentrações de O_3 ($p < 0,05$).

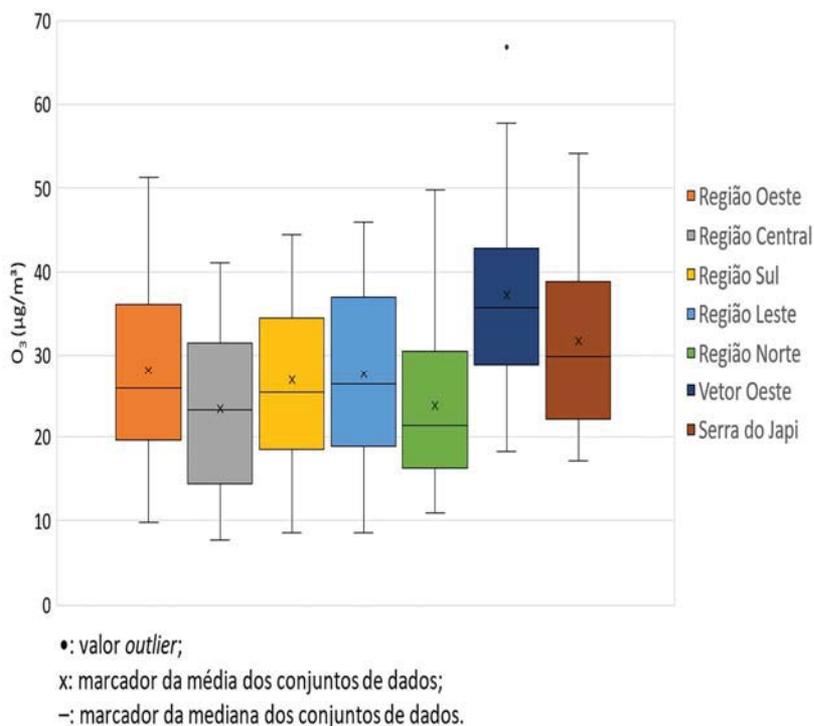


Figura 7 - Perfil da distribuição das concentrações de ozônio ao longo das campanhas realizadas entre 23 de setembro de 2016 e 22 de setembro de 2017, por região do município

Fonte: Pacheco Júnior (2018).

Por meio do p-valor obtido no teste de *Tukey* foi possível verificar que há diferença entre as concentrações de ozônio no conjunto de amostras realizadas no Vetor Oeste quando comparadas com o conjunto dos resultados obtidos na estação de monitoramento das regiões: Norte, Sul, Leste, Oeste e Central (<0,05). O grau de diferenciação entre os locais foi feito pelo teste de *Dunnnett* tendo como objeto de análise o Vetor Oeste com os demais locais. Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados da comparação estatística entre as concentrações de ozônio

| Ponto de coleta | Coefficiente de diferença | p-valor | IC 95% |
|-----------------|---------------------------|---------|--------------|
| Região Norte | -13,38 | <0,001 | -19,2 a -7,5 |
| Região Sul | -10,34 | 0,001 | -16,5 a -4,6 |
| Região Leste | -9,59 | 0,001 | -15,4 a -3,8 |
| Região Oeste | -9,05 | 0,002 | -14,8 a -3,3 |
| Região Central | -13,77 | <0,001 | -19,5 a -8,0 |
| Vetor Oeste | Referência | | |
| Serra do Japi | -5,46 | 0,066 | -11,3 a 0,4 |

Fonte: Pacheco Júnior (2018).

Ao nível de significância de 5% não se rejeita a hipótese de igualdade entre as médias dos locais 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Tais constatações reforçam o observado nas médias das concentrações semanais, além de rejeitar a hipótese de igualdade da média do Vetor Oeste quando comparada com os demais locais. Exceção foi a Serra do Japi, quando comparada com o Vetor Oeste que, apesar de ter apresentado concentrações de ozônio mais baixas no contexto geral, em alguns poucos períodos apresentou concentrações mais elevadas (IC95% -11,3 a 0,4).

Observou-se que as concentrações de ozônio em muitos locais foram bem próximas em todas as campanhas, principalmente nas regiões: Oeste Central, Sul, Leste e Norte. Apesar disso, algumas características podem ser ressaltadas de alguns locais como, por exemplo, a Região Norte que, em muitos momentos, apresentou as menores concentrações de ozônio durante as semanas. Um comportamento semelhante foi constatado na Região Central. Diferentemente de outras localidades, no Vetor Oeste as concentrações registradas foram superiores.

Em relação a esses cinco locais que não apresentaram diferenças estatísticas, todos são influenciados diretamente por vias com um fluxo intenso de veículos automotores que conseqüentemente resulta em uma taxa de depleção das moléculas de ozônio pelos óxidos de nitrogênio emitidos pelas fontes móveis (USEPA, 2006).

Ainda que a Serra do Japi possa ser inserida dentro do conjunto dos outros cinco locais devido a não ter apresentado diferenças estatísticas significativas, por conta das suas particularidades geográficas e meteorológicas é importante que seja feita uma análise distinta. Nesse sentido, apesar da distância de fontes locais e das temperaturas em geral serem em média 3,5°C mais baixas que na cidade (LEITE, 2000), as concentrações de ozônio foram superiores que os demais locais de amostragem em alguns períodos do ano, principalmente no inverno (semanas 18 a 26).

As observações na Serra do Japi podem sugerir que exista transporte de ozônio e de precursores da área urbana de Jundiaí assim como de outras localidades. Considerando que regiões com ampla cobertura vegetal emitem compostos orgânicos voláteis biogênicos - COVBs, a região da Serra do Japi pode ter presença significativa desses precursores biogênicos que, reagindo com óxidos de nitrogênio, formam o ozônio.

Conforme salienta Sillman (2003), é comum o transporte de poluentes de regiões metropolitanas influenciarem episódios críticos de poluição por ozônio em áreas rurais a uma distância de 100 km. A emissão de COVs pela vegetação na região pode ser também um fator significativo para compreender a concentração do poluente na região. Bonn et al. (2017), comparando as concentrações de O₃ de duas regiões montanhosas (Vosges na França e Floresta Negra na Alemanha), observaram que ambas são afetadas pela emissão de COVBs da vegetação local, porém a região de Vosges é influenciada pela emissão de NO_x de veículos automotores da região circunvizinha. Chevalier et al. (2007) verificando a variação das concentrações de fundo em diversas estações de monitoramento de O₃ na Europa, observaram que a altitude de 1200 m é um limiar abaixo do qual a influência das atividades da superfície são determinantes para a poluição por O₃, enquanto locais acima dessa altitude expressam valores com uma influência bem menor das atividades antrópicas.

Além disso, outro fator que pode ser importante na avaliação das concentrações de ozônio é a altitude, pois locais mais elevados apresentam maiores concentrações do poluente (USEPA, 2006). Aneja et al. (1994) avaliaram o Monte Mitchell na Carolina do Norte em duas diferentes altitudes, 2008 m e 1760 m e constataram que, conforme mais elevado o local, maiores as concentrações de O₃.

No Vetor Oeste em Jundiáí, verificou-se a maior distinção das concentrações de O₃ quando comparadas com os demais locais. Em quase todas as campanhas as concentrações foram superiores, sendo que nas semanas em que a Serra do Japi apresentou maiores concentrações (20, 23 e 25) as concentrações foram quase similares, com exceção da semana 25 em que a diferença foi mais significativa (5,48 µg/m³ ou 15,78%).

O entorno do local de monitoramento do Vetor Oeste apresenta pouca circulação de veículos. Todavia, o local está a uma distância de 1 km da Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto, uma das principais rodovias que cruzam Jundiáí. A circulação de veículos leves e pesados ao longo do dia nesta rodovia é grande, o que confere emissões significativas de poluentes precursores de ozônio.

Além disso, nas proximidades do Vetor Oeste existe o Distrito Industrial de Jundiáí que possui indústrias que são responsáveis por lançar NO_x e hidrocarbonetos (HC), ambos precursores de O₃. No Distrito Industrial apenas duas indústrias são inventariadas pela CETESB, contribuindo para a emissão anual de 170 t de NO_x e, aproximadamente, 10 t de HC (CETESB, 2018). As emissões das fontes fixas juntamente com as das fontes móveis podem contribuir para as concentrações em seus arredores incluindo o Vetor Oeste.

No Vetor Oeste também está localizado o aeródromo do município de Jundiáí. A circulação é de aviões monomotores, utilizados para aulas práticas das duas escolas de aviação presentes no município e de aeronaves particulares. As aeronaves estão a aproximadamente 2 km do local em que foram realizadas as amostragens, e devem ser consideradas como fontes potenciais de afetar a qualidade do ar da região.

Pouco consideradas nas avaliações de qualidade do ar, as aeronaves emitem NO_x, COVs e CO, principalmente durante a fase de decolagem e pouso (IEMA, 2014). De acordo com o Lee et al. (2010), algumas estimativas da emissão de NO₂ indicam que ela representa mais de 80%

da emissão total de NO_x no nível do solo, enquanto outras apontam um valor entre 26-60% nas condições de decolagem e pouso. Os COVs emitidos pelas aeronaves são: alcanos, alcenos, aldeídos, formaldeídos, metanol, etileno, ácido acético, benzeno, tolueno, fenol, estireno, naftaleno e metilnaftalenos.

Em relação às concentrações de O_3 conforme as estações do ano, observou-se, em geral, uma tendência bem definida. Ou seja, nos períodos em que foram observadas temperaturas mais elevadas e umidade relativa do ar baixa, foram constatadas maiores concentrações de O_3 , como foi o caso das semanas 1, 11 e 26, principalmente.

Nos resultados das variações sazonais é reforçada a observação que a agência ambiental (CETESB, 2017) vem fazendo ao longo dos anos no estado de São Paulo, em que as maiores concentrações e ultrapassagens de O_3 começam no período de transição entre o inverno e a primavera até o fim do verão. Além disso, pesquisadores, analisando séries temporais das concentrações de O_3 em cidades do interior paulista, também verificaram o mesmo comportamento ao longo dos meses do ano (BOIAN; ANDRADE, 2012; MOURA et al., 2014).

No período da campanha 11 (18 a 25 de fevereiro), não deveriam ter sido observadas concentrações elevadas de O_3 por ser a época em que as chuvas são mais frequentes. Entretanto, nesse período foram registradas temperaturas mais elevadas e níveis baixos de umidade relativa do ar, o que pode ter favorecido a formação de O_3 .

Nas estações secas, as concentrações de O_3 apresentaram os menores valores considerando todas as campanhas. Além disso, foi o período em que a disparidade entre a concentração de O_3 no Vetor Oeste, comparada com os demais locais, foi maior em algumas semanas em que a diferença foi três vezes maior do que outros locais, como na campanha 20.

Nos demais locais onde foram realizadas as campanhas de monitoramento, as concentrações foram bem similares ao longo do período, sendo que as regiões Central e Norte, foram as que apresentaram as menores concentrações de O_3 . Por estarem situados bem próximos às fontes móveis, ambos os locais são favoráveis a apresentarem as menores concentrações de O_3 por conta da emissão de NO_x pelos veículos, que consome ozônio.

CONCLUSÃO

Neste estudo, Jundiaí apresentou uma variação sazonal bem definida nas concentrações de ozônio. A poluição por ozônio observada foi maior durante as estações mais quentes e principalmente no início da primavera, reforçando o que tem sido observado pela agência ambiental do estado de São Paulo ao longo dos anos.

As concentrações do ozônio entre os locais amostrados não variaram significativamente apesar das particularidades de uso e ocupação do solo. Ainda assim, foi possível observar que nos locais mais próximos de vias de tráfico que apresentam maior movimento de veículos automotores, as concentrações de ozônio foram menores em grande parte do período (Centro e Região Norte, por exemplo). Todavia, no Vetor Oeste a diferença foi significativa, provavelmente pelas fontes móveis e fixas existentes ou por outros fatores que não foram possíveis de serem avaliados neste estudo. Em relação à Serra do Japi, o regime da poluição por ozônio na área provavelmente é diferente do ambiente urbano por conta das emissões biogênicas de COVs e pela possível influência do transporte de poluentes precursores exógenos, de cidades próximas, ou mesmo aqueles gerados em Jundiaí.

As condições meteorológicas afetam a química do ozônio. Em Jundiaí, observou-se relação com a umidade relativa do ar e a temperatura, principalmente em períodos em que as concentrações do poluente excederam o Padrão de Qualidade do Ar.

Em relação à representatividade do local onde atualmente está instalada a estação de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, verificou-se que, estatisticamente, ele representa quase a totalidade da área urbana do município de Jundiaí, uma vez que, no Vetor Oeste, as concentrações de ozônio observadas foram diferentes em muitos períodos do estudo.

REFERÊNCIAS

ALTUĞ, H.; GAGA, E. O.; DÖĞEROĞLU, T.; ÖZDEN, Ö; ÖRNEKTEKIN, S.; BRUNEKREEF, B.; MELIEFSTE, K.; HOEK, G.; DOORN, W. V.

Effects of air pollution on lung function and symptoms of asthma, rhinitis and eczema in primary school children. *Environ Sci Pollut Res*, v. 20, p. 6455–6467, 2013.

ANEJA, V.P.; CLAIBORN, C. S.; LI, Z.; MURTHY, A. Trends, seasonal variations, and analysis of high-elevation surface nitric acid, ozone, and hydrogen peroxide. *Atmospheric Environment*, v. 28, n. 10, p. 1781-1790, 1994.

BAIRD, C. *Química Ambiental*. Trad.: Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BOIAN, C.; ANDRADE, M. F. Characterization of ozone transport among metropolitan regions. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 2, p. 229-242, 2012.

BOZKURT, Z.; DOĞAN, G.; ARSLANBAŞ, D.; PEKEY, B.; PEKEY, H.; DUMANOĞLU, Y.; BAYRAM, A.; TUNCEL, G. Determination of the personal, indoor and outdoor exposure levels of inorganic gaseous pollutants in different microenvironments in an industrial city. *Environ Monit Assess*, 187, 590, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). *PROCONVE*: Programa de controle de poluição do ar por veículos automotores. 2009. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/proconve_163.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2018.

BRASIL. *Resolução CONAMA nº 491/2018, de 19 de novembro de 2018*. Dispõe sobre os padrões de qualidade do ar - Revoga a Resolução Conama nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da Resolução Conama nº 05/1989. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740>>. Acesso em: 20 de fev. 2019.

BONN, B.; KREUZWIESER, J.; SANDER, F.; YOUSEFPOUR, R.; BAGGIO, T.; ADEWALE, O. The Uncertain Role of Biogenic VOC for Boundary-Layer Ozone Concentration: Example Investigation of Emissions from Two Forest Types with a Box Model. *Climate*, 5, 78, p. 1-21, 2017.

BYTNEROWICZ, A.; ARBAUGH, M.; SCHILLING, S.; FRACZEK, W.; ALEXANDER, D. Ozone distribution and phytotoxic potential in

mixed conifer forests of the San Bernardino Mountains, southern California. *Environmental Pollution*, v. 155, p. 398-408, 2008.

CAMPOS, V.; CRUZ, L.; ALVES, E.; DE, T.; SANTOS, S.; SILVA, A.; DOS SANTOS, A.; LIMA, A.; PAIXÃO, C.; SANTOS, D.; BRANDÃO, D.; ANDRADE, E.; MOREIRA, J.; CONCEIÇÃO, K.; DE, M.; RAMOS, S.; PONTES, M.; DO AMARAL, M.; MATTOS, R.. Monitoramento atmosférico passivo de SO₂, NO₂ e O₃ em áreas urbanas e de influência industrial como prática de química ambiental para alunos de graduação. *Quim. Nova*, v. 29, n. 4, 2006, p. 872-875.

CARDOSO-LEITE, E.; PAGANI, M. I.; MONTEIRO, R.; HAMBURGER, D. S. Ecologia da paisagem: mapeamento da vegetação da Reserva Biológica da Serra do Japi, Jundiaí, SP, Brasil. *Acta bot. bras.*, v. 19, n. 2, p. 233-243, 2005.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2008* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2009. 354p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2009* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2010. 292p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2010* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2011. 237p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2011* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2012. 124p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2012* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2013. 125p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2013* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2014. 113p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2014* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2015. 136p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2015* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2016. 167p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2016* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2017. 202p.

_____. *Qualidade no Ar no estado de São Paulo 2017* [recurso eletrônico]. São Paulo: CETESB, 2018. 201p.

CHEVALIER, A.; GHEUSI, F.; DELMAS, R.; ORDÓÑEZ, C.; SARRAT, C.; ZBINDEN, R.; THOURET, V.; ATHIER, G.; COUSIN, J. M. Influence of altitude on ozone levels and variability in the lower troposphere: a ground-based study for western Europe over the period 2001–2004. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 7, p. 4311–4326, 2007.

FRANCISCO, A. P. Contribuições da atividade canavieira para as concentrações de ozônio troposférico em Araraquara, SP. 2012. 209 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GOOGLE EARTH PRO. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>. Acesso em: 22 jan. 2018.

HELALEH, M. I. H.; NGUDI WALUYO, S.; KORENAGA, T.; TANAKA, K. Development of passive sampler technique for ozone monitoring. Estimation of indoor and outdoor ozone concentration. *Talanta*, v. 58, p. 649–659, 2002.

HÚNOVÁ, I. Measurements of ground-level ozone in Czech mountain forests: what we have learnt from using diffusive samplers. *European Journal of Environmental Sciences*, v. 7, n. 2, p. 125–129, 2017.

IEMA - INSTITUTO ENERGIA E MEIO AMBIENTE. *1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil*. São Paulo: IEMA, 2014. 227 fl.

KARACA, F.; ÖZTÜRK, Z. Ground level ozone exposure and distribution over the historical Peninsula of Istanbul. *Journal of Cultural Heritage*, v. 13, p. 69–76, 2012.

KOUTRAKIS, P.; WOLFSON, J. M. BUNYAVIROCH, A.; FROELICH, S. E.; HIRANO, K.; MULIK, J. D. Measurement of ambient ozone using a nitrite-coated filter. *Anal. Chem.*, v. 65, p. 209–214, 1993.

LEE, D. S.; PITARI, G.; GREWE, V.; GIERENS, K.; PENNER, J. E.; PETZOLD, A.; PRATHER, M. J.; SCHUMANN, U.; BAIS, A.; BERNTSEN, T.; IACHETTI, D.; LIM, L. L.; SAUSEN, R. Transport impacts on atmosphere and climate: Aviation. *Atmospheric Environment*, v. 44, p. 4678–4734, 2010.

LEE, I.; TSAI, S. Passive sampling of ambient ozone by solid phase microextraction with on-fiber derivatization. *Analytica chimica acta*, v. 610, p. 149–155, 2008.

LEITE, E. C. *A vegetação de uma Reserva Biológica Municipal: contribuição ao manejo e à conservação da Serra do Japi, Jundiá, SP*. 189p. Tese de Doutorado - Instituto de Biologia, Universidade de Campinas, Campinas, 2000.

LOZANO, A; USERO, J.; VANDERLINDEN, E.; RAEZ, J.; CONTRE-RAS, J.; NAVARRETE, B.; EL BAKOURI, H. Design of air quality monitoring networks and its application to NO₂ and O₃ in Cordova, Spain. *Microchemical Journal*, v. 93, p. 211–219, 2009.

LOZANO, A; USERO, J.; VANDERLINDEN, E.; RAEZ, J.; CONTRE-RAS, J.; NAVARRETE, B.; EL BAKOURI, H. Air Quality Monitoring Network Design to Control Nitrogen Dioxide and Ozone, Applied in Granada, Spain. *Science & Engineering*, 33, p. 80–89, 2011.

MCGRANAHAN, G.; MURRAY, F. *Air pollution and health in rapidly developing countries*. Editado por: Gordon McGranahan e Frank Murray. London: Earthscan Publications, 2003.

MOURA, B. B.; ALVES, E. S.; SOUZA, S. R.; DOMINGOS, M.; VOLLENWEIDER, P. Ozone phytotoxic potential with regard to fragments of the Atlantic Semi-deciduous Forest downwind of Sao Paulo, Brazil. *Environmental Pollution*, v. 192, p. 65-73, 2014.

NATIONAL PARK SERVICE. *Air Quality*. Disponível em: <<https://www.nps.gov/im/ncpn/air-quality.htm>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

OGAWA. *Assembly of Ogawa Sampler*. 2014. Disponível em: <<http://ogawausa.com/wp-content/uploads/2014/04/assembly.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

OGAWA. *Protocol for ozone measurement using the ozone passive sampler badge*. 2001. Disponível em: <<http://ogawausa.com/wp-content/uploads/2014/04/proozone.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ÖZDEN, Ö.; DÖĞEROĞLU, T.; KARA, S. Assessment of ambient air quality in Eskişehir, Turkey. *Environment International*, v. 34, p. 678–687, 2008.

PACHECO JÚNIOR, E. *Distribuição espacial do ozônio troposférico em Jundiaí - SP, como subsídio a estudos de exposição da população*. 139p. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

PREFEITURA DE JUNDIAÍ. *Conheça seu bairro - Jundiaí*. 2004. 2p. Disponível em: <https://jundiai.sp.gov.br/planejamento-e-meio-ambiente/wp-content/uploads/sites/15/2014/08/Conhe%c3%a7a-seu-bairro-Jundia%c3%ad.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2019.

QUALAR – SISTEMA DE INFORMAÇÃO DA QUALIDADE DO AR. Disponível em: <http://qualar.cetesb.sp.gov.br/qualar/>. Acesso em: 27 dez. 2018.

SILLMAN, S. Tropospheric Ozone and Photochemical Smog. *Treatise on Geochemistry*, v. 9, p. 407-431, 2003.

SILVA, M. F. *Reatividade fotoquímica da atmosfera de Cubatão e a influência de fontes exógenas*. 256 p. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

TECER, L. H.; TAGIL, S. Impact of Urbanization on Local Air Quality: Differences in Urban and Rural Areas of Balikesir, Turkey. *Clean – Soil, Air, Water*, v. 42, n. 11, p. 1489-1499, 2014.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants - Volume I of III*. Research Triangle Park, NC: U.S. EPA, 2006, 821p.

_____. *Canadá-United States - Air Quality Agreement*. 2018. 32fl. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-02/documents/5129_canada-united_states_air_quality_agreement_progress_report_2016_en05.pdf. Acesso em: 30 jan. 2019.

VORMITAG, E. M. P. A. DE A.; COSTA, R. R. DA; BRAGA, A. A.; MIRANDA, M.; NASCIMENTO, N. C. DO; SALDIVA, P. H. N. *Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil*. São Paulo: Instituto Saúde e Sustentabilidade, 2014. 100fl.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. 2013. 309fl. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>. Acesso em: 29 jan. 2019.

ZHOU, J.; SMITH, S. Measurement of Ozone Concentrations in Ambient Air Using a Badge-Type Passive Monitor. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 47, n. 6, p. 697-703, 1997.

10 Logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: panorama europeu, japonês e paulista

Raissa Silva de Carvalho Pereira

Flávio de Miranda Ribeiro

Wanda Maria Risso Günther

INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) originam-se de uma vasta gama de produtos, diferenciando-se por características como volume, composição, tempo de vida útil, valor econômico e potencial de impacto sobre o ambiente e a saúde, se gerenciados de forma inadequada. Essas diferenças se refletem nas particularidades de gerenciamento pós-consumo de cada grupo, isto é, nos processos de coleta, logística e reciclagem, assim como nas atitudes dos consumidores no momento do descarte (OLIVEIRA, 2016; BALDÉ et al., 2017).

Atualmente tem sido cada vez mais utilizada internacionalmente a classificação dos REEE em seis categorias (Quadro 1), incluindo as lâmpadas, pois tais categorias coincidem com os grupos de REEE segregados durante a coleta e mantidos durante seu gerenciamento. Desde agosto de 2018, essa é a classificação oficial adotada na Comunidade Europeia, suplantando a anterior, que indicava 10 categorias (EC, 2012).

Quadro 1 - Classificação dos REEE na Comunidade Europeia

| Categorias de REEE | Exemplos de REEE |
|--|---|
| Equipamentos de regulação da temperatura | Congeladores; equipamentos de ar condicionado; equipamentos desumidificadores; bombas de calor. |
| Telas, monitores e equipamentos com tela plana superior a 100 cm ² | Telas; aparelhos de televisão; monitores, computadores portáteis. |
| Lâmpadas | Lâmpadas fluorescentes, tradicionais e compactas; lâmpadas de descarga de alta intensidade; lâmpadas de sódio de baixa pressão; LED. |
| Equipamentos de grandes dimensões (com qualquer dimensão externa superior a 50 cm) | Máquinas de lavar roupa; secadoras de roupa; máquinas de lavar louça; fogões; fornos elétricos; equipamentos informáticos e de telecomunicações; aparelhos de iluminação; equipamentos para reproduzir sons ou imagens, equipamentos musicais; ferramentas elétricas e eletrônicas; brinquedos e equipamentos de desporto e lazer; dispositivos médicos; instrumentos de monitorização e controle; distribuidores automáticos; painéis fotovoltaicos. |
| Equipamentos de pequenas dimensões (com nenhuma dimensão externa superior a 50 cm) | Equipamentos musicais; ferramentas elétricas e eletrônicas; brinquedos e equipamentos de desporto e lazer; dispositivos médicos; instrumentos de monitorização e controle; aspiradores; aparelhos utilizados na costura; aparelhos de iluminação; micro-ondas; equipamentos de ventilação; ferros de passar; torradeiras; cafeteiras elétricas; relógios; máquinas de barbear elétricas; aparelhos de rádio; câmeras de vídeo. |
| Equipamentos informáticos e de telecomunicações de pequenas dimensões (com nenhuma dimensão externa superior a 50 cm). | Aparelhos celulares; GPS; computadores pessoais; impressoras; telefones. |

Fonte: Adaptado de EC, 2012.

A geração de REEE possui caráter difuso, mas podem ser identificadas duas principais origens, institucional e domiciliar, cujos fluxos são distintos. O primeiro compreende os REEE provenientes de pessoas jurídicas, incluindo empresas de todos os setores econômicos e instituições públicas, enquanto que o segundo consiste nos REEE gerados nas residências (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015).

O crescimento da geração de REEE é um fenômeno global que tende a se intensificar nos próximos anos, devido a fatores como: i) rápido desenvolvimento tecnológico, que induz à substituição de equipamentos por outros mais completos e eficientes, como monitores de tubo pelos de tela plana, e dispositivos com uma só funcionalidade por multifuncionais, como *smartphones* e *tablets*; ii) expansão do mercado e a popularização do uso desses equipamentos, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, e entre a população de baixa renda; iii) hábitos de consumo exacerbados, característicos do modo de vida contemporâneo; iv) tendência de eletrificar objetos, tais como facas e brinquedos; v) crescimento dos serviços de computação em nuvem e da quantidade de *data centres*; vi) ausência de peças de reposição e o custo crescente dos serviços de manutenção, cada vez mais escassos, e vii) tendência de redução do tempo de vida útil desses equipamentos, denominada obsolescência programada (RODRIGUES, 2012; OLIVEIRA, 2016; BALDÉ et al., 2017).

No Brasil, não há dados oficiais sobre a geração de REEE. Porém, estudo com base em dados secundários da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial estima uma geração anual *per capita* de REEE de origem domiciliar de 7,2 kg em 2016 (ABDI, 2013), enquanto estudo conduzido no município de São Paulo obteve um intervalo de geração anual *per capita* de 2,9 a 6,0 kg (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015). No continente europeu, estima-se que a geração anual *per capita* média (domiciliar) foi de 16,6 kg em 2016, enquanto, no Japão, essa estimativa é de 16,9 kg (BALDÉ et al., 2017).

Os REEE são constituídos por uma mistura complexa de materiais perigosos, não perigosos e de alto valor (OLIVEIRA, 2016). As substâncias presentes nos REEE que possuem elevado potencial de causar impactos negativos à saúde humana e ao ambiente são: metais pesados, como mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio; substâncias destruidoras da camada de ozônio (CFC, HCFC) e que também causam efeito estufa;

poluentes orgânicos persistentes (POP), entre outros (CARVALHO et al, 2014). A presença e concentração desses constituintes dos REEE tem se alterado devido ao desenvolvimento tecnológico e à pressão dos governos e da sociedade no sentido de contar com equipamentos mais sustentáveis (ROBINSON, 2009).

Dentre os componentes de REEE que contêm significativa quantidade de substâncias perigosas, estão: as placas de circuito integrado (PCI); os tubos de raios catódicos (CRT), cujo vidro contém chumbo; as lâmpadas de descarga; as baterias; os sistemas de refrigeração, que contém o gás clorofluorcarbono (CFC) ou hidroclorofluorcarbono (HCFC), assim como os diversos tipos de plásticos contendo retardantes de chama à base de compostos halogenados, isto é, contendo poluentes orgânicos persistentes (POP) (RODRIGUES, 2012; MENDES, 2017).

Por outro lado, os REEE podem conter também componentes que possuem alto valor agregado, tais como metais preciosos (principalmente ouro, prata e cobre), materiais cujas reservas naturais já apresentam sinais de esgotamento (como paládio, platina, gálio, índio, tungstênio e terras raras), metais volumosos valiosos (como alumínio e ferro), assim como alguns tipos de plásticos recicláveis (OLIVEIRA, 2016; BALDÉ et al., 2017). Logo, a reciclagem dos REEE e a consequente recuperação desses materiais de valor apresentam, além do apelo ambiental, motivação econômica.

Devido à dispersão geográfica da geração e à variada composição dos REEE, seu gerenciamento torna-se oneroso tanto do ponto de vista ocupacional quanto técnico-econômico. Uma alternativa de gestão desses resíduos que tem ganhado força em diversos países é a responsabilização do setor produtivo pela coleta e destinação adequada dos REEE descartados pelos consumidores, conhecida internacionalmente como Responsabilidade Estendida do Produtor (REP, que será tratada na próxima seção) e, no Brasil, vinculada ao conceito de logística reversa trazido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010 (BRASIL, 2010a; 2010b).

Nesse contexto, o principal objetivo deste capítulo é traçar um panorama da logística reversa de REEE no Brasil e no mundo, com enfoque nos casos de sucesso do Japão, da Europa e do estado de São Paulo.

PANORAMA GLOBAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS

Baldé et al. (2017) distinguem quatro cenários de gestão de REEE que coexistem, em maior ou menor escala, no mundo todo. O primeiro é o sistema formal/oficial de coleta e destinação, que pode ser chamado de sistema de logística reversa, no qual os REEE são coletados por organizações designadas pelos produtores ou pelo governo, e destinados a instalações que realizam o seu tratamento e a recuperação dos materiais valiosos de maneira ambientalmente adequada. Representa a solução ideal almejada pela legislação, pois, além do ganho econômico, reduz o impacto ambiental da gestão dos REEE e facilita a obtenção de dados referentes à coleta e reciclagem.

No segundo cenário, os consumidores descartam os REEE, de modo indiferenciado, conjuntamente com os resíduos sólidos urbanos (RSU) por meio da coleta municipal regular. Há uma pequena probabilidade de os REEE serem segregados do fluxo de RSU, *a posteriori*. Contudo, na maioria das vezes, são dispostos em aterros ou incinerados junto com os RSU. Esse cenário não é o ideal, pois desperdiça os materiais contidos nos REEE e pode impactar negativamente o ambiente, devido à liberação de substâncias perigosas nas operações de destinação final (BALDÉ et al., 2017).

O terceiro e o quarto cenários referem-se ao gerenciamento dos REEE fora do sistema de logística reversa. No terceiro cenário, os REEE são coletados por indivíduos ou empresas e, após serem negociados por vários canais, tem como possíveis destinos a reciclagem de metal e de plástico, a reciclagem especializada em REEE e a exportação. Já no quarto cenário, os REEE são, geralmente, coletados por indivíduos ou entidades informais e, caso não apresentem potencial de reutilização, são reciclados de modo informal, ou mesmo descartados de forma inadequada, podendo causar sérios danos ao ambiente e à saúde humana (BALDÉ et al., 2017).

A reciclagem informal inclui a desmontagem dos REEE para recuperar os materiais valiosos com técnicas precárias, que permitem a emissão de substâncias perigosas, sem o emprego de tecnologias para minimizar a exposição ocupacional ou de equipamentos de proteção individual. Os processos informais de reciclagem geralmente incluem etapas de desmontagem manual, lixiviação ácida de metais preciosos,

queima ao ar livre, fusão desprotegida de plásticos e aterramento direto, em aterros sanitários ou mesmo via disposição a céu aberto dos rejeitos (WITTSIEPE et al., 2015; BALDÉ et al., 2017).

Diversamente, a reciclagem formal inicia-se, em geral, com uma desmontagem mecânica dos componentes, que pode ser automatizada ou manual. Em seguida, os diversos materiais são separados e encaminhados ao tratamento, reciclagem ou disposição final, incluindo a incineração ou reciclagem dos plásticos (a depender da concentração de substâncias perigosas presentes), os processos piro-hidro-bio-metalúrgicos (para recuperar os metais valiosos), entre outros. Nas instalações de reciclagem formais, são utilizados equipamentos para remover com segurança os materiais recuperáveis dos REEE, protegendo os trabalhadores de efeitos adversos para a saúde. Contudo, mesmo nas usinas de reciclagem formais, os trabalhadores correm o risco de exposição a baixas doses, a depender das normas e padrões nacionais de saúde e segurança ocupacional (GRANT et al., 2013; WITTSIEPE et al., 2015; BALDÉ et al., 2017).

Em escala global, a gestão de REEE apresenta deficiências e grandes desafios, especialmente em países em desenvolvimento. Um dos principais problemas internacionais relativos aos REEE continua sendo o comércio ilegal entre países e a exportação desses resíduos, misturados a EEE usados, mas em condições de funcionamento, de países desenvolvidos para países em desenvolvimento (da África, Ásia e América Latina), implicando em custos para destinação dos REEE, contaminação ambiental e problemas de saúde pública nos países receptores (OLIVEIRA, 2016; ROBINSON, 2009).

Embora a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos (internalizada na íntegra pelo Decreto Federal nº 875/1993) estabeleça restrições à exportação de REEE, mostra-se difícil diferenciar os REEE dos EEE pós-consumo a serem destinados ao reuso. Essa diferenciação está relacionada não somente às condições técnicas dos equipamentos, mas também ao fato de haver mercado para equipamentos de segunda mão no país importador (BALDÉ et al., 2017). Assim sendo, muitas vezes, os REEE são exportados como produtos e não como resíduos.

Nos países africanos, um dos destinos dos REEE nessas condições, são praticamente inexistentes sistemas de coleta específicos para

REEE, legislação relativa aos REEE e infraestrutura oficial de tratamento e reciclagem desse tipo de resíduos, prevalecendo o gerenciamento informal dos REEE (BALDÉ et al., 2017).

No continente asiático, há realidades distintas: diversos países carecem de sistemas formais de coleta, enquanto, em países como Coreia do Sul e Japão, há regulação e sistemas de coleta e reciclagem consolidados. Já na China e Índia, a gestão de REEE está regulamentada e o setor de reciclagem formal encontra-se em expansão, mas ainda predomina o gerenciamento informal dos REEE (BALDÉ et al., 2017).

Ao longo do continente americano, as características da gestão de REEE também variam. Na América Latina, o consumo de EEE e a consequente geração de REEE vêm crescendo rapidamente; apesar de a maioria dos países não possuir legislação, vários já estão em processo de elaboração de normativa e formulação de políticas públicas, mas a reciclagem formal dos REEE ainda é incipiente. Nos Estados Unidos e Canadá, há regulação sobre essa matéria em diversos estados/províncias, e existem diferentes iniciativas para coleta e reciclagem dos REEE, muitas vezes promovidas pelo poder público em parceria com fabricantes e importadores. Entretanto, boa parte dos REEE continua sem ter uma destinação adequada nesses dois países, sendo, inclusive, exportada a países em desenvolvimento (BALDÉ et al., 2017).

A Europa destaca-se por seu pioneirismo no desenvolvimento de regulamentos relativos à gestão dos REEE, o que resultou no estabelecimento de sistemas de logística reversa bem estruturados, baseados no princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor (BALDÉ et al., 2017).

A Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) é definida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2001, p. 9) como “*o instrumento de política ambiental no qual a responsabilidade, física ou financeira, do produtor por seu produto é estendida ao estágio pós-consumo de seu ciclo de vida*”. Podem ser identificados quatro principais grupos de atores envolvidos na operacionalização da REP (LINDHQUIST, 2000):

- Produtores, isto é, atores do ciclo de vida do produto desde a extração da matéria prima até a montagem e distribuição ou comercialização do produto, incluindo distribuidores, importadores e comerciantes.

- Consumidores, que podem ser empresas ou cidadãos comuns.
- Gestores de resíduos sólidos, como os responsáveis pela coleta, segregação, tratamento, reciclagem e reutilização de resíduos.
- Autoridades, ou seja, os vários níveis governamentais envolvidos na regulação, supervisão e, em alguns casos, gestão dos sistemas que operacionalizam a REP.

GESTÃO E LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS NO BRASIL

No Brasil, em vez da REP, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), marco regulatório para a gestão de resíduos sólidos, estabelece (BRASIL, 2010a):

- a “Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos”, que abrange os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos e que deve ser implementada de forma individualizada e encadeada; e
- a obrigação de que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes implementem sistemas de logística reversa, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Para implementar e operacionalizar os sistemas de logística reversa (SLR), a PNRS define três instrumentos possíveis: Regulamentos, Acordos Setoriais (AS) e Termos de Compromisso (TC), os dois últimos de natureza contratual, firmados entre o poder público e o setor empresarial (BRASIL, 2010a). Em âmbito federal, foi adotado o AS como instrumento de implementação da LR no país.

No caso dos AS e TC, cabe a tais instrumentos o detalhamento de requisitos e modelos de operação, o que confere flexibilidade e possibilidade de particularização de cada sistema de logística reversa, mas

traz o desafio inerente aos processos de discussão e acordo, agravado pelo conflito de interesses entre o setor privado e a coletividade, representada pelo poder público (GÜNTHER; RODRIGUES, 2014; RIBEIRO, 2014).

Tal desafio pode ser observado no processo de discussão do AS de REEE. O Edital nº 01/2013 do Ministério do Meio Ambiente convocou o setor de eletroeletrônicos a apresentar propostas para a elaboração de AS, estabelecendo metas geográficas e quantitativas para implantação progressiva do SLR de REEE, mas restringindo-se aos produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e de baixa tensão, até 240 V (MMA, 2013). Em 2013, o setor apresentou propostas para assinatura do AS e, em janeiro de 2014, foi apresentada uma proposta unificada, acompanhada de uma lista de entraves para a implantação nacional do SLR e assinatura do AS (CARVALHO et al, 2014; OLIVEIRA, 2016).

Segundo Mendes (2017), seis obstáculos à assinatura do AS foram listados pelo setor empresarial:

- Revisar marco legal para permitir que os REEE sejam gerenciados como resíduos não perigosos em algumas etapas do processo de logística reversa;
- Rever legislação que impõe a existência de termo de doação no caso da transferência de posse do REEE do consumidor ao SLR;
- Promover a desoneração da cadeia de reciclagem de forma a isentar impostos no transporte de REEE;
- Criar instrumentos de controle para garantir que todos os entes da cadeia produtiva cumpram sua responsabilidade quanto à logística reversa;
- Detalhar as condições para formalização e cadastro das entidades gestoras, e
- Realizar análise aprofundada das alternativas de custeio do SLR.

Desde então, foram realizadas discussões entre o setor empresarial e o governo federal, buscando solucionar esses pontos de entrave (MENDES, 2017) e, em outubro de 2019, foi assinado o AS. O acordo

prevê a possibilidade de cumprimento da logística reversa pelas empresas de forma individual ou coletiva, com organização em duas fases. A primeira se estenderá até o final de 2020, sendo dedicada à estruturação do sistema. A segunda consistirá na implantação dos pontos de entrega e operacionalização da logística reversa, com metas anuais crescentes, devendo atingir, em 2025, as seguintes metas: (i) coletar o equivalente a 17% da quantidade (em peso) de EEE de uso doméstico colocados no mercado em 2018; (ii) abranger os 400 maiores municípios do país (com população superior a 80.000 habitantes), com um ponto de entrega a cada 25.000 habitantes, totalizando mais de 5.000 pontos (MMA, 2020).

Mesmo antes da assinatura do AS, o setor produtivo começou a organizar-se para estruturar sistemas de logística reversa (MENDES, 2017). Assim, duas entidades gestoras nacionais, constituídas por conjuntos de fabricantes/importadores especificamente para gerenciar a logística reversa de REEE, foram fundadas, respectivamente em 2011 e 2016: a Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE) e a GREEN Eletron (ABREE, 2020; GREEN ELETRON, 2020). Observa-se que os sistemas implantados por cada uma delas ainda possuem abrangência limitada, mas com dois modelos de operação distintos.

O modelo adotado pela ABREE baseia-se na realização de campanhas de coleta itinerantes, em parceria com representantes do poder público local, do varejo e de universidades, tendo sido realizadas campanhas com duração de alguns dias em dois municípios do estado de São Paulo, Jundiaí e São José dos Campos, e um do estado do Rio de Janeiro, Niterói, entre 2013 e 2014; além de uma campanha no município de São Caetano do Sul (SP) de dezembro de 2018 a março de 2019. A partir de 2019, a entidade iniciou a implantação de pontos de entrega, totalizando, em março de 2020, 23 pontos distribuídos por 11 municípios do estado de São Paulo (ABREE, 2020).

Para a GREEN Eletron, trata-se do programa “Descarte Green”, objeto de Termo de Compromisso no estado de São Paulo, que será tratado na próxima seção. O modelo de coleta consiste na instalação de pontos de entrega fixos em locais como shopping centers, escolas e universidades, lojas, parques e centros culturais e esportivos (GREEN ELETRON, 2020).

Além das ações das entidades gestoras, Mendes (2017) avalia que existem no país diversas iniciativas voltadas à coleta e reciclagem de REEE, realizadas de forma independente e que têm crescido nos últimos anos. Dentre elas, destacam-se as gerenciadas pelos próprios fabricantes ou importadores, as realizadas por prefeituras municipais, as promovidas por empresas que prestam serviço de gerenciamento de REEE, as iniciativas de organizações não governamentais e de universidades, assim como projetos piloto (OLIVEIRA; BERNARDES; GERBASE, 2012; JICA, 2017; MENDES, 2017). Ainda segundo Mendes (2017), tais iniciativas independentes devem ser consideradas no processo de estruturação dos SLR objeto do AS, pois algumas poderão concorrer ou ter sinergia com os SLR formais.

Tanto pela complexidade e diversidade dos REEE quanto pelas dificuldades e limitações observadas na implementação da PNRS e do AS, o gerenciamento dos REEE no país ainda é deficiente, caracterizado pelos seguintes aspectos (ONGONDO et al., 2011; RODRIGUES, 2012):

- Alto grau de reparo e reuso, o que contribui para a extensão da vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos;
- Parte dos REEE coletados é exportada para ser reciclada;
- Grande parcela dos REEE é coletada juntamente com os RSU e acaba sendo disposta em aterros, e
- As etapas de coleta, logística, processamento e reciclagem dos REEE apresentam alto grau de informalidade.

Dias et al. (2018) identificaram 134 recicladores formais de REEE atuando no país, a maioria concentrada nas regiões sudeste e sul, principalmente no estado de São Paulo, onde estão 45,5% deles. Segundo os autores, a participação de catadores na coleta de REEE no país não é tão representativa quanto no caso de outros materiais, tais como as sucatas metálicas. O método de coleta mais empregado pelos recicladores formais consiste no recebimento dos REEE diretamente das empresas parceiras ou clientes (envio direto).

No Brasil, são realizadas somente as etapas iniciais da reciclagem dos REEE, isto é, a triagem, desmontagem e, em alguns casos, a

trituração. Os materiais que podem ser separados manualmente de menor valor agregado, tais como alumínio, cobre, ferro, plásticos e vidro, são destinados a recicladores dentro do país, que realizam o processo de reciclagem característico de cada material. Já os materiais ou componentes cuja desmontagem é complexa demandam tecnologias específicas para recuperação e são exportados para serem reciclados em países como Estados Unidos, Singapura, Japão, Bélgica, Holanda e Alemanha. São exemplos desses materiais ou componentes que possuem alto valor agregado, por conter metais preciosos e escassos: placas de circuito impresso, discos rígidos, memórias e processadores de computadores (DIAS et al., 2018).

Similarmente, JICA (2017) aponta que a maioria dos recicladores no país possui apenas instalações para a descaracterização de eletroeletrônicos de pequeno e médio porte, como computadores; e que há somente duas unidades que contam com equipamentos para recuperação de gases CFC/HCFC de refrigeradores e para trituração de eletrodomésticos de grande porte. Os autores ressaltam, ainda, a necessidade de ampliar a capacidade nacional de reciclagem de modo a poder atender à futura implantação de um sistema de logística reversa plenamente operacional e abrangente.

GESTÃO E LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS: CASOS DE SUCESSO

a) Europa

Apesar de alguns países já possuírem sistemas de logística reversa de REEE baseados na Responsabilidade Estendida do Produtor desde o final da década de 1990, um marco do desenvolvimento da gestão de REEE na Europa foi a promulgação, em 2003, da Diretiva 2002/96/CE, que determinou a criação de sistemas para coleta e destinação adequada a cargo dos produtores. Em conjunto com essa Diretiva, foram publicadas outras duas: a Diretiva 2002/95/CE (RoHS), que criou restrições quanto ao uso de substâncias químicas perigosas nos EEE, visando amenizar seu impacto ambiental ao atingirem o tempo de vida útil, e a Diretiva 2005/32/CE, conhecida como EuP (do inglês

Energy-using products), que definia requisitos para o *ecodesign* de produtos que consomem energia (CAHILL; GRIMES; WILSON, 2011; OLIVEIRA, 2016).

Posteriormente, em 2012, a Diretiva 2012/19/CE substituiu a Diretiva 2002/96/CE, definindo percentuais mínimos de coleta dos REEE, de modo a garantir a aplicação da REP e incrementar a recuperação desses resíduos: para 2016, 45% em relação às quantidades de EEE colocadas no mercado nos três anos anteriores e, a partir de 2019, 65%, ou, alternativamente, 85% dos REEE gerados anualmente no Estado-Membro. Também estabeleceu objetivos mínimos de reciclagem e valorização para cada categoria de REEE abrangida pela Diretiva (EC, 2012).

Embora cada Estado-Membro da União Europeia tenha uma ordem jurídica e legislação próprias, cada um deles é responsável por transpor as Diretivas e incorporar as metas e prazos, regulamentando seus aspectos operacionais por meio da legislação nacional ou local. Ressaltam-se as diferenças socioeconômicas e culturais entre os países, que tem reflexos diretos sobre a implementação das Diretivas em âmbito nacional. Assim, observa-se certa heterogeneidade entre os SLR de REEE que se estabeleceram nos países europeus, havendo discrepâncias quanto à performance técnica e econômica de cada um (EC, 2014). Em 2016, a Espanha, por exemplo, coletou 5,4 kg *per capita* de REEE, enquanto Suécia, Bélgica e Holanda, coletaram, respectivamente 16,4; 11,3 e 9,1 kg *per capita* de REEE (EUROSTAT, 2020).

Entretanto, segundo Baldé et al. (2017), em geral, os percentuais de coleta divulgados pelo Eurostat (órgão estatístico da União Europeia) não se alteraram significativamente desde 2009, permanecendo em torno de 37% (em relação aos EEE colocados no mercado nos anos anteriores). Portanto, avaliam como desafiador alcançar as metas definidas na nova Diretiva relativa aos REEE. Nesse sentido, afirmam que uma questão fundamental é capturar as quantidades de REEE presentes em múltiplos fluxos complementares, incluindo o descarte com outros resíduos, a reciclagem informal ou não reportada de peças e materiais valiosos, a exportação para reutilização e as exportações ilegais.

Apesar da heterogeneidade, existem algumas similaridades entre os SLR existentes nos países europeus, entre as quais podem ser citadas (CAHILL; GRIMES; WILSON, 2011; EC, 2014; OCDE, 2016):

- SLR coletivos baseados na REP foram adotados, sendo que a maior parte desses sistemas foi criada em 2005, a partir da Diretiva 2002/96/CE. Apesar da predominância dos sistemas coletivos, coexistem com estes alguns sistemas individuais, gerenciados diretamente pelos produtores.
- Na grande maioria dos países, há mais de uma organização de responsabilidade do produtor, conhecidas também como entidades gestoras, que operacionalizam a REP em nome das empresas aderentes. Suas principais funções são: organizar, contratar, supervisionar a coleta e destinação dos REEE, financiar o sistema, por meio da coleta de taxas e redistribuição dos recursos entre os atores, além de gerenciar dados e informações referentes a essas atividades, inclusive fornecendo-os aos órgãos de controle, e representar as empresas no diálogo com o governo. Essas organizações podem atuar em competição ou não, mas, no caso dos REEE, o fato de haver mais de uma entidade gestora pode não significar que elas atuam em competição, pois cada uma pode abranger categorias de resíduos distintas. A maioria não possui fins lucrativos. Em geral, elas devem obter autorização dos órgãos ambientais para atuar.
- Nos casos em que há várias entidades gestoras, pode existir a chamada *clearinghouse*, entidade neutra que ajuda a coordenar o trabalho das gestoras, garantindo que a coleta seja realizada nos locais previstos e que não haja favorecimento de algumas gestoras. Além disso, pode exercer a função de entidade nacional de registro, que possui o papel de registrar os fabricantes e importadores de EEE que atuam em cada país e coletar dados sobre as quantidades coletadas, recicladas, recuperadas e exportadas e repassá-las às autoridades competentes. Alternativamente, outros atores podem exercer a função de entidade nacional de registro, até mesmo órgãos públicos.
- Em muitos países, a responsabilidade física pela coleta e destinação dos REEE é compartilhada por fabricantes, importadores, municípios e distribuidores. Já a responsabilidade financeira, que, em geral, compreende todo o processo de gerenciamento

dos REEE, da coleta à destinação, é compartilhada por fabricantes, importadores e, em muitos casos, distribuidores. No entanto, nos casos em que há participação dos municípios na coleta, parte dos custos acaba sendo arcada pelo próprio município, pois os repasses dos produtores não cobrem todos os gastos.

- Quem realiza o monitoramento, fiscalização e aplicação de sanções pelo não cumprimento da REP, geralmente, é o órgão ambiental nacional.

b) Japão

Outro caso de sucesso na gestão e logística reversa de REEE é o do Japão, onde existem dois esquemas de gestão bastante distintos, segundo a categoria de REEE. Para quatro categorias de resíduos de grande porte - aparelhos de ar condicionado, televisores (CRT, LCD, plasma), refrigeradores e máquinas de lavar e secar roupa - o marco regulatório é a chamada “Lei de Reciclagem de Grandes Eletrodomésticos”, de 1998, mas que começou a vigorar em 2001. Já para os demais REEE, existe a “Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos de Pequeno Porte”, de 2012, em vigor desde 2013.

Juntamente com a Lei referente aos eletrodomésticos de grande porte, foi promulgada a chamada “Lei para a Promoção da Utilização Efetiva de Recursos”, cujos principais objetivos são incentivar os produtores a reduzir a geração de resíduos, utilizar materiais reciclados e aumentar a capacidade de reciclagem (reciclabilidade) dos equipamentos. Em 2006, foram efetuadas alterações nessa lei, de modo que fabricantes e importadores passaram a ser obrigados a rotular o conteúdo material dos EEE que contém pelo menos uma das seis substâncias: chumbo, mercúrio, cromo hexavalente, cádmio, bifenilas polibromadas (PBB) e éteres difenílicos polibromados (PBDE) (RASNAN et al., 2016).

Segundo a “Lei de Reciclagem de Grandes Eletrodomésticos”, os fabricantes/ importadores foram separados em dois grupos. O grupo A teve a função de utilizar e melhorar as plantas de reciclagem já existentes a baixo custo, enquanto o grupo B foi responsável por estabelecer suas próprias empresas de reciclagem de alta tecnologia. Pode-se classificar o SLR resultante da implementação dessa lei como predominantemente coletivo, mas com a coexistência de sistemas individuais. Cada

fabricante e importador é responsável, fisicamente, por coletar e prover a destinação adequada aos seus produtos pós-consumo. Diferentemente do caso europeu, a responsabilidade financeira é arcada pelos consumidores. A chamada “empresa designada” realiza a coleta e destinação dos EEE cujos fabricantes e importadores são empresas de pequeno porte ou não existem mais. A lei também estabeleceu metas referentes às taxas de reciclagem a serem alcançadas pelos fabricantes/importadores, variando entre 50 e 60%, de acordo com o tipo de equipamento. Ademais, os fabricantes/importadores são obrigados a coletar os gases de interesse ambiental (CFC, HCFC e HFC) contidos em refrigeradores e aparelhos de ar condicionado pós-consumo (AIZAWA; YOSHIDA; SAKAI, 2008).

Quanto à coleta, cada varejista é obrigado a coletar tanto os equipamentos que foram vendidos por ele quanto aqueles cuja coleta é solicitada pelos consumidores no ato da compra, isto é, o equipamento que está sendo substituído por um novo. O consumidor solicita o serviço de coleta em domicílio e, neste momento, o varejista cobra a taxa de reciclagem. O município também atua na coleta, com o papel de coletar os produtos pós-consumo de uso doméstico cuja obrigação de coleta não pode ser imposta ao varejista, pois a empresa varejista não existe mais ou pelo fato de a transação comercial não configurar aquisição do mesmo tipo de equipamento em substituição do antigo (YOSHIDA; YOSHIDA, 2014; SOEDA, 2016; OCDE, 2016).

Após a coleta, tanto os varejistas quanto os municípios transferem os resíduos coletados a pontos de consolidação estabelecidos coletivamente pelos fabricantes/importadores e pelas empresas designadas. Nesses locais, os produtos são separados, segundo sua marca, nos dois grupos definidos pela lei e encaminhados à desmontagem e reciclagem, majoritariamente (YOSHIDA; YOSHIDA, 2014; OCDE, 2016; SOEDA, 2016).

O governo japonês, por meio do Ministério do Meio Ambiente (MOE) e do Ministério de Economia, Comércio e Indústria (METI), é responsável por promover a pesquisa e desenvolvimento, a educação ambiental e disseminar informações sobre o descarte dos REEE. Além dessas atribuições, o MOE é responsável pelo controle, inspeção e aplicação de penalidades aos fabricantes, importadores e varejistas que não cumprirem a lei (OCDE, 2016; SOEDA, 2016).

Em 2013, foram coletados, no Japão, quase 60% dos REEE de grande porte gerados, e a taxa de recuperação (reutilização e reciclagem, excluindo a reciclagem energética) foi de 79% para televisores CRT, 88% para lavadoras de roupa e 91% para aparelhos de ar condicionado, em relação às quantidades coletadas naquele ano (OCDE, 2016; SOEDA, 2016).

O principal foco da “Lei de Reciclagem de Pequenos Eletrodomésticos” foi promover a recuperação de materiais valiosos e perigosos contidos em pequenos eletrodomésticos, tais como telefones celulares, câmeras e consoles de *videogame*. Esses eletrodomésticos diferem dos demais REEE devido ao seu tempo de vida útil mais curto e por conterem mais metais valiosos, tais como as terras raras (RASNAN et al., 2016). São alvo dessa lei os EEE utilizados no dia-a-dia dos consumidores em geral, classificados em 28 grupos, excetuados os quatro grupos englobados pela Lei dos eletrodomésticos de grande porte (SOEDA, 2016).

A principal diretriz norteadora do SLR de pequenos eletrodomésticos é a promoção da recuperação (ou reciclagem) dos materiais presentes nos REEE e a cooperação entre os atores envolvidos. Os fabricantes e importadores são responsáveis por melhorar o projeto de seus produtos de modo a reduzir os custos de sua reciclagem e a utilizar matérias-primas recicladas e recicláveis. Mais especificamente, devem utilizar os materiais provenientes da reciclagem de REEE para a fabricação dos EEE, a exemplo da configuração de reciclagem de ciclo fechado. Os varejistas devem cooperar para garantir o descarte adequado pelos consumidores, os quais são responsáveis por fazer o descarte seletivo dos REEE. O governo japonês deve auxiliar tecnicamente os municípios, promover atividades educativas e de publicidade quanto à LR de REEE e definir a Diretriz Básica. Tal diretriz contempla orientações sobre as responsabilidades dos envolvidos e sobre assuntos como a proteção de dados dos consumidores previamente ao descarte, assim como a meta de coleta de REEE de pequeno porte - 140 mil toneladas por ano até 2019 (ano fiscal japonês) - e medidas para atingimento dessa meta. Já os municípios são responsáveis por coletar seletivamente os REEE, isto é, promover a coleta dos REEE separadamente dos RSU e entregá-los às empresas certificadas ou outras empresas que comprovem que podem reciclá-los

adequadamente. Não há cobrança de taxa específica dos consumidores para descarte dos REEE de pequeno porte, sendo o custo da logística reversa arcado pelos municípios, fabricantes, importadores e varejistas (RASNAN et al., 2016; SOEDA, 2016; TAMESADA, 2019).

É importante esclarecer o papel da chamada “empresa certificada”. O empreendedor que deseje atuar no ramo de reciclagem de REEE de pequeno porte deve elaborar o plano de negócios e submetê-lo à aprovação do MOE e do METI. Caso receba a aprovação/certificação dos ministérios para seu plano de negócios de reciclagem, o empreendedor fica isento de solicitar a licença para coleta e transporte que é concedida pelos municípios. Além de aprovar o plano, o governo deve cobrar relatórios, fiscalizar os empreendimentos que receberam a aprovação, podendo cancelar a certificação caso haja irregularidades (SOEDA, 2016).

Em 2013, ano em que a Lei referente aos equipamentos de pequeno porte entrou em vigor, foram coletadas, no Japão, em torno de 24 mil toneladas de REEE de pequeno porte, valor muito abaixo da meta de 140 mil toneladas/ano, ou das 650 mil toneladas geradas no país anualmente. Desde 2013, a quantidade de municípios engajados na reciclagem de REEE vem aumentando de forma constante, sendo que, em 2018, 93% do total de municípios já estavam com a Lei implementada ou se articulando para sua implementação. Em 2017, a coleta atingiu 78.310 toneladas de REEE de pequeno porte. Estima-se que, para atender à meta, será necessário maior engajamento dos envolvidos, potencializar a coleta e ampliar a divulgação sobre esse tema (SOEDA, 2016; TAMESADA, 2019).

c) Estado de São Paulo

Dentro do cenário brasileiro, destaca-se o caso do estado de São Paulo, que tem atuado de forma pioneira para implementação da logística reversa. Mesmo antes da promulgação da PNRS, já haviam sido publicadas a Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei Estadual nº 12.300/2006, regulamentada pelo Decreto Estadual nº 54.645/2009), que institui a “responsabilidade pós-consumo”, e a chamada “lei do lixo tecnológico” (Lei Estadual nº 13.576/2009), que estabelece a responsabili-

dade solidária pela destinação de resíduos tecnológicos entre os produtores, importadores ou comerciantes de produtos eletroeletrônicos, assim como a obrigatoriedade de o rótulo dos produtos trazer orientações ao consumidor sobre seu descarte pós-consumo (SÃO PAULO, 2006, 2009a, 2009b).

A partir da promulgação da PNRS, iniciou-se um ciclo de reuniões entre a Secretaria Estadual de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA) e os setores produtivos, visando à definição de um marco regulatório para a logística reversa no estado de São Paulo, culminando na publicação da Resolução SMA nº 38/2011. Essa resolução estabeleceu uma lista de produtos e embalagens cujos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes deveriam implantar sistemas de logística reversa, incluindo os EEE, e determinou ainda que os fabricantes e importadores deveriam apresentar à SMA propostas de implantação de SLR, visando à assinatura de Termos de Compromisso (RIBEIRO, 2012).

Como resultado, foram assinados 14 Termos de Compromisso (TC) até 2015, para diversos produtos e embalagens pós-consumo, tais como óleo lubrificante, embalagens de agrotóxicos, pneus, pilhas e baterias, óleo comestível e aparelhos celulares (CETESB, 2020). No âmbito dos eletroeletrônicos, foi assinado, em 2012, um Termo de Compromisso de Aparelhos de Telefonia Móvel e seus Acessórios, cujos signatários foram a Secretaria de Meio Ambiente do Estado, a CETESB e cinco operadoras de telefonia móvel que atuam no país. O documento estabelecia metas estruturantes, referentes à implantação de pontos de entrega nas lojas próprias e revendas autorizadas das operadoras, para recebimento dos aparelhos pós-consumo entregues pelo consumidor. Ressalta-se que não foram signatários do TC os produtores e importadores de aparelhos celulares. Além disso, não foram definidas metas quantitativas, referentes às quantidades de REEE a serem recolhidas pelo sistema, seja em valores absolutos ou relativos (RIBEIRO, 2015).

Essa primeira fase de implementação da logística reversa no estado de São Paulo teve como um dos objetivos demonstrar a viabilidade da implantação de sistemas de logística reversa. Foi marcada pela participação do setor produtivo nas discussões e formulação das regulamentações, pela busca em agregar os atores de cada setor em um único Termo de Compromisso, e intensas negociações para chegar a metas e compromissos em consenso (RIBEIRO; KRUGLIANSKAS, 2015).

A segunda fase da estratégia de São Paulo teve início com a publicação da Resolução SMA nº 45/2015, que revogou a Resolução SMA nº 38/2011, reafirmou a obrigação de implantar SLR pelos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de determinados produtos e determinou, entre outras coisas, que os TC fossem renovados para uniformizar terminologias e outros aspectos (SMA, 2015). Atendendo a essa Resolução, até março de 2020, seis TC foram renovados e outros seis foram assinados, totalizando 12 TC, dentre os quais o de equipamentos elétricos e eletrônicos de uso doméstico. O TC relativo a telefones celulares não foi renovado e não se encontra mais em vigência (CETESB, 2020).

O TC referente a produtos eletroeletrônicos de uso doméstico até 240 V foi assinado, em outubro de 2017, pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado, CETESB e GREEN Eletron, entidade gestora que representava 15 empresas aderentes no momento da assinatura. Figuram, no TC, como intervenientes anuentes a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) e a Federação do Comércio de Bens e Serviços e Turismo do Estado de São Paulo (FECOMERCIO-SP). O SLR objeto do TC baseia-se na implantação de pontos de coleta de REEE, com a participação do comércio, e abrange apenas REEE de pequeno e médio porte. Nesse TC, foram definidas duas etapas: a primeira consiste no chamado projeto-piloto, com a implantação de, no mínimo, 16 pontos de entrega em três municípios do estado, nos seis primeiros meses de vigência do TC. A segunda etapa começou com a avaliação dos resultados do projeto piloto e a elaboração de um relatório contendo os principais obstáculos, pontos positivos, oportunidades de melhoria e uma proposta de expansão gradual do SLR, de modo a estabelecer um sistema permanente em São Paulo (CETESB, 2020).

Em março de 2020, o SLR gerenciado pela GREEN Eletron contava com quase 150 pontos de entrega localizados em cerca de 60 municípios paulistas, sendo financiado por 29 empresas fabricantes ou importadoras de EEE (GREEN ELETRON, 2020). Até o final de 2018, o sistema havia coletado cerca de 120 toneladas de REEE (CETESB, 2020).

Dentre os regramentos estabelecidos na segunda fase de implantação da logística reversa no Estado, foi publicada pela CETESB, em junho de 2016, a Decisão de Diretoria nº 120/2016/C, que estabeleceu, entre outras medidas, que os REEE, embora genericamente classificados

como perigosos, podem ser gerenciados como resíduos não perigosos exclusivamente nas etapas que não envolvam a separação de seus componentes e, portanto, não haja a exposição a possíveis constituintes perigosos. Excetua-se dessa condição a etapa de disposição final (CETESB, 2016). Essa norma solucionou, em âmbito estadual, um dos entraves levantados pelo setor de eletroeletrônicos para implantação de sistemas de logística reversa, contribuindo para seu avanço há muito esperado.

Em abril de 2018, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria (DD) nº 076/2018/C, que estabeleceu regras para a cobrança do cumprimento da logística reversa pela CETESB, por meio de sua inclusão no licenciamento ambiental estadual, para que essa passasse a ser gradualmente exigida como condicionante da emissão ou renovação das licenças de operação de empreendimentos que fabriquem ou sejam responsáveis pela importação, distribuição ou comercialização de uma série de produtos e embalagens sujeitos à LR, incluindo os EEE. Essa norma também determinou que a demonstração da estruturação, implementação e operação, assim como a apresentação dos resultados dos SLR, serão exigidas pela CETESB em etapas sucessivas, cada qual com critérios de inclusão de empreendimentos e metas específicas, sendo a primeira etapa prevista para durar até 31 de dezembro de 2021 (CETESB, 2018).

Em outubro de 2019, foi publicada a DD nº 114/2019/P/C, que substituiu a DD nº 076/2018/C, trazendo algumas alterações relativas especialmente às metas e aos prazos de cobrança do cumprimento da logística reversa, segundo o porte (área construída) de cada empreendimento (CETESB, 2019).

Quanto aos SLR, a Decisão de Diretoria orienta que podem ser individuais (de cada empresa) ou coletivos, mas sugere-se que sejam, preferencialmente, coletivos, englobando um conjunto de empresas, seja por meio de entidade representativa do setor ou por pessoa jurídica criada com o objetivo de gerenciar o respectivo sistema (entidade gestora). As empresas que forem aderentes aos TC serão consideradas como adimplentes ao procedimento desde que atendam às suas disposições e metas. As empresas sujeitas à LR e não aderentes aos TC serão cobradas (CETESB, 2019).

A referida normativa determina que a prestação de informações sobre os SLR à CETESB será realizada por meio da apresentação de: um Plano de Logística Reversa, no qual devem ser previstas, entre outros

aspectos, metas anuais para o período de 2018 a 2021, e Relatórios Anuais, contendo dados sobre os resultados do SLR no ano anterior, como as quantidades coletadas e destinadas, abrangência geográfica, lista de pontos de entrega, ações de comunicação e divulgação (CETESB, 2020).

Quadro 2 - Metas definidas na DD nº 114/2019/P/C para os REEE

| Categoria | REEE de grande porte | Demais REEE |
|--------------------------|---|--|
| Meta Quantitativa | <p>I) <u>2021</u>: 6,8% em relação à quantidade (em peso) de EEE colocados no mercado no mesmo ano; <u>OU</u></p> <p>II) <u>2019-2021</u>: Taxa de crescimento da coleta, no mínimo, igual a 100% em relação à quantidade (em peso) coletada no ano anterior, desde que essa quantidade seja diferente de zero.</p> | <p>I) <u>2021</u>: 6,8% em relação à quantidade (em peso) de EEE colocados no mercado no mesmo ano; <u>OU</u></p> <p>II) <u>2019-2021</u>: Taxa de crescimento da coleta, no mínimo, igual a 100% em relação à quantidade (em peso) coletada no ano anterior pelo SRL objeto de TC.</p> |
| Meta Geográfica | <p>I) <u>2021</u>: 40% dos municípios paulistas com mais de 80 mil habitantes, com, pelo menos, um ponto de entrega a cada 25 mil habitantes; <u>OU</u></p> <p>II) <u>2019-2021</u>:</p> <p>a) Taxa de aumento da quantidade de pontos de entrega, no mínimo, igual a 100% em relação ao ano anterior, desde que essa quantidade seja diferente de zero;</p> <p>b) <u>2021</u>: 40% dos municípios com mais de 80 mil habitantes.</p> | <p>I) <u>2021</u>: 40% dos municípios paulistas com mais de 80 mil habitantes, com, pelo menos, um ponto de entrega a cada 25 mil habitantes; <u>OU</u></p> <p>II) <u>2019-2021</u>:</p> <p>a) Taxa de aumento da quantidade de pontos de entrega, no mínimo, igual a 100% em relação ao ano anterior, tendo como referência a quantidade de pontos de entrega operados pelo SLR objeto de TC;</p> <p>b) Realização de campanhas de coleta anuais, as quais deverão abarcar uma Região Administrativa do estado de São Paulo adicional por ano;</p> <p>c) <u>2021</u>: 80% dos municípios com mais de 80 mil habitantes.</p> |

Fonte: Adaptado de CETESB (2019).

No caso dos EEE, nesta primeira etapa, o procedimento deve ser aplicado aos empreendimentos que fabriquem ou sejam responsáveis pela importação, distribuição ou comercialização de produtos eletroeletrônicos de uso doméstico e seus componentes, com tensão até 240 V, os quais deverão atender a metas quantitativas e geográficas em 2021 (Quadro 2). Tanto no caso das metas quantitativas quanto das metas geográficas, a DD traz duas opções: uma baseada nas metas definidas no AS e outra baseada nas propostas do próprio setor produtivo, apresentadas à CETESB por meio de seus Planos de Logística Reversa (CETESB, 2019).

ANÁLISE E CONCLUSÕES

Analisando comparativamente os casos europeu e japonês, identificam-se alguns aspectos em comum, que contribuíram para os resultados exitosos: i) existência de regulação e políticas públicas bem estruturadas e implementadas; ii) estabelecimento de sistemas coletivos gerenciados por entidades gestoras; iii) participação de diferentes atores, tanto da cadeia produtiva, de comercialização e de reciclagem, quanto do poder público, incluindo os municípios e órgãos que tratam de questões fiscais/tributárias e de importação, e iv) implementação de mecanismos de financiamento da logística reversa.

Quanto ao caso do estado de São Paulo, observa-se que a implementação da logística reversa tem avançado progressivamente, baseada na edição de regulamentos e na assinatura de Termos de Compromisso. O avanço mais recente consistiu na publicação da norma que emprega o licenciamento ambiental como instrumento de cobrança do cumprimento da logística reversa, estratégia pioneira cujo principal promotor é o órgão ambiental.

A implementação dessa regulação tem contribuído para a expansão dos SLR no estado de São Paulo quanto à quantidade de REEE coletada, número de pontos de entrega e de municípios abrangidos e de empresas fabricantes, importadoras e varejistas participantes. Espera-se que esse resultado seja ainda mais expressivo com o progresso da cobrança por meio do licenciamento ambiental. Entretanto, ressaltam-se alguns desafios, como a assinatura de um Termo de Compromisso para

os REEE de grande porte; a exigência sobre os entes da cadeia de eletroeletrônicos não licenciados pelo órgão ambiental estadual (por exemplo: importadores, fabricantes localizados em outros estados, varejistas), e o efetivo atendimento às metas previstas no regulamento.

Em conclusão, a exemplo dos casos de sucesso, reconhece-se que, para expandir a abrangência e capacidade de coleta dos sistemas de logística reversa de REEE no Brasil, é necessário fortalecer a: i) participação efetiva dos múltiplos atores, públicos e privados, envolvidos nos diferentes âmbitos da implantação, operacionalização e monitoramento da logística reversa de REEE, incluindo os consumidores; ii) implementação de instrumentos de controle do setor regulado que extrapolem a esfera puramente ambiental, envolvendo órgãos do poder público que lidam com o controle de importações e questões fiscais/tributárias, de modo a promover a isonomia no cumprimento da logística reversa; iii) adoção de mecanismos financeiros que permitam o custeio da logística reversa de modo sustentável; iv) expansão da capacidade e capilaridade das instalações de processamento e reciclagem dos REEE no país, e v) implantação de métodos de coleta adequados aos REEE de grande porte.

REFERÊNCIAS

- ABDI - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Gestão de REEE no Brasil: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. ABDI, 2013.
- ABREE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECICLAGEM DE ELETROELETRÔNICOS E ELETRODOMÉSTICOS. Página Internet Institucional. Disponível em: <http://abree.org.br/category/cases/campanhas/>. Acesso em: 29 mar. 2020.
- AIZAWA, H.; YOSHIDA, H.; SAKAI, S. Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, n. 12, p. 1399-1410, 2008.
- BALDÉ, C. P.; FORTI, V.; GRAY, V.; KUEHR, R.; STEGMANN, P. *The Global e-waste Monitor*. United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA). Bonn/ Geneva/ Vienna, 2017.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (...). *Diário Oficial* [da] República Federativa do Brasil. Poder Exec., Brasília, 03 ago. 2010a.

_____. Decreto 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei 12.305 (...). *Diário Oficial* [da] República Federativa do Brasil. Poder Exec., Brasília, 24 dez. 2010b.

CAHILL, R.; GRIMES, S. M.; WILSON, D. C. Review Article: Extended producer responsibility for packaging wastes and WEEE - a comparison of implementation and the role of local authorities across Europe. *Waste Management & Research*, v. 29, n. 5, p. 455–479, 2011.

CARVALHO, T. C. M. B.; XAVIER, L. H. *Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: uma Abordagem Prática para a Sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Logística Reversa*. Página Internet Institucional. Disponível em: <http://cetesb.sp.gov.br/logisticareversa/>. Acesso em: 29 mar. 2020.

_____. Decisão de Diretoria nº 114/2019/P/C, de 23 de outubro de 2019. Estabelece “Procedimento para a incorporação da Logística Reversa no âmbito do licenciamento ambiental (...)”. *Diário Oficial* [do] Estado de São Paulo. Poder Exec., São Paulo, 30 out. 2019.

_____. Decisão de Diretoria nº 076/2018/C, de 03 de abril de 2018. Estabelece “Procedimento para a incorporação da Logística Reversa no âmbito do licenciamento ambiental (...)”. *Diário Oficial* [do] Estado de São Paulo. Poder Exec., São Paulo, 04 abr. 2018 (revogada).

_____. Decisão de Diretoria nº 120/2016/C, de 01 de junho de 2016. Estabelece os “Procedimentos para o licenciamento ambiental de estabelecimentos envolvidos no sistema de logística reversa (...)”. *Diário Oficial* [do] Estado de São Paulo. Poder Exec., São Paulo, 03 jun. 2016.

DIAS, P.; MACHADO, A.; HUDA, N.; BERNARDES, A. M. Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes. *Journal of Cleaner Production*, 174, p. 7–16, 2018.

EC - EUROPEAN COMMISSION. Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de janeiro de 2003, relativa aos resíduos de equipamentos eléctricos e eletrônicos (REEE). 2003.

____. Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE). 2012.

____. Development of Guidance on Extended Producer Responsibility (EPR). Final Report. 2014.

EUROSTAT - SERVIÇO DE ESTATÍSTICA DA UNIÃO EUROPEIA. *Waste Statistics* – Electrical and Electronic Equipment. Página Internet Institucional. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment. Acesso em: 29 mar. 2020.

GRANT, K. ; GOLDIZEN; F. C.; SLY, P. D.; BRUNE, M.; NEIRA, M.; VAN DEN BERG, M.; NORMAN, R. E. Health consequences of exposure to e-waste: A systematic review. *The Lancet Global Health*, v. 1, n. 6, p. e350–e361, 2013.

GREEN ELETRON. Página Internet Institucional. Disponível em: <<https://www.greeneletron.org.br/>>. Acesso em: 29 mar. 2020.

GÜNTHER, W. M. R. RODRIGUES, A. C. Modelos de Responsabilidade para Produtos Pós-Consumo: Discussão do Caso Brasileiro. In: *XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Monterrey, México, 2014.

JICA. Projeto para melhoria da Logística Reversa de REEE no Brasil. Relatório de Conclusão do Projeto (Versão Resumida). São Paulo. 2017.

LINDHQVIST, T. *Extended Producer Responsibility in Cleaner Production*. Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems. Tese (Doutorado). IIIIEE, Universidade de Lund. Suécia. 2000.

MENDES, H. M. R. *Análise de experiências internacionais com a logística reversa de eletroeletrônicos: comparação com a realidade brasileira e recomendações*. Dissertação. Universidade Nove de Julho. São Paulo, 2017.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Página Internet Institucional. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/15652-minist%C3%A9rio-do-meio-ambiente-celebra-acordo-setorial-de-eletr%C3%B4nicos.html>. Acesso em: 29 mar. 2020.

_____. Edital nº 01/2013. Chamamento para a Elaboração de Acordo Setorial para a Implantação de Sistema de Logística Reversa de Produtos Eletroeletrônicos e seus Componentes. Brasília, 2013.

OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Extended Producer Responsibility. *A Guidance manual for governments*. Paris: 2001, 164 pg.

_____. Extended Producer Responsibility. *Updated Guidance*. Paris: 2016.

OLIVEIRA, U. R. *Contribuições para a Melhoria da Gestão de Resíduos de Eletroeletrônicos no Brasil, no Contexto da Sustentabilidade Ambiental*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá. 2016.

OLIVEIRA, C. R. DE; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation. *Waste Management*, v. 32, n. 8, p. 1592–1610, 2012.

ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D.; CHERRETT, T. J. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management*, v. 31, n. 4, p. 714–730, 2011.

RASNAN, M. I.; MOHAMED, A. F.; GOH, C. T.; WATANABE, K. Sustainable E-Waste Management in Asia: Analysis of Practices in Japan, Taiwan and Malaysia. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, v. 18, n. 04, p. 1650023, 2016.

RIBEIRO, F. M. KRUGLIANSKAS, I. Implementação da Logística Reversa: A primeira Fase da Experiência do Estado de São Paulo. In: *5th International Workshop: Advances in Cleaner Production*. São Paulo, 2015.

RIBEIRO, F. M. Sistemas-Pilotos de Logística Reversa no Estado de São Paulo. *ARES – Revista Ambiente & Resíduos*. São Paulo, abr. 2015.

_____. Logística Reversa. *Cadernos de Educação Ambiental*. Nº20. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2014.

_____. *Reforma da Regulação Ambiental: Características e Estudos de Caso do Estado de São Paulo*. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Instituto de Eletrônica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ROBINSON, B. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, v. 408, p. 183-191. 2009.

RODRIGUES, A. C. *Fluxo Domiciliar de Geração e Destinação de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos no Município de São Paulo/SP: Caracterização e Subsídios para Políticas Públicas*. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental), Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RODRIGUES, A. C.; GUNTHER, W. M. R.; BOSCOV, M. E. G. Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 437-447, 2015.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Estadual nº 54.645, de 05 de agosto de 2009. Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.300 de 2006 e altera o inciso I do artigo 74 do Regulamento da Lei nº 997, de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 1976. *Diário Oficial [do] Estado de São Paulo*. Poder Exec., São Paulo, 06 ago. 2009 (a).

_____. Lei Estadual nº 13.576, de 06 de julho de 2009. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. *Diário Oficial [do] Estado de São Paulo*. Poder Exec., São Paulo, 07 jul. 2009 (b).

_____. Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. *Diário Oficial [do] Estado de São Paulo*. Poder Exec., São Paulo, 17 mar. 2006.

SINIR - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS. Página Internet Institucional. Disponível em: <<http://sinir.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

SMA – SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. Resolução SMA nº 45, de 24 de junho de 2015. Define as diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós-consumo (...). *Diário Oficial* [do] Estado de São Paulo. Poder Exec., São Paulo, 25 jun. 2015.

SOEDA, S. Linhas Gerais sobre a Reciclagem de REEE no Japão. In: *Implantação do Projeto Descarte ON*. São Paulo. 2016.

TAMESADA, N. E-waste Management Mechanism under the Small Home Appliances Recycling Act in Japan. In: *Designing of E-waste Management Course*. Yokohama. 2019.

WITTSIEPE, J.; FOBIL, J. N.; TILL, H.; BURCHARD, G.; WILHELM, M.; FELDT, T. Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans (PCDD/Fs) and biphenyls (PCBs) in blood of informal e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Ghana, and controls. *Environment International*, v. 79, p. 65–73, 2015.

YOSHIDA, F.; YOSHIDA, H. E-waste Management in Japan: a Focus on Appliance Recycling. *Advanced Materials Research*, 878, 420–423, 2014.

11 Abordagem sistêmica na valorização de resíduos sólidos orgânicos

Julia Nagle Armendro
Ednilson Viana

INTRODUÇÃO

O gerenciamento adequado de resíduos é uma ferramenta determinante na redução de impactos ambientais, especialmente nas indústrias do setor alimentício, que encontram em seu descarte um obstáculo para a sustentabilidade (NUNES et al., 2017).

A ausência de técnicas de valorização de resíduos sólidos orgânicos (RSOs) tem efeito plural: não se trata de questão pontualmente ambiental, mas sim de um impacto capaz de atingir ecossistemas, destruindo-os ou desequilibrando-os. E essa dimensão precisa ser reconhecida institucionalmente para estabelecer soluções viáveis na gestão de resíduos, para garantir planejamento adequado de sua destinação e contribuir assim para o aprimoramento da regulação no setor (NUNES et al., 2017).

Empresas do ramo alimentício, tanto industrial quanto de serviços de alimentação e nutrição, têm nos resíduos um problema de logística e saúde pública (NUNES et al., 2017). O descarte é feito por empresas terceirizadas contratadas, que transformam nessa etapa o resíduo em rejeito. Daí a importância de analisar, dentro da perspectiva específica do ramo industrial de alimentação, a política de valorização de seus

RSOs mais adequada para torná-las empresas com moldes sustentáveis e inspirados na economia circular.

De acordo com Azevedo (2015, p. 2), esse conceito também conhecido como economia restaurativa:

(...) pressupõe a ruptura do modelo econômico linear (extrair, transformar e descartar) (...) para a implantação de um modelo no qual todos os tipos de materiais são elaborados para circular de forma eficiente e serem recolocados na produção, sem perda da qualidade. (...) A economia circular, ao determinar a possibilidade de criação de produtos de ciclos múltiplos de uso, reduz a dependência em recursos ao mesmo tempo em que elimina o desperdício.

Além da necessidade de reinserção dos resíduos no ciclo produtivo, reduzindo impactos ambientais com estratégias da economia circular, o cenário também se mostra saturado por estratégias já aplicadas como: a ausência de espaço para aterramento de resíduos, o risco de poluição da água e solo de locais adjacentes pelo lixiviado e a emissão de gases estufa no processo de incineração. Esses são exemplos representativos da ineficiência das soluções atuais para redução de resíduos. Portanto, a reutilização desses para atividade economicamente viável e sustentável tem sido uma pauta com manifestação do interesse do setor industrial (FOSTER; ROBERTO; IGARI, 2016).

Nesse aspecto, a compostagem e a biodigestão ganharam espaço nas pautas de sustentabilidade como técnicas economicamente viáveis, por terem como resultado a redução de desperdício da matéria orgânica que a princípio se tornaria rejeito e por gerarem subprodutos que quando reaproveitados ou comercializados trazem, respectivamente, economia ou lucratividade.

As variadas formas de valorização de RSOs ganharam maior destaque e importância a partir de 2010, quando após anos de tramitação, passou a vigorar a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Beltrame (2018) discute a definição da responsabilidade compartilhada da destinação de resíduos, na qual cada fonte geradora passa a ter oficialmente sua responsabilidade definida e consciência sobre os possíveis impactos do uso e disposição final daquilo que produzem ou consomem: comerciantes, fabricantes, importadores, distribuidores, cidadãos, setor privado e órgãos governamentais.

No ramo industrial, empresas que fizeram diagnósticos detalhados em seu processo produtivo identificaram etapas geradoras de resíduos passíveis de valorização e a executam. Toda (2016) analisa a destinação da borra de café na indústria cafeeira: dados da ABIC do ano de 2014 contabilizam cerca de 1 milhão de sacas de 60kg de grãos de café utilizados na produção de café solúvel no ano, gerando 43 mil T de borra de café úmida naquele ano. O aumento do número de pesquisas no setor de valorização traz a borra como resíduo utilizável em compostagem, jardinagem, produção de cogumelos, produção de biogás e queima em caldeiras para produção de energia.

Além dessas estratégias convencionais de valorização, uma nova metodologia de extração de óleo da borra de café através de solventes surge como uma alternativa para sua utilização como matéria prima na indústria alimentícia, tendo aplicações como emulsificantes e dispersantes por exemplo, e na indústria farmacêutica, para a qual são úteis seus compostos bioativos e suas funções antioxidantes (TODA, 2016).

Outra descoberta também relacionada à indústria cafeeira é a transformação da borra do café em etanol. Toda (2016) cita um estudo efetuado por Choi et al. (2012) em que após: pré tratar a borra de café com pressões de 0,49 a 1,96 MPa por 10 minutos e posteriormente expô-la à pressão atmosférica, com uma fermentação subsequente com *Saccharomyces cerevisiae*, houve rendimento de 87,2 % (baseado no conteúdo de açúcares) e uma concentração de etanol de 15,3 g/L.

Nota-se a quantidade de opções de valorização que surgiram com avanço das pesquisas e com a elevação da preocupação das indústrias com a questão ambiental, e além do setor cafeeiro, o setor da agroindústria também encontrou possibilidades de grande impacto na busca da sustentabilidade.

Suzuki (2019) traz em dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) de 2017 a importância do agronegócio na economia brasileira: 23,5% do PIB do país, a maior participação nos últimos 13 anos com os maiores geradores de resíduos agrícolas, dentre eles estão, além da cana-de-açúcar, milho, mandioca, trigo e arroz, as frutas cítricas. O Brasil é responsável por mais de 34% da produção mundial de laranja, e a produção de seu suco gera um resíduo que, por conta de sua fermentação, gera poluição de solos e cursos d'água (SUZUKI, 2019).

Apesar disso, esse resíduo possui grande viabilidade de valorização, podendo ser reinserido em cadeias produtivas como matéria prima na indústria de cosméticos, alimentos, fertilizantes e medicamentos, devido à presença de compostos presentes na casca da laranja. O uso em biorrefinarias, segundo dados da Tetra Pak de 2018, indicam que 1000 T de laranja rendem 500 T de suco que resultam em 43 T de pectina, 40 L de etanol de grande viabilidade energética e 9 L de limoeno, que é matéria prima para a indústria farmacêutica, utilizado em medicamentos com ação antioxidante e antimicrobiana; pode ser utilizado como oxidante, aromatizante, espessante, gelificante, entre outras funções na indústria alimentícia (SUZUKI, 2019).

E não só a casca da laranja representa a redução de impactos ambientais no que diz respeito à contaminação do solo e água adjacentes, o setor sucroenergético também tem na vinhaça um resíduo de grande utilidade sustentável cujo descarte deve ser erradicado nos processos produtivos. Nakashima (2018) traz sua principal metodologia de reaproveitamento que é a utilização na fertirrigação, isto é, uso como fertilizante na irrigação de lavouras, no entanto por sua quantidade concentrada de minerais há limite de uso para evitar saturação do solo.

Considerando os impactos da técnica supracitada, novas vertentes surgiram no âmbito da pesquisa científica: uma delas é a digestão anaeróbia. O processo tem diversas vantagens, entre elas manter seu potencial fertilizante mesmo após o efeito de redução da concentração da matéria orgânica e neutralização do pH, além da possibilidade da produção de biogás ser uma alternativa no uso interno de diesel e outros combustíveis com potencial poluente da indústria sucroenergética. Além disso, a biodigestão da vinhaça possui papel importante na redução do consumo de energia da produção de etanol da cana-de-açúcar, garantindo sustentabilidade no processo, aumentando, de acordo com dados citados por Nakashima (2018), de 9 a 30% a eficiência exergética do processo quando comparado ao sistema convencional.

A PNRS traz a biodigestão e a compostagem como alternativas para a reciclagem de resíduos quando estabelece que os aterros sanitários devem ser utilizados apenas para rejeitos. Por outro lado, um processo acelerado de urbanização, desenvolvimento tecnológico e atividades industriais mantêm esse cenário exposto a uma geração incessante

de grandes volumes de resíduos sólidos sem descarte e destinação adequados (BELTRAME, 2018).

Nesse sentido, pergunta-se: qual a melhor alternativa entre ambas as técnicas para o setor industrial? Gueri, Souza e Kuczman (2018) destacam que a digestão anaeróbia tem maior relevância no que diz respeito à valorização da matéria orgânica, uma vez que promove sua mineralização e ao mesmo tempo gera a produção de biogás, tornando-se viável energeticamente e garantindo ainda o potencial fertilizante do digerido.

O processo de digestão anaeróbia consiste na atuação simbiótica de bactérias de três grupos: fermentativas ou acidogênicas, sintróficas ou acetogênicas e micro-organismos metanogênicos que operam em quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (GUERI; SOUZA; KUCZMAN, 2018).

Além da ação dos micro-organismos, outros parâmetros naturais são fundamentais na eficiência do processo:

- Temperatura: ideal em 30 a 40°, isto é, mesofílico. Isso porque no arranjo termofílico, apesar da maior taxa de conversão de sólidos em biogás, o digerido tem baixa qualidade para reaproveitamento como fertilizante;
- pH: Ideal entre 6,3 a 7,9, fora desse intervalo os microrganismos presentes na fase da metanogênese não se desenvolvem prejudicando o processo;
- Alcalinidade: 1000 a 5000. Ideal para neutralização da acidez de alguns resíduos orgânicos;
- Relação Acidez/ Alcalinidade: 0,1 a 0,5. Valores superiores indicam acúmulo de ácidos nos reatores. Portanto, o valor ideal entre o intervalo mencionado indica estabilidade do arranjo;
- Relação Carbono Nitrogênio: 20 a 30. Valores superiores reduzem a eficiência da produção de metano;
- Carga Orgânica: 0,4 a 6,4 para sistemas mesofílicos e 1,0 a 7,5 para sistemas termofílicos. Carga orgânica em altos níveis resultam na inibição dos micro-organismos;

- Tempo: 9 a 95 dias. O tipo de substrato, a temperatura em que o arranjo será mantido e o tipo de digestão definirão esse indicador.

Mirmohamadsadeghi et al. (2019) mencionam a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos e o consideram como uma alternativa renovável que atenderá a crescente demanda de energia ao mesmo tempo em que não contribui para a emissão de gases estufa, reduz impactos ambientais e preserva a saúde da população como um todo. Tornar o alimento descartado pós consumo um resíduo reutilizável e capaz de gerar energia significa inserir na cadeia produtiva removendo do meio ambiente 1,3 bilhões de T anuais de alimento desperdiçado no mundo.

Trazendo essa reflexão para um cenário mais amplo da cadeia produtiva do alimento, é possível identificar uma série de etapas passíveis de intervenção e fornecedora de elementos de desperdício para a produção de energia sustentável: colheita, armazenamento, transporte, distribuição, preparação e consumo.

Mirmohamadsadeghi et al. (2019) discutem ainda a maior facilidade em transformar resíduos alimentares resultantes de processos industriais em fonte de energia, uma vez que sua composição é menos complexa e mais uniforme do que o resíduo alimentar proveniente do resíduo doméstico. Além da geração de energia elétrica, o biogás pode ter outras destinações mencionadas por Santos et al. (2018) como gás veicular, gás de cozinha e até mesmo, utilização na indústria, através da cogeração de eletricidade e calor.

Lett (2014) discute possível colapso nos sistemas econômicos e aposta na sustentabilidade como ponto de partida para o redesenho de ciclos produtivos no setor industrial e na transformação do conceito de “reduzir, reutilizar e reciclar” como a linha de frente para uma mudança profunda e duradoura, capaz de intervir em ações antrópicas reduzindo seus impactos.

O desenvolvimento industrial paralelo à acelerada urbanização marcou eras de consumismo e consequente desperdício. A ordem natural dos processos foi rompida e a exploração de recursos intensificada. Lett (2014) cita um aumento de 3 bilhões de consumidores para o ano

de 2030 gerando demanda energética, e para atendê-la, tem-se no retorno ao uso de matérias primas naturais uma condição na qual alimentar-se-á um ciclo com fontes de energia renováveis e sustentável, no qual o descarte torna-se a origem de um processo produtivo.

Fedailaine et al. (2015), reforçam a importância da aplicação desse novo caminho dentro da valorização de RSOs ao ressaltarem que o processo de digestão anaeróbia tem benefícios que permitem sua adequação, uma vez que pode ser monitorado no digestor por um longo tempo, acompanhando a evolução da biomassa, a composição do biogás e os índices de produção de metano. Nessa etapa já é possível definir o potencial do resíduo utilizado para gerar biogás.

Além da importância do processo comportar monitoramento e intervenção para melhora na eficácia de resultados, alguns parâmetros mostram melhor desempenho no processo de digestão anaeróbia, como concentração inicial de biomassa e dose de substrato e essas características são comuns entre modelos de digestores, mostrando que o processo mantém um padrão de resultado se mantidas as condições e utilizadas as mesmas matérias primas (GUERI; SOUZA; KUCZMAN, 2018).

A versatilidade de uso do biogás e seu grande potencial de produção tornam a digestão anaeróbia uma alternativa global de energia renovável. Santos et al. (2018) trazem uma comparação importante feita por diversos autores em diferentes países: i) Ferreira et al. (2009) estimularam potenciais do uso dessa modalidade de valorização em Portugal e os resultados apresentaram cenários atrativos: os aterros apresentaram um potencial de geração de 1,1 TW/h/a; ii) Moreda et al. (2016) falam de 0,162 TW/h/a como potencial elétrico mínimo no Uruguai ao considerar um processo de digestão anaeróbia feito a partir de resíduos agrícolas, estrume animal, vinhaça, e lodo do tratamento de águas residuais; o que demonstra que ainda há outras origens a serem exploradas ampliando ainda mais esse potencial. iii) Abdeslahian et al. (2016) demonstraram o grande potencial advindo do estrume de animais na Malásia contabilizando 8,27 GW/h/a.

Contextualizando esse tipo de potencial com o cenário brasileiro, estimativas oficiais do governo estabeleceram necessidade de 200 TW/h a mais de energia em 2025. Nesse sentido, a importância das leis e resoluções relacionadas a resíduos orgânicos nos país fica ainda mais evidente, ao definir o controle da liberação de resíduos nos rios, no solo e

em aterros, tornando a digestão biológica não só uma técnica viável de valorização, como também, geradora de um subproduto fertilizante (MIRMOHAMADSADEGHI et al., 2019).

A utilização de uma fonte de energia como a transformação de biogás em eletricidade no país implica na melhora do índice de tratamento de resíduos orgânicos, que é precário em algumas regiões do Brasil por conta de seu custo. Além disso, contribui para questões ambientais e de qualidade de vida da população principalmente no que diz respeito à qualidade do ar ao reduzir: o consumo de combustíveis fósseis, a emissão de dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio (MIRMOHAMADSADEGHI et al., 2019).

Diante da exposição de características positivas e da definição de que se pode assumir que o biogás é uma fonte de energia limpa e sustentável, ainda assim há um grande obstáculo para implantação do uso desse modelo no Brasil: o custo de geração de energia a partir do biogás hoje ainda é superior à tarifa de venda de energia no mercado nacional. O debate nesse ponto deixa então de ser técnico e passa a enfrentar entraves políticos e burocráticos, demonstrando a ausência de políticas públicas capazes de sustentar o investimento econômico do uso do biogás (MIRMOHAMADSADEGHI et al., 2019).

Incluindo a expansão de estruturas e regulações no setor – das quais depende também o mercado do biometano, que precisa do desenvolvimento concomitante do setor do gás natural no país – não será possível implantar um modelo benéfico para a saúde pública pois seu potencial não será posto à frente da questão econômica (MIRMOHAMADSADEGHI et al., 2019).

Santos et al. (2018) desenham o caminho: investir em novos mercados, como o mercado livre de eletricidade e microgeração – como a energia solar por exemplo, modalidade independente de geração que pode ser implantada em pequena escala para contribuir com a demanda de energia de determinado ambiente – e estimular o desenvolvimento de políticas públicas que viabilizem a implantação de modelos energéticos alternativos e conscientizem em diferentes escalas a importância da redução do consumo de energia.

A Figura 1 representa o potencial de energia do biogás produzido em aterros de diferentes regiões do Brasil, trazendo-o como uma alternativa que aproxima o país do uso de fontes renováveis de energia.

O Brasil tem dado seus primeiros passos rumo ao combate a barreiras que dificultam a redução do uso de combustíveis fósseis. E, consideráveis passos ao estimular a temática através de, por exemplo, a criação de programas como Renovabio, PROBIOGÁS e da criação da Associação Brasileira de Biogás e Metano, importantes linhas de frente na defesa da implantação e benefícios do uso da modalidade (SANTOS et al., 2018).

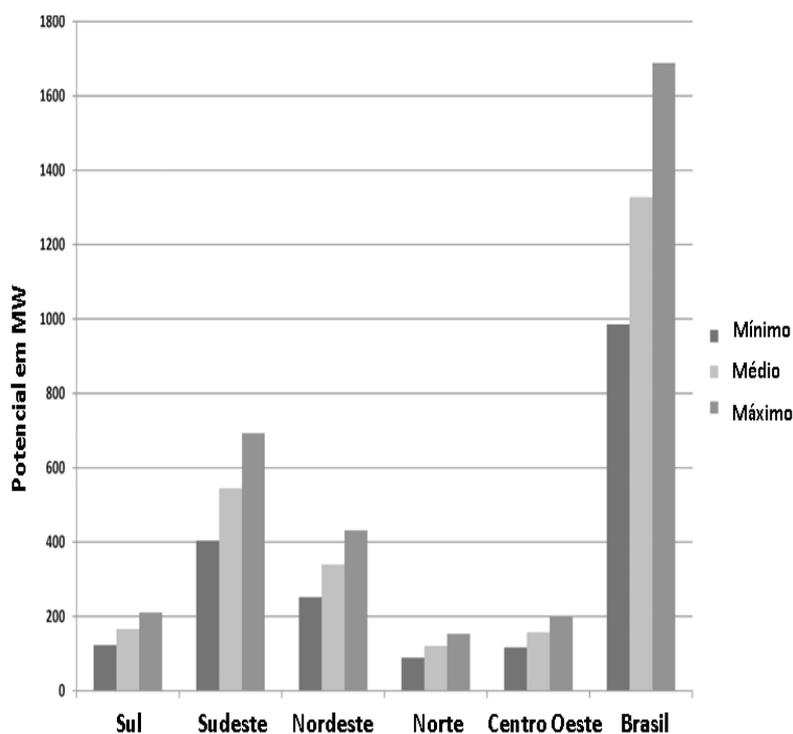


Figura 1 - Energia potencial do biogás produzido em aterros sanitários em várias regiões do Brasil.

Fonte: Santos et al. (2018)

Em termos de desempenho ambiental e econômico, a digestão anaeróbia se destaca quando o assunto é o tratamento biológico de RSOs, no entanto, há ainda outra técnica embora com menor rendimento energético: a compostagem. Através de um processo aeróbio de digestão, há perda de energia no processo, o que posiciona a técnica aeróbia abaixo da anaeróbia na lista de eficiência.

Noguera (2011) define compostagem como um processo aeróbio, mesofílico, que ocorre em ambiente aberto e possui processo estático ou natural, consiste na ocorrência de uma fermentação, com a massa em decomposição em temperatura elevada, com desprendimento de gases como CO e CO₂, além de vapor de água. Em comparação com o processo anaeróbio, exige maior tempo de estabilização e que o material seja constantemente revolvido para melhor eficiência do processo.

Algumas variáveis também exigem preparo e acompanhamento para garantir bons resultados, e esse ponto já discutido, surge novamente por se tratar de processos naturais, passíveis de sofrerem reações e ações de micro-organismos. Essas variáveis referem-se a: temperatura, aeração, umidade e relação carbono nitrogênio – e aqui, enquadra-se a variedade de matéria orgânica utilizada e sua composição (NOGUERA, 2011).

Os entraves enfrentados na aplicação da técnica de compostagem também estão no pré tratamento de resíduos. Não há atualmente no Brasil uma cultura de separação de resíduos e rejeitos, o que torna a matéria prima que pode ser utilizada nas técnicas de valorização de resíduos contaminada por impurezas. O cenário ideal seria a execução em todo o território de coleta seletiva, a fim de que a separação de resíduos fosse efetuada por cada responsável pela geração de resíduos e coletada da maneira correta, e não precisassem passar por processamentos de separação posteriores que não são totalmente eficientes na etapa de triagem e resultam em um composto com traços de plástico, vidros e até mesmo metais pesados como chumbo e cromo. Tem-se então um material com potencial contaminante e sem potencial agrícola (NOGUERA, 2011).

Siqueira e Abreu (2016) destacam falhas no processo que tornam a compostagem e sua disseminação prejudicadas e trazem o foco das coletas seletivas em resíduos inertes como um ponto de atenção diante da realidade enfrentada no Brasil. Nos países de alta renda, o volume

de resíduos inertes é de fato maior, por isso têm maior número de campanhas e ações que visem sua destinação. No entanto, nos países de baixa renda o maior volume de resíduo gerado é o resíduo orgânico e a ausência de educação ambiental torna ineficiente o uso de políticas como o uso de coletores coloridos, uma vez que não há orientação da forma correta de descarte desses resíduos nesses recipientes.

A exemplo cita-se o coletor de coloração cinza que é destinado a “Não recicláveis”, nele são descartados os resíduos orgânicos, porém misturados a plásticos, papéis, metais e materiais não recicláveis, como espumas, acrílico, papéis higiênicos, papéis toalha, pilhas, louças; que inviabilizam a utilização da matéria orgânica por contaminá-la ou por não permitir que o processo de triagem e separação seja feito de forma eficiente, uma vez que a umidade do composto o torna homogêneo (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Porém, não só a compostagem necessita de ajustes, Panigrahi e Dubey (2019) dialogam com a necessidade de aperfeiçoar estratégias e ressaltam a importância das condições de pré tratamento, que necessitam de correções a fim de reduzir seus custos, a exemplo a execução de co-digestão para melhorar a capacidade de produção de metano. Isso porque ainda que sejam poucos os desafios associados ao processo de digestão anaeróbia, por ser um processo natural, possui período longo de estabilização da matéria orgânica, além da necessidade de controlar variáveis como a formação de compostos tóxicos ou de compostos inibitórios que intervenham na ação de micro-organismos e enzimas, daí a importância de investir estudos e esforços nas técnicas de pré tratamento.

Abad et al. (2019) complementam a importância do pré tratamento ao discutir variedade de fontes de resíduo. O fato do processo de digestão anaeróbia ser efetuado com base em uma diversidade de matéria orgânica traz o benefício de lidarmos com uma gama maior de nutrientes, de diferentes fontes e por consequência com diferentes composições, contribuindo assim para um diverso ecossistema microbiano capaz de garantir com maior facilidade um meio equilibrado para ação de micro-organismos. Essa é uma forma de contornar a existência de substâncias tóxicas ou compostos inibitórios e possibilitar o favorecimento de um teor ideal de umidade.

Outra possibilidade de intervenção para melhoria da eficiência de um sistema de biodigestão está atrelado ao uso da mistura de substratos, uma vez que a digestão única pode conter metais pesados ou outros materiais impróprios que podem excluir o potencial bioenergético do sistema. Daí o ponto abordado anteriormente sobre as vantagens de ter-se uma diversidade de nutrientes, para garantir equilíbrio de composição e agir sinergicamente na produção eficiente de energia limpa (FEDAILAINE et al., 2015).

Diante dos benefícios e entraves citados nos processos de digestão anaeróbia e compostagem é possível definir, através das características dos resíduos orgânicos, seu volume de geração e a infraestrutura de reciclagem do município qual a forma mais adequada de valorização a ser aplicada.

Okonkwo, Onokpite e Onokwai, (2018) em sua revisão discutem que entre os processos aeróbio e anaeróbio, a digestão anaeróbia trata os resíduos e obtém biogás, isto é, trata resíduos orgânicos para torná-los mais estáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente, além de fornecer energia, tendo assim um efeito duplamente positivo.

Abad et al. (2019) consideram também a produção de biogás o processo de produção de energia renovável mais viável e eficiente economicamente, ressaltando a produção final de compostos fertilizantes. É possível entender nesse ponto que há uma concordância na literatura com relação ao encaixe dessa tecnologia de produção de energia nos moldes da economia circular. Isto é, consiste em um processo de produção de energia limpa e renovável, sustentável por reduzir a deposição de resíduos em aterros sanitários, que contribuirá para a redução da emissão de gases estufa e utilizará como ponto de partida a matéria orgânica. A Figura 2 ilustra os principais benefícios ambientais associados ao uso da digestão anaeróbia.

Haverá destinação para resíduos que hoje provém do consumo alimentar ou do ciclo produtivo de alimentos, possibilitando assim sua reinserção na cadeia produtiva, reduzindo a gama de itens que compõem a listagem de rejeitos, incorporando-os e transformando-os em resíduo e contribuindo para o não esgotamento de recursos naturais que vêm sendo explorados em demasia para suprir demandas de consumo excessivas (ABAD et al., 2016).



Figura 2 - Benefícios ambientais da digestão anaeróbia no estado sólido da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

Fonte: Panigrahi e Dubey, (2019).

O pré tratamento de resíduos e seus custos são fatores importantes na avaliação da viabilidade da digestão anaeróbia. Lidar com uma matéria prima de origem natural implica em interações entre substratos, atuação de micro-organismos e, portanto, estão sujeitas a instabilidades que necessitam ser controladas (ABAD et al., 2019).

Santos et al. (2018) expõem que apesar do bom desenvolvimento de pesquisa associado à produção de biogás, é fundamental que haja a otimização de processos, fatores ambientais e operacionais, capazes de

aperfeiçoar as estratégias e garantir máxima eficiência nos resultados e nas definições de necessidades para implantação

Abad et al. (2019) tratam do custo do tratamento de resíduos elencando quais pontos precisam ser melhor avaliados para que o processo tenha um custo atrativo: impostos sobre tratamento de resíduos, venda de eletricidade, venda de composto e materiais recuperados, mão de obra, operação da planta – aqui entram consumo de eletricidade, manutenção da estrutura, limpeza e transporte e descarte de materiais rejeitados.

Além disso, a eficiência do processo também gera custos ao entendermos qual o potencial de geração de biogás do resíduo utilizado, se há materiais não biodegradáveis misturados a esse resíduo, efetuar a separação mecânica, transportar e descartar esse material, além do desperdício do produto final, o biogás produzido na planta. Afinal existe um processo de purificação a ser realizado e do volume restante e não se pode considerar 100% de transformação em eletricidade e calor. Tem-se no gerenciamento de materiais rejeitados o mais alto custo dentro da valorização de resíduos orgânicos através da produção de biogás (FE-DAILAINE et al., 2015).

De Clercq, Zongguo e Qingbin, (2019) debatem a importância do fornecimento de inteligência em tecnologias emergentes. Soluções novas precisam não só mostrarem-se positivas em termos de eficiência, mas também viáveis em termos de implantação e manutenção em comparação com as tecnologias utilizadas no momento.

Resultados obtidos em escala de testes, em mensurações feitas em pilotos, demonstram bons benefícios e redução drástica de impactos ambientais ao considerar-se a digestão anaeróbia em comparativo com incineração ou uso de combustíveis fósseis como a gasolina por exemplo. No entanto, De Clercq Zongguo e Qingbin, (2019) demonstram que existe grande dificuldade em generalizar os resultados e garantir que sejam próprios para aplicação industrial, inviabilizando também um planejamento no setor político da implantação de uma tecnologia como essa.

As escalas produtivas desenvolveram-se sobre uma base em que cada etapa do processo se debruça sobre excessos, desde a extração – e aqui fala-se da exploração de recursos naturais e da geração de impactos

ambientais para obtenção de matéria-prima -, até a produção em grandes volumes, e o conseqüente descarte de resíduos decorrente deste modelo produtivo. No entanto, o desenvolvimento industrial e tecnológico e os níveis de consumo superam e muito a disponibilidade de recursos naturais, e as projeções futuras indicam a urgência do uso de novas fontes de energia (LEITÃO, 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto a biodigestão como a compostagem são processos naturais capazes de dar viabilidade à destinação de matéria orgânica em condições seguras para a saúde humana e de forma controlada e planejada. Tecnologias de valorização são capazes de gerar benefícios, o primeiro deles é que, ao serem reaproveitados, estão sendo retirados do ciclo dos resíduos.

Essa retirada tem impacto mais amplo, prevenindo a contaminação de águas e solos e podendo ser destinados para o suprimento da demanda energética da população, que vem crescendo e tem perspectivas bastante preocupantes; podem ainda gerar subprodutos com viés comercial, na produção de fertilizantes orgânicos, condicionadores de solo, protegendo-os da erosão, evitando perda de nutrientes e reduzindo a utilização de fertilizantes minerais - cuja produção causa sérios impactos ambientais -, melhorando assim a qualidade do alimento que chega à mesa do brasileiro.

Com esse tipo de tecnologia, o resto de uma refeição que vai do prato ao lixo é tratado, transformado e volta para a casa do cidadão na forma de eletricidade que alimenta a geladeira ou o fogão elétrico, ou na forma de gás para uso no preparo das próximas refeições. Outro caminho seria sob a forma de fertilizante, e através de seus nutrientes levar à um novo alimento, fortalecendo a cadeia produtiva e sendo parte da luta no combate à fome.

O passo inicial portanto, é iniciar a conscientização de cada agente de transformação capaz de contribuir para a implantação desse novo hábito: os cidadãos, a comunidade, as associações, micro e pequenas empresas, organizações não governamentais, escolas, universidades, comércio e indústria, cada gerador precisar ter consciência de seus

resíduos e do potencial que possuem, além de transformar o futuro do planeta e as relações de consumo.

A indústria alimentícia gera resíduos orgânicos com vasta composição e por isso, podem ser fontes geradoras de grandes riquezas se valorizados através de tecnologias cujo propósito é tornar os processos produtivos sustentáveis, dentre as quais estão a compostagem e a digestão anaeróbia. Esses dois processos têm papel fundamental na introdução de moldes da economia circular e da sustentabilidade no setor industrial alimentício e, principalmente através da digestão anaeróbia, será possível garantir destinação adequada do resíduo, gerando produtos com alta rentabilidade.

A importância da gestão de resíduos industriais do setor alimentício é indispensável para garantir a gestão adequada em todo o ambiente urbano. Com a definição de responsabilidades – desde o cidadão até o grande gerador -, a ampliação das pesquisas e surgimentos de novas tecnologias no âmbito da valorização de resíduos orgânicos e o reconhecimento de todos os produtos da digestão anaeróbia, que são bastante rentáveis, os processos produtivos estarão cada vez mais próximos de serem totalmente sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABAD, V; AVILA, R; VICENT, T; FONT, X. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. *Bioresource Technology*, v. 283, p. 10-17, July, 2019.

Azevedo, J. L. A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. *XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão*. 2015. Disponível em: <http://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_036M.pdf> Acesso em: 05 dez. 2019.

BELTRAME, F. A. *Valorização de resíduos sólidos orgânicos para grandes geradores: avaliação da viabilidade técnica de equipamentos compactos*. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade),

Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

DE CLERCQ, D.; ZONGGUO, W.; QINGBIN, S. Innovation hotspots in food waste treatment, biogas, and anaerobic digestion technology: A natural language processing approach. *Science of The Total Environment*, v. 673, p. 402-413, 10 July 2019.

FEDAILAINE M.; MOUSSI, K.; KHITOUS, M.; ABADA, S.; SABER M; TIRICHINE, N. Modeling of the Anaerobic Digestion of Organic Waste for Biogas Production. *Procedia Computer Science*, v. 52, p. 730-737, 2015.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. Engema – *Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. Universidade de São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/115.pdf>> Acesso em: 05 dez. 2019.

GUERI, M. D; SOUZA, S. N. M DE; KUCZMAN, O. Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2018.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, v. 1, n. 2, September 2015.

LETT, L. A. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular Global threats, waste recycling and the circular economy concept. *Revista Argentina de Microbiología*, v. 46, issue 1, p. 1-2. January–March 2014.

MIRMOHAMADSADEGHI, S.; KEIKHOSRO, K.; MEISAM, T.; MORTAZA, A. Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, v. 7, September, 2019, 100202.

NAKASHIMA, R. N. *Avaliação exergética da geração e uso do biogás no setor sucroenergético*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

NOGUERA, J. O. C. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental REGET-CT/UFMS*. v. 3, n. 3, p. 316 - 325, 2011.

NUNES, B. B. S.; XAVIER, A. A. DE P.; KOVALESKI, J. L.; MICHALOSKI, A. O.; OLIVEIRA, K. A. Estão de Resíduos na Indústria Alimentícia no Brasil: Uma Revisão de Literatura das metodologias aplicadas. *VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*, 2017.

OKONKWO, U. C.; ONOKPITE, E.; ONOKWAI, A. O. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. *Journal of King Saud University - Engineering Science*, v. 30, issue 2, p. 123-129, April 2018.

PANIGRAHI S.; DUBEY, B. K. A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable Energy*, v. 143, p. 779-797, December 2019.

SANTOS, I. F. S. DOS; VIEIRA, N. D. B; NÓBREGA, L. G. B. DE; BARROS, R. M.; FILHO, G. L.T. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 131, p. 54-63, April 2018.

SIQUEIRA, T. M. O. DE; ABREU, M. J. DE. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. *Cienc. Cult.*, v.68, n. 4, São Paulo, Oct./Dec. 2016.

SUZUKI, L. L. *Análise Técnico-Econômica e Ambiental de processos de valorização do resíduo da indústria do suco de laranja*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

TODA, T. A. *Minimização de resíduos do processamento do café solúvel através do reaproveitamento da borra para extração de óleo utilizando solvente renovável*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

12 Avaliação do esgotamento sanitário na ótica da sustentabilidade

Rafael Doñate Avila

Tadeu Fabrício Malheiros

INTRODUÇÃO

Atualmente no mundo, 4% dos moradores das cidades (150 milhões) não têm acesso à água potável e 18% (700 milhões) não usufruem dos benefícios do saneamento básico e, considerando não apenas as áreas urbanas, 9% da população (650 milhões) não têm acesso à água potável e 32% (2,3 bilhões) não usufruem os benefícios do saneamento (WHO/UNICEF, 2015). No Brasil, o índice de coleta de esgoto nas áreas urbanas é de apenas 58%, enquanto que o índice de tratamento é de somente 41%, fruto do descompasso histórico entre a urbanização e a implementação do saneamento (SNSA, 2016).

Diante desse cenário, em 2010 foi firmado um pacto global visando reduzir a pobreza em torno dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), cuja meta 7.3 envolvia reduzir pela metade, até 2015, a proporção da população sem acesso permanente e sustentável à água potável segura e ao esgotamento sanitário. A meta relacionada à água foi atingida cinco anos antes do prazo, mas a relativa aos esgotos não foi alcançada por quase 700 milhões de pessoas (UN, 2015a). Três anos depois, com o encerramento do ciclo dos ODM, foram lançados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que traçaram a ambiciosa meta 6.2 de alcançar o acesso ao saneamento e higiene adequados e equitativos para todos até 2030 (UN, 2015b).

A não universalização da coleta e tratamento de esgoto gera desafios imensos ao desenvolvimento sustentável. Investimentos em água, saneamento e higiene pode minimizar os casos de doenças de veiculação hídrica,

aumentar a longevidade da população e evitar 800.000 mortes anualmente, no mundo (PRÜSS-USTÜN et al., 2016). Traria também benefícios econômicos, aumentando em 1,5% o PIB global, com a maior produtividade dos funcionários, e minimizando os gastos no sistema de saúde, visto que se estima um retorno de 4,3 dólares para cada dólar investido em saneamento (WHO, 2014). Do ponto de vista ambiental, implicaria na preservação dos ecossistemas aquáticos com a manutenção dos serviços ecossistêmicos, tal como a produção de água e o sequestro de carbono (WWAP, 2016).

DESENVOLVIMENTO

Tendo em vista a estreita inter-relação entre o esgotamento sanitário (ES) e o desenvolvimento sustentável, o presente capítulo propõe uma avaliação desse serviço à luz da sustentabilidade, de modo a potencializar os impactos positivos da expansão desse serviço tão precário no Brasil. Discutindo o ES sob a ótica dos princípios avaliação de sustentabilidade de Gibson (2006), será proposta uma matriz de dez indicadores que permita planejar esse setor à luz da origem e das consequências das questões socioambientais, segundo o modelo DPSIR (*“Drivers-Pressures-State-Impacts-Responses”*). Por fim, de modo a evitar que a aplicação desta matriz negligencie os princípios que pautaram o seu desenvolvimento, a sua utilização será avaliada à luz dos princípios de Bellagio de sustentabilidade (PINTÉR, 2012), detalhados mais adiante.

O estreito relacionamento que o saneamento, em especial o ES, possui com o tripé da sustentabilidade (temáticas ambiental, social e econômica) exige que o mesmo seja monitorado e avaliado à luz de princípios sustentáveis. Segundo Gibson (2006), o processo de avaliação deve não apenas abordar os requisitos essenciais da sustentabilidade, mas também forçar um pensamento entre seus três pilares, atentando-se às preocupações que são frequentemente negligenciadas. Esse autor efetuou uma ampla revisão das principais características da sustentabilidade propostas em áreas como ecologia, planejamento urbano e regional, democracia participativa, gestão empresarial e economia ecológica, propondo oito princípios que valorizam a inter-relação entre temas e que compõem um núcleo mínimo de requisitos a serem abordados em iniciativas de sustentabilidade.

Na sequência são indicados os oito princípios de sustentabilidade propostos por Gibson (2006) acompanhados por diversos questionamentos elaborados pelos presentes autores, que incentivam uma avaliação do ES à luz dos princípios propostos por Gibson (2006), que por possuírem uma abordagem multitemática que transpassam o tripé da sustentabilidade, permitem ter uma visão de questões comumente negligenciadas no processo de tomada de decisão.

1. Integridade do sistema socioecológico

- O ES interfere negativamente na qualidade de vida e de lazer da população, assim como respeita as normas de saúde pública?
- O ES proporciona a preservação dos recursos hídricos e da biota a ela associada, assim como respeita as normas ambientais?

2. Recursos suficientes para subsistência e acesso a oportunidades

- O ES compromete as famílias, em termos sociais, econômicos e culturais?
- O ES compromete o desenvolvimento local e regional?

3. Equidade intrageracional

- O ES foi implantado de forma desigual, nos territórios dos diversos grupos sociais?
- A poluição causada pelo ES afeta desigualmente os grupos sociais?
- Como o ES afeta os diversos grupos de risco (crianças, idosos, grávidas etc.)?

4. Equidade intergeracional

- Como o ES afetará a qualidade de vida e oportunidades das gerações futuras?
- O planejamento e a implantação do ES consideram o processo de expansão urbana?

5. *Manutenção de recursos naturais e eficiência*

- O ES almeja o aumento da eficiência dos índices de coleta e de tratamento?
- O ES busca minimizar os impactos sociais, ambientais e econômicos decorrentes?
- A implantação e operação do ES são sustentáveis em termos financeiros?

6. *Civilidade socioambiental e governança democrática*

- Há transparência na divulgação das informações e impactos do ES?
- A população é envolvida nas discussões referentes ao ES?
- Há ações de educação e conscientização em relação aos benefícios do ES?

7. *Precaução e adaptação*

- Há programas de minimização e gerenciamento de risco de ocorrência de falhas no ES?
- O ES possui resiliência a alterações sociais, econômicas e ambientais?

8. *Integração entre situação atual e de longo prazo*

- O ES vem promovendo a preservação dos recursos ambientais, o respeito social e o crescimento econômico?
- O ES é pensado considerando e respeitando as políticas públicas sociais e econômicas das diversas esferas de governo?

A ausência de informações sistematizadas que permitam responder aos questionamentos realizados dificulta a aplicação efetiva do conceito de sustentabilidade sobre o serviço de ES. Informações confiáveis e objetivas sobre a situação dos recursos hídricos são muitas vezes escassas, deficientes e, até mesmo, indisponíveis (WWAP, 2015). Menos

de um terço dos países efetua a análise e a utilização da informação disponível na tomada de decisão, visando à alocação de recursos no setor de saneamento (WHO, 2014). A maioria das decisões no setor não é baseada em evidências “devido à difundida falta de capacidade de monitoramento, coleta de dados inconsistente ou fragmentada e limitado uso de sistemas de gerenciamento de informação e análises” (WHO, 2014, p. ix). O excesso de informações também é um problema: “O mundo é muito complexo para lidar com todas as informações disponíveis. Precisamos escolher um pequeno e significativo conjunto de indicadores para compreendê-lo” (MEADOWS, 1998, p. 10), que condensam e sistematizam as informações.

Tabela 1 - Indicadores do sistema de esgotamento sanitário, propostos com base na matriz DPSIR

| | |
|-----------------------------------|--|
| Força motriz ("driving force") | <ul style="list-style-type: none"> • Crescimento populacional (% ao ano) • Crescimento econômico (% ao ano) |
| Pressão ("pressure") | <ul style="list-style-type: none"> • Carga remanescente de DBO (tDBO/dia) |
| Estado ("state") | <ul style="list-style-type: none"> • Qualidade do corpo d'água (mgOD/L) • Salubridade do corpo d'água (NMP coliformes/100mL) |
| Impacto ("impact") | <ul style="list-style-type: none"> • Incidência de doenças de veiculação hídrica (por 10 mil habitantes) • Perdas econômicas devido à falta de esgotamento sanitário (R\$/ano) • Índice de diluição do esgoto não tratado (%) |
| Resposta ("response") | <ul style="list-style-type: none"> • Índice de esgoto coletado em relação ao gerado (%) • Índice de esgoto tratado em relação ao gerado (%) |

Na década de 1990, a Agência Ambiental Europeia propôs a matriz DPSIR para proposição de sistemas de indicadores. A denominação dessa matriz resulta do acrônimo de “driving force” (força motriz), “pressure” (pressão), “state” (estado), “impact” (impacto) e “response” (resposta). Ao identificar indicadores em cada uma dessas categorias, torna-

se útil para a descrição da correlação entre a origem e as consequências dos problemas ambientais, sendo amplamente aceita e frequentemente utilizada na elaboração de indicadores interdisciplinares e na conceituação de sistemas e modelos (SVARSTAD et. al, 2007). Esse conjunto de indicadores possibilita avaliar o desenvolvimento sustentável, permitindo observar e monitorar o desenvolvimento em relação ao ambiente; o impacto e as consequências do desenvolvimento sobre os recursos naturais, funções ecológicas e sociedade; e a inter-relação entre os diversos diferentes fatores de desenvolvimento (WINOGRAD; FARRO, 1999). Com base nessa matriz, são propostos dez indicadores para avaliar o ES à luz da sustentabilidade (Tabela 1).

Os indicadores de força motriz permitem identificar as forças socioeconômicas e socioculturais que pautam as atividades humanas que aumentam as pressões. Nessa linha, o crescimento populacional repercute, especialmente, na geração doméstica e pública de esgoto, e o crescimento econômico reflete, principalmente, na produção de esgotos de origem comercial e industrial. Esses indicadores predizem a maior geração de esgoto, e são amplamente utilizados e calculados periodicamente para diversas esferas territoriais, pelos órgãos de estatísticas como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e, em São Paulo, pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), para avaliação do crescimento demográfico e econômico.

Os indicadores de pressão indicam as pressões das atividades humanas sobre o ambiente. A carga remanescente de DBO, ou seja, a carga orgânica despejada *in natura* nos corpos d'água, já é adotada pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), no Estado de São Paulo, para mensurar o estresse em termos qualitativos que os efluentes não tratados submetem os corpos hídricos, uma vez que o aumento de matéria orgânica implica na depleção de oxigênio dissolvido e os nutrientes presentes nos esgotos podem levar à eutrofização dos corpos d'água. Esse indicador não é calculado a partir de medições dos efluentes produzidos, mas sim, facilmente calculado a partir do número de habitantes que não possuem os seus esgotos tratados.

Indicadores de estado permitem avaliar a situação do ambiente. A qualidade ambiental dos corpos d'água está relacionada ao teor de oxigênio dissolvido, um fator essencial à vida aquática e que coíbe a

presença de bactérias anaeróbias, fonte de mau odor decorrente da degradação anaeróbia da matéria orgânica. Já, a salubridade do corpo d'água, ou seja, o risco à saúde pública pode ser avaliado por meio da concentração de coliformes termotolerantes na água, que indicam a contaminação fecal e o potencial para transmitir doenças. Ao passo que o primeiro indicador é essencial ao enquadramento dos corpos d'água, o segundo define a balneabilidade e a potabilidade das águas. Ambos indicadores podem ser mensurados em campo, assim como é possível, a partir de modelagem matemática, verificar como o próprio ambiente depura essa poluição e restabelece suas condições originais.

Indicadores de impacto identificam os impactos atuantes na mudança de estado e encontram-se no cerne da discussão sobre o desenvolvimento sustentável, visto que indicam como tudo (ambiente) e todos (social e economicamente) são afetados. Devem guiar a tomada de decisão, especialmente no que se refere ao sistema de ES, considerando-se os seus impactos no tripé da sustentabilidade. Socialmente o impacto pode ser verificado a partir da incidência das doenças de veiculação hídrica, enquanto que, economicamente, pela estimativa de perdas econômicas decorrentes do ES incompleto, tais como baixo rendimento e afastamento de trabalhadores afetados por doenças de veiculação hídrica, assim como com gastos com seu tratamento. Já, do ponto de vista ambiental, se propõe utilizar o índice de diluição do esgoto não tratado, que será abordado adiante.

Os indicadores de resposta refletem como respondemos aos impactos de modo a mitigá-los. No ES, a minimização dos impactos só é possível com a ampliação do sistema existente, proporcionando a redução dos despejos *in natura* de esgoto nos corpos d'água. Os dois indicadores propostos permitem monitorar deficiências na coleta e no tratamento de ES, por meio dos respectivos índices, assim como deficiências no afastamento (da rede coletora até o tratamento), por meio da diferença entre os dois índices. Observa-se que ambos os índices são muito utilizados pelas concessionárias de saneamento e compõem o rol de indicadores operacionais de esgoto do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS).

Um indicador de sustentabilidade incorpora as dimensões temporal, limite e meta aos indicadores tradicionais, sendo idealmente expressos em termos de unidade temporal, risco/meta limite ou capacidade suporte (MEADOWS, 1998). Sendo que essa última pode ser entendida como “a capacidade dos ambientes de acomodar, assimilar e incorporar um conjunto de atividades antrópicas, sem que suas funções naturais sejam fundamentalmente alteradas em termos de produtividade primária” (FILET, 1995, p. 73.). O índice de diluição de esgoto apoia-se nessa ideia e, ao relacionar um indicador de pressão (a vazão de esgoto não tratada lançada nos corpos d’água) com um de estado (a vazão superficial dos corpos d’água), avalia o impacto socioambiental decorrente da não universalização do ES, subsidiando a tomada de decisão (resposta), uma vez que a poluição das águas pode ser evitada “desde que a quantidade produzida desses efluentes não se torne superior à ‘capacidade assimiladora’ dos corpos d’água receptores” (MACHADO, 1999, p. 126). Esse indicador apresenta ainda amparo legal na Resolução CONAMA Nº 430/2011 (CONAMA, 2011) que, por exemplo, veda o lançamento de efluentes que venham conferir ao corpo receptor características de qualidade em desacordo com o seu enquadramento. Em termos gerais, os padrões uniformes de oxigênio dissolvido, matéria orgânica e coliforme fecal, tanto dos cursos d’água não poluídos como do esgoto sanitário, podem permitir uma avaliação do impacto ambiental, assim como do risco à saúde pública, a partir da avaliação de uma informação simples, tal como a relação entre as vazões de esgoto e do corpo d’água.

Após a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento de 1992, tentou-se desenvolver sistemas de indicadores sobre as facetas sociais, econômicas e ambientais do desenvolvimento sustentável e, em 1997, um grupo de especialistas publicou os Princípios de Bellagio, que se tornou referência para a avaliação desse processo. Com o passar dos anos tornou-se necessária uma atualização e, assim, uma nova versão desses princípios foi divulgada em 2011: visão orientadora, considerações essenciais, escopo adequado, estrutura e indicadores, transparência, comunicação efetiva, ampla participação e continuidade e capacidade (PINTÉR, 2012).

Na sequência, a matriz de 10 indicadores propostos é avaliada e discutida à luz desses princípios, de modo a contribuir com a aplicação desta matriz, pela ótica dos princípios sob os quais ela foi construída:

- *Visão orientadora*: a matriz pauta a tomada de decisão em uma visão holística, devendo ser aplicada no planejamento estratégico do serviço e não se circunscrevendo ao planejamento operacional ou à avaliação ambiental.
- *Considerações essenciais*: inter-relaciona aspectos sociais, ambientais e econômicos que estão intrinsecamente relacionados ao ES, avaliando o tripé da sustentabilidade sob uma base comum.
- *Escopo adequado*: a matriz deve ser aplicada preferencialmente em termos de bacia hidrográfica, visto que ao ser utilizada em circunscrições administrativas perde-se o caráter de avaliação do corpo d'água da bacia. Não se trata de uma avaliação esporádica, devendo ser aplicada periodicamente para fins de avaliação do progresso.
- *Estrutura e indicadores*: a matriz contém indicadores que permitem comparação e que são, em sua maioria, padronizados e amplamente aceitos e utilizados, com exceção dos indicadores de impacto, ainda pouco difundidos no Brasil.
- *Transparência*: muitos dados necessários ao cálculo dos indicadores possuem livre divulgação nos órgãos públicos sociais, econômicos, ambientais e de saneamento, além de instituições de pesquisa, facilitando a aplicação da matriz. Recomenda-se a publicidade dos resultados da matriz de indicadores, assim como das especificidades metodológicas adotadas.
- *Comunicação efetiva*: deve-se privilegiar uma divulgação clara e de fácil interpretação da matriz, preferencialmente adotando ferramentas visuais que facilite a comunicação.
- *Ampla participação*: a legitimidade e a relevância da avaliação são maiores quando contempla uma discussão pública, desde o princípio da avaliação, e que assimile as contribuições da sociedade.

- *Continuidade e capacidade*: a avaliação do progresso envolve a aplicação periódica da matriz acompanhada de financiamento que permita um aperfeiçoamento contínuo.

CONCLUSÃO

Foi aqui comentado que o serviço de ES possui repercussões em todo o tripé da sustentabilidade e, portanto, deve ser pensado sob a ótica da sustentabilidade, considerando as implicações ambientais, sociais e econômicas de modo a minimizar os impactos negativos e potencializar os positivos. A precariedade desse serviço e a gigantesca demanda por investimentos ratificam este novo paradigma. A matriz de dez indicadores propostos visa subsidiar a realização desta avaliação à luz da correlação entre a origem e consequências dos problemas socioambientais, ressaltando-se que a aplicação da matriz também não deve ocorrer de forma tradicional, mas sim à luz dos princípios da sustentabilidade. Almeja-se que o exposto contribua com uma expansão do sistema de ES, privilegiando as áreas com maior premência, com intensa degradação ambiental e alto risco à saúde pública.

REFERÊNCIAS

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA N° 410, de 13 de maio de 2009. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução N° 357/2005 e no art. 3° da Resolução N° 397/ 2008. *Diário Oficial da União*, Brasília, 5 mai. 2009, p. 106. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

FILET, M. Análise de capacidade de suporte ambiental. In: TAUKTORNISIELO, S. M. (Org.). *Análise ambiental: estratégias e ações*. São Paulo: T.A. Queiroz, 1995, p. 73-76.

GIBSON, R. B. Beyond the pillars: sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological

consideration in significant decision-making. *Journal of Environmental Policy and Management*, v. 8, n. 3 p. 259-280, September 2006.

MACHADO, P. J. E. Capacidade, suporte e sustentabilidade ambiental. *Revista Geosul* (Universidade Federal de Santa Catarina), Florianópolis, v. 14, n. 27, jan./jun. 1999, p. 122-127. Disponível em: < periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/18847 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

MEADOWS, D. H.; *Indicators and Information Systems for Sustainable Development*. Hartland: The Sustainability Institute: 1998. Disponível em: < http://www.iisd.org/pdf/s_ind_2.pdf >. Acesso em: 19 dez. 2016.

PINTÉR, L. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. *Indicators of environmental sustainability: From concept to applications*, v. 17, p. 20-28, June 2012.

SNSA - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL (Ministério das Cidades). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2014*. Brasília: SNSA/MCIDADES; 2016. Disponível em: < www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

SVARSTAD, H.; PETERSEN, L. K.; ROTHMAN, D.; SIEPEL, H.; WATZOLD, F. Discursive biases of the environmental research framework DPSIR. *Land Use Policy*, v. 25, Issue 1, p. 116-125, January 2008.

UN - UNITED NATIONS. *The Millennium Development Goals Report 2015*. New York: United Nations; 2015a. Disponível em: < [www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20\(July%201\).pdf](http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf) >. Acesso em: 19 dez. 2016.

_____. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Resolution 70/1 adopted on 25 September 2015. New York: United Nations; 2015b. Disponível em: < www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E >. Acesso em: 19 dez. 2016.

PRÜSS-USTÜN, A; WOLF, J.; CARVALÁN R.; NEIRA, M. *Preventing Disease through Healthy Environments: A Global Assessment of the Burden of Disease from Environmental Risk*. Geneva: World Health Organization; 2016. Disponível em: < apps.who.int/iris/bitstream/10665/204585/1/9789241565196_eng.pdf?ua=1 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Investing in Water and Sanitation: Increasing Access, Reducing Inequalities. UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking-Water GLAAS 2014 Report*. Geneva: World Health Organization; 2014. Disponível em: < apps.who.int/iris/bitstream/10665/139735/1/9789241508087_eng.pdf?ua=1 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION; UNICEF - UNITED NATIONS CHILDREN'S EMERGENCY FUND. *Progress on Sanitation and Drinking Water - 2015 update and MDG assessment*. Geneva: World Health Organization, 2015. Disponível em: < apps.who.int/iris/bitstream/10665/177752/1/9789241509145_eng.pdf?ua=1 >. Acesso em: 19 dez. 2016.

WINOGRAD, M.; FARROW, A. Sustainable Development Indicators for Decision Making: concepts, methods, definition and use. In. BAWA, K. S.; SEIDLER, R. (Editor). In: *Dimensions of Sustainable Development - v. 1*. Oxford: Eloss Publishers/UNESCO; 2009.

WWAP - WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World*. Paris: UNESCO; 2015. Disponível em: < unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf >. Acesso em: 19 dez. 2016.

_____. *The United Nations World Water Development Report 2016: Water and Jobs*. Paris: UNESCO; 2016. Disponível em: < unesdoc.unesco.org/images/0024/002439/243938e.pdf > Acesso em: 19 dez. 2016.

13 Avaliação da viabilidade do reúso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo

Marina Westrupp Alacon Rayis
Wanderley da Silva Paganini

INTRODUÇÃO

As civilizações antigas, desde os tempos remotos, foram construídas em torno de corpos d'água e costas marítimas. A água foi um elemento vital para todas as culturas e objeto de veneração e temor (PITTMAN; GRECO, 2005). Tomasoni, Pinto e Silva (2009) afirmam que a água é componente essencial para a vida humana e para a dinâmica dos sistemas ambientais, determinando as características dos ecossistemas, do potencial humano e econômico a ser manejado sob as mais diversas condições ambientais de sua oferta, gerando, portanto, tensões e conflitos de interesses em todo o mundo.

A classificação adotada pela Organização das Nações Unidas define quatro níveis para a disponibilidade hídrica (BRASIL, 2005):

- 1) Abundante: acima de 20.000 metros cúbicos por habitante por ano;
- 2) Correta: 2.500 a 20.000 metros cúbicos por habitante por ano;
- 3) Pobre: 1.500 a 2.500 metros cúbicos por habitante por ano;

- 4) Crítica: inferior a 1.500 metros cúbicos por habitante por ano.

O Brasil está enquadrado no nível “abundante” em relação à classificação de disponibilidade hídrica, com 35.000 m³ de oferta de água por habitante por ano. Para o estado de São Paulo, o índice cai para 2.209 m³/hab/ano, sendo classificado como “Pobre”. Esse índice diminui ainda mais quando se considera a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, que concentra em torno de 20 milhões de habitantes: são 200 m³/hab/ano, sendo classificada como “Crítica”.

Na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê está inserido 99% do território da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a qual possui uma população de 20.935.204 habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014). O Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (FUSP, 2009) revela que o consumo total de água desta bacia excede, em muito, sua própria produção hídrica. Em 2009, a produção de água para abastecimento público representava aproximadamente 68 m³/s, dos quais 31 m³/s eram importados da Bacia do Rio Piracicaba e 2 m³/s eram provenientes de outras reversões menores.

No início deste século, Hespanhol (2002) ressaltava que a prática da reversão de bacias tendia a se tornar cada vez mais restritiva, frente à conscientização popular, presença efetiva de entidades de classe e desenvolvimento de comitês de bacias hidrográficas afetadas pela perda desse recurso valioso.

Dos fatores que conduziram diversas regiões do mundo à situação crítica de abastecimento de água, incluem-se a limitação da oferta nas cercanias das populações, descuido com os mananciais levando à sua degradação, assoreamento dos rios devido ao desmatamento, práticas agrícolas inadequadas e crescimento desordenado das populações em conglomerados urbanos.

Além desses, as perspectivas acerca das mudanças climáticas indicam tendências de aumento dos eventos climáticos extremos. Na RMSP, cujo território coincide 99% com a Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, durante os anos de 2014 e 2015 ocorreu um período de estiagem que originou a denominada “crise hídrica”. Esse extenso período, marcado pelos baixíssimos níveis de água nos reservatórios que abastecem a RMSP, fragilizou o sistema de abastecimento de água da região como

um todo e agravou a baixa disponibilidade hídrica previamente existente. Outra consequência, foi o aumento da exploração das águas subterrâneas para abastecimento público.

Para enfrentar a escassez hídrica, diversos países recorrem a tecnologias de dessalinização, reúso de água, exploração de aquíferos, derretimento de geleiras, dentre outros, com objetivo de abastecer a população e suas atividades. O reúso de água, por exemplo, é amplamente utilizado em todo o mundo, porém, no Brasil, é pouco empregado e se mostra avançando lentamente, seja pela falta de incentivo, por questões culturais, pela falsa sensação de abundância de água, ou mesmo pela regulamentação recente.

A intenção do reúso da água é aumentar o suprimento desse recurso e gerenciar nutrientes no efluente tratado. Seus benefícios incluem a melhoria da produção agrícola, redução do consumo de energia associado à produção, tratamento e distribuição de água, e outros benefícios ambientais significativos, como a redução da carga de nutrientes nas águas receptoras devido à reutilização das águas residuais tratadas (USEPA, 2012).

Diante do cenário apresentado e dentre as tecnologias de reúso de água, a recarga artificial de aquíferos com efluente tratado se mostra interessante e pode ter seu espaço no Brasil. Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), a recarga de aquíferos com efluentes tratados apresenta diversas vantagens, pois possui capacidade de armazenamento para variações sazonais de oferta e demanda. Levando em conta a sazonalidade, essa técnica pode se encaixar na necessidade existente na RMSP para enfrentamento de eventos climáticos extremos, armazenando água quando há muita oferta e abastecendo a população quando a oferta convencional for baixa (USEPA, 1999).

Hespanhol (2004) complementa afirmando que, quando essa técnica for adequadamente regulamentada e praticada no Brasil, trará benefícios e representará uma nova dimensão para a disposição de efluentes domésticos. Além de contribuir para o aumento da disponibilidade de água, essa técnica, ainda se mostra eficiente na proteção de aquíferos costeiros contra salinização, controle de subsidência de solos e sustentação de níveis de aquíferos freáticos submetidos a condições inadequadas de demanda.

OBJETIVOS

O estudo que embasa este capítulo tem por objetivo avaliar a viabilidade do reúso da água produzida nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) da RMSP para fins de recarga de aquíferos, a partir da adoção de requisitos de qualidade para essa aplicação. Pretende-se: i) apresentar estudo de casos internacionais em locais onde é utilizada a tecnologia de recarga de aquífero com efluentes tratados, visando avaliar a replicabilidade da tecnologia; ii) indicar requisitos adotados de qualidade do efluente tratado necessários para a recarga do aquífero; e iii) apresentar avaliação de custos gerais da operação de sistemas de recarga de aquífero com efluente tratado na RMSP.

METODOLOGIA

Para elaboração do estudo, recorreu-se à pesquisa exploratória, com levantamento bibliográfico e estudos de caso. Para o alcance dos resultados desejados, foram utilizados dados secundários obtidos nas pesquisas realizadas.

Ainda que o objetivo do estudo tenha sido verificar o potencial de adoção desta tecnologia, são necessários estudos mais aprofundados para análise de uma possível execução. Cabe ressaltar que a recarga de aquíferos sempre deve ocorrer em solo geologicamente conhecido.

Serão analisados casos de diversos países, o que naturalmente traz as distintas realidades de cada um deles. Portanto, nem sempre a realização de comparativos pode ser viável, o que é uma limitação do estudo.

O estudo será apresentado em três etapas:

Etapa 1: Pesquisa e adoção de requisitos mínimos de qualidade do efluente tratado para recarga em aquíferos

Nesta etapa, recorreu-se primeiramente à seleção dos casos a serem estudados. Realizou-se o levantamento da literatura internacional em livros, artigos científicos, periódicos, revistas técnicas e bancos de dados técnicos, com objetivo de selecionar plantas de tratamento de esgotos nas quais se realiza a recarga de aquíferos. O critério de seleção foi a disponibilidade de dados na literatura consultada. Assim, foram

selecionadas para estudo as plantas: Shafdan (Israel), Sabadell (Espanha), Adelaide (Austrália) e Atlantis (África do Sul).

Para essas plantas, foram estudados os processos de tratamento vigentes e levantadas as características qualitativas dos efluentes tratados, considerando as seguintes variáveis: vazão de recarga (m^3/ano), sólidos suspensos (mg/L), carbono orgânico dissolvido (mg/L), DBO (mg/L), fósforo total (mg/L), nitrato (mg/L), *Escherichia coli* (UFC/100 mL), coliformes totais (UFC/100 mL), manganês (mg/L) e condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Especificamente com relação ao nitrato, alerta-se que esse foi o parâmetro encontrado em literatura, porém é imprescindível a análise completa do ciclo do nitrogênio para garantir que não haja potencial para formação de nitratos ao longo do tempo. Varnier e Hirata (2002) afirmam que o nitrato é potencialmente causador de metahemoglobine-mia e câncer, quando em concentrações elevadas.

Paralelamente, foi realizada a análise da legislação nacional vigente sobre o assunto. No Brasil, as diretrizes para recarga artificial de aquíferos são estabelecidas pela Resolução CNRH n. 153, de 17 de dezembro de 2013. Essa norma define métodos permitidos para recarga e proíbe a recarga em áreas com histórico de contaminação de solo, além de definir os objetivos da recarga artificial de aquíferos, todavia não define padrões de qualidade da água para a recarga, apenas estabelecendo que essa atividade, se realizada, não poderá causar alteração da qualidade das águas subterrâneas que venha a restringir seus usos preponderantes.

Por isso, com o objetivo de adotar limites de qualidade numéricos para o efluente de recarga de aquífero, foram levantados os requisitos de qualidade da água exigidos por legislações e regulamentações internacionais, publicadas pelos Estados Unidos (USEPA) e pela Espanha.

Nos EUA, o manual técnico da USEPA (2012), intitulado *Guidelines for Water Reuse*, em seu Capítulo 4, estabelece uma coletânea das regulamentações estaduais sobre o reúso de água. O Estado da Flórida apresenta a maior gama de parâmetros, e por isso foi selecionado para a análise comparativa. Cabe ressaltar que, neste caso, estão sendo utilizados dados para recarga de aquíferos com finalidade de uso não potável.

A legislação espanhola, por meio do Decreto Real 1620/2007, estabelece requisitos mínimos para recarga em duas diferentes condições: i) infiltração localizada através do solo; e ii) injeção direta no aquífero. Como nos casos estudados o método de recarga utilizado é a infiltração do efluente no solo, optou-se por utilizar os requisitos da primeira condição trazida por esta regulamentação. Para os valores de carbono orgânico total e DBO, esses parâmetros foram buscados nos requisitos para efluentes tratados estabelecidos pelo Decreto Real 509/1996.

Os dados levantados das legislações consideraram as seguintes variáveis: sólidos suspensos (mg/L), carbono orgânico dissolvido (mg/L), DBO (mg/L), nitrato (mg/L), *Escherichia coli* (UFC/100 mL). Com base nessas informações, foram adotados os requisitos mínimos necessários para a recarga de aquíferos com efluente tratado, correspondentes aos valores menos restritivos encontrados para cada parâmetro avaliado.

Etapa 2: Análise da replicabilidade da tecnologia de recarga de aquíferos com água de reúso

Com base nos requisitos para recarga definidos e adotados, foi realizada avaliação comparativa em quatro cenários distintos, considerando: i) legislação vigente na RMSP; ii) efluente secundário de ETEs da RMSP; iii) características da água de reúso produzida para fins urbanos em ETES da RMSP; e iv) água de reúso produzida em uma Estação Produtora de Água de Reúso da RMSP.

O primeiro cenário teve por base a legislação na qual estão submetidas as ETEs da RMSP. O efluente tratado nessas ETEs deve obedecer aos padrões estabelecidos no Decreto Estadual n. 8.468/76, assim os requisitos preconizados serviram como base de comparação aos padrões de recarga definidos neste estudo.

No cenário dois, o mesmo método foi empregado, utilizando-se as características do efluente secundário de uma das ETEs da RMSP. Esses dados foram obtidos a partir de uma apresentação de Gomes e Oliveira (2016).

O terceiro cenário trata das características da água de reúso produzida para fins urbanos em algumas ETEs da RMSP. Para tanto, foi caracterizado o tratamento realizado pela concessionária local em suas

ETEs para produzir a água de reúso. Para realizar a avaliação comparativa, foram utilizadas informações sobre os requisitos de qualidade da água de reúso praticados nas ETEs da RMSP, que se encontravam disponibilizados em meio eletrônico, pela concessionária.

O último cenário comparativo adotou dados da água de reúso produzida na Estação Produtora de Água de Reúso Aquapolo, localizada na RMSP, a qual representa a melhor tecnologia de produção de água de reúso disponível na área de estudo.

Considerando-se cada um dos parâmetros individualmente, foi estabelecida uma escala dual de classificação. Para essa escala, adotou-se o seguinte critério: quando os valores observados para o efluente tratado e para a água de reúso produzida nas ETEs da RMSP atenderem aos requisitos mínimos para recarga de aquíferos, o parâmetro será classificado como "ATENDE", ou seja, está em conformidade com o limite adotado. Caso contrário, será dada a classificação "NÃO ATENDE".

O efluente tratado e a água de reúso produzida serão considerados adequados para a utilização em recarga de aquíferos quando obtiverem a classificação "ATENDE" para todos os parâmetros avaliados e quando obedecerem aos requisitos mínimos do nível de tratamento adequado para realização da recarga.

Etapa 3: Levantamento de custos

Para a obtenção dos custos da operação de um sistema de tratamento e recarga de aquíferos, foram primeiramente levantados os custos de produção de água de reúso na RMSP, publicados no Plano Diretor de Esgotos - PDE da RMSP (SABESP, 2010). O PDE realiza uma estimativa de custos, resultando em valores indicativos de custos para produção de água de reúso, considerando-se níveis de tratamento diferenciados.

Ao longo deste estudo, verificou-se que os requisitos de qualidade da água de reúso em função da sua aplicação exigem uma sequência básica de tratamento comum, com exceção da necessidade de implantar, no caso do reúso para fins industriais, um sistema de desnitrificação nas ETEs. Foram consideradas no presente estudo, por estas razões, duas premissas básicas para obtenção dos custos, a implantação de: i) um sistema de desnitrificação; ou ii) um sistema de clarificação seguido de desinfecção para produção de água de reúso.

Para avaliar os custos de implantação do tratamento do efluente para a prática da recarga de aquíferos, adotou-se o valor em dólar por metro cúbico (US\$/m³) de água de reúso produzida com desnitrificação. Esse valor representa o custo do tratamento para obtenção de um efluente com qualidade suficiente para recarga de aquífero, de acordo com os requisitos adotados no presente estudo.

Com o objetivo de estimar um valor global para o sistema de tratamento e recarga de aquíferos, buscou-se os valores de recarga, em US\$/m³ de água infiltrada no aquífero, para a planta de Shafdan. Optou-se por essa planta por ser a maior entre as estudadas e possuir mais estudos que dão consistência ao valor utilizado. Os custos obtidos para este sistema representam os custos de armazenamento, transporte, operação e manutenção deste sistema de recarga de aquíferos.

O valor em US\$ por metro cúbico de água de reúso produzida e infiltrada foi obtido pela soma dos valores referentes ao tratamento, armazenamento, transporte, operação e manutenção.

RESULTADOS

Requisitos mínimos de qualidade do efluente tratado para recarga em aquíferos

A partir dos estudos das plantas de Shafdan (Israel), Atlantis (África do Sul), Sabadell (Espanha) e Adelaide (Austrália), foram levantados dados obtidos sobre o processo de tratamento em operação em cada uma dessas plantas.

Observa-se que, em todos os estudos de caso considerados, o processo comum obrigatório para a recarga é a remoção de nitrogênio, independentemente da técnica utilizada para tal, sendo, portanto, um dos requisitos mínimos para recarga.

Os requisitos mínimos qualitativos do efluente tratado para recarga de aquíferos, foram adotados, a partir da consolidação dos limites estabelecidos nas legislações nos Estados Unidos e da Espanha pertinentes ao assunto, considerando o valor menos restritivo para cada parâmetro. Sendo assim, foram adotados os seguintes limites: 35,0 mg/L para Sólidos Suspensos; 125,0 mg/L para Carbono Orgânico Dissolvido; 25,0 mg/L de DBO_{5,20}; 25,0 mg/L de Nitrato; e 1,0 x 10³ UFC/100mL de *E. Coli*.

Análise da replicabilidade da tecnologia de recarga de aquíferos com água de reúso

O estudo comparativo entre os quatro cenários definidos e o requisito mínimo de tratamento de efluentes para recarga de aquíferos, por parâmetro considerado, assim como a classificação com relação ao atendimento aos requisitos mínimos para recarga adotados, são apresentados na Tabela 1. A tabela traz ainda, o resultado da avaliação geral para cada cenário, com indicação das condições de atendimento aos critérios normativos.

Tabela 1 - Comparativo entre os quatro cenários estudados e os requisitos adotados para recarga de aquíferos, por parâmetros de interesse e classificação

| Parâmetro | Requisito mínimo para recarga | Cenário 1: Decreto 8.468/76 | | Cenário 2: Efluente secundário ETE | | Cenário 3: Água de reúso em nível secundário | | Cenário 4: Água de Reúso Aquapolo | |
|------------------------------------|---|---|-------------------------|---|-------------------------|--|-------------------------|---|-------------------------|
| | | Resultados | Classificação | Resultados | Classificação | Resultados | Classificação | Resultados | Classificação |
| Sólidos suspensos (mg/L) | ≤ 35,0 | ND ⁽¹⁾ | Não é possível analisar | 40,0 | NAO ATENDE | ≤ 35,0 | ATENDE | < 5,0 | ATENDE |
| Carbono orgânico dissolvido (mg/L) | ≤ 125,0 | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar |
| DBO (mg/L) | ≤ 25,0 | < 60,0 | NAO ATENDE | 30,0 | NAO ATENDE | ≤ 25,0 | ATENDE | 10,0 | ATENDE |
| Nitrato (mg/L) | ≤ 25,0 | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar |
| E. Coli (UFC/100 mL) | ≤ 1,0 x 10 ² | ND | Não é possível analisar | ND | Não é possível analisar | ≤ 200 | ATENDE | ND | Não é possível analisar |
| Tratamento | No mínimo terciário com remoção de nutrientes | Não especifica níveis de tratamento | Não é possível analisar | Secundário | NAO ATENDE | Secundário | NAO ATENDE | Terciário com remoção de nutrientes e osmose reversa | ATENDE |
| Avaliação geral | | Não atende ao requisito adotado para DBO. Quanto ao tratamento, não estabelece nenhum nível e não define limites para presença de nutrientes. | | Não atende aos requisitos adotados para Sólidos Suspensos e DBO. Quanto ao tratamento, não atende ao requisito mínimo do tratamento em nível terciário. | | Atende aos requisitos adotados para Sólidos Suspensos, DBO e E. Coli. Quanto ao tratamento, não atende ao requisito mínimo do tratamento em nível terciário. | | Atende aos requisitos adotados para Sólidos Suspensos e DBO. Quanto ao tratamento, atende ao requisito mínimo do tratamento em nível terciário. | |

¹ Não disponível.

Fonte: extraído de Rayis (2018).

Com relação aos requisitos de tratamento, foi determinado com base nos estudos de caso das plantas de Shafdan (Israel), Atlantis (África do Sul), Sabadell (Espanha) e Adelaide (Austrália), que a etapa de remoção de nitrogênio deve ser exigida para recarga de aquíferos e, portanto, este é o requisito mínimo para possibilitar a recarga. Deve-se dar a devida atenção às concentrações de nitrogênio e suas formas durante todo o seu ciclo, dado o potencial de formação de nitrato, elemento potencialmente causador de doenças como o câncer, quando em concentrações elevadas.

Levantamento de custos

O Plano Diretor de Esgotos da RMSP (SABESP, 2010) realizou estudo completo dos custos da água de reúso produzida, considerando diversas tecnologias, com valores em dólar por metro cúbico. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Os valores de produção de água de reúso, considerando o menor e o maior padrão de qualidade, variam entre US\$ 0,28/m³ a US\$ 0,93/m³.

O valor de cobrança de água de reúso para fins urbanos, praticado em 2017, na RMSP, corresponde a US\$ 0,27/m³ para empresas públicas e US\$ 0,46/m³ para empresas privadas, segundo dado obtido junto a um representante do corpo técnico da Companhia Estadual de Saneamento. Esses valores de referência estão próximos aos valores mais baixos de custo de produção de água de reúso apresentados no Plano Diretor de Esgotos da RMSP. Observa-se que esta água de reúso não é tratada em nível terciário.

Verificam-se dois cenários disponíveis na tabela de custos, com e sem desnitrificação. Ambas as situações são aplicáveis à água de reúso produzida na RMSP, conforme tecnologias para produção de água de reúso para fins urbanos (sem desnitrificação) e para fins industriais (com desnitrificação). Como a realização do tratamento terciário (desnitrificação) é requisito para recarga de aquíferos, será avaliado o custo contemplando esta restrição, que eleva os custos.

Outro critério utilizado, foi considerar que a desinfecção será efetivada por meio da aplicação de cloro (pós-cloração), por ser a forma utilizada nas ETES da RMSP.

Tabela 2 - Custo de produção de água de reúso, por tecnologia de tratamento empregada e qualidade do efluente final

| Tipo de Água de Reúso | Custo por Tecnologia de Tratamento (US\$/m ³) | | | | | | Custo Total de Produção (US\$/m ³) |
|--|---|--|--|---|---------------------------------|------------------------------------|--|
| | Desnitrificação ⁽¹⁾ | Filtração direta e desinfecção com cloro | Clarificação pelo sistema convencional e desinfecção com cloro | Clarificação por Membranas e desinfecção com cloro ⁽¹⁾ | Clarificação por Microfiltração | Desinfecção prévia com Radiação UV | |
| Água de reúso clarificada sem desnitrificação prévia | --x-- | 0,28 | --x-- | --x-- | --x-- | --x-- | 0,28 |
| | | 0,28 | --x-- | --x-- | --x-- | 0,01 | 0,29 |
| | | --x-- | 0,35 | --x-- | --x-- | --x-- | 0,35 |
| | | --x-- | 0,35 | --x-- | --x-- | 0,01 | 0,36 |
| | | --x-- | --x-- | 0,49 | --x-- | --x-- | 0,49 |
| | | --x-- | --x-- | --x-- | 0,28 | --x-- | 0,28 |
| Água de reúso clarificada com desnitrificação prévia | 0,44 | 0,28 | --x-- | --x-- | --x-- | --x-- | 0,72 |
| | | 0,28 | --x-- | --x-- | --x-- | 0,01 | 0,73 |
| | | --x-- | 0,35 | --x-- | --x-- | --x-- | 0,79 |
| | | --x-- | 0,35 | --x-- | --x-- | 0,01 | 0,80 |
| | | --x-- | --x-- | 0,49 | --x-- | --x-- | 0,93 |
| | | --x-- | --x-- | --x-- | 0,28 | --x-- | 0,72 |

(1) Considerado custo resultante para a amortização do investimento, em período de cinco anos.

Fonte: adaptado de SABESP (2010)

A partir dessas premissas adotadas e dentro das opções de tecnologias disponíveis na Tabela 2, estão incluídas: filtração direta, clarificação pelo sistema convencional e clarificação por membranas. Para a água de reúso produzida na planta do Aquapolo, que produz água de reúso de acordo com as exigências para a recarga de aquíferos, utilizou-se o valor para clarificação por membranas, tratamento em operação no

local. Sendo assim, o valor adotado para o custo de produção da água de reúso para recarga de aquífero foi US\$ 0,93/m³.

Em relação aos valores de recarga, com base na experiência de ETE de Shafdan, descrita por Kazner, Wintgens e Dillon (2012), os custos típicos de um sistema de recarga de aquíferos realizado por sistema de tratamento solo-aquífero, excluindo os custos de armazenamento e transporte, giram em torno de US\$ 0,28/m³ a US\$ 0,30/m³ de água com a qual se recarrega o aquífero. Segundo a mesma fonte, os custos correspondentes de operação e manutenção ficam entre US\$ 0,12/m³ e US\$ 0,18/m³. Logo, o custo total do sistema de recarga, considerando o sistema de bombeamento, armazenamento e tubulações para os campos de infiltração é estimado entre US\$ 0,54/m³ a US\$ 0,60/m³. Além desses custos, pode haver custos adicionais para realização de pós-tratamento, dependendo do uso pretendido para a água captada do aquífero.

No caso de Shafdan, a água de reúso a ser infiltrada no aquífero é bombeada por cerca de 100 km. Para fins de comparação, considere-se que o efluente tratado nas estações da RMSP será recarregado no aquífero sem necessidade de bombeamento por longas distâncias. Também não está sendo levado em consideração o custo de implantação do sistema de recarga, que deve ser confirmado após projeto e orçamento, considerando a estrutura a ser implantada de acordo com a tecnologia de recarga a ser adotada, logística e características geológicas do local de recarga.

Adotou-se, como premissa, que o valor de operação do sistema de recarga *corresponderá aos* maiores valores pesquisados para os custos de armazenamento e transporte, operação e manutenção. Portanto, o custo da recarga será o maior valor de armazenamento e transporte com base na experiência de Shafdan (US\$ 0,30/m³), associado ao maior custo de operação e manutenção da mesma planta (US\$ 0,18/m³), totalizando US\$ 0,48/m³.

Sendo assim, o valor estimado para a água de reúso após a recarga será equivalente ao custo de produção da água de reúso, adotado com base nos valores obtidos para a RMSP na Tabela 2 (US\$ 0,93/m³), somado ao custo de operação do sistema de recarga baseado nos valores praticados na planta de Shafdan (US\$ 0,48/m³).

Nesse contexto, o custo total estimado para operação dessa tecnologia, abrangendo armazenamento, transporte, operação, manutenção e tratamento com etapa de desnitrificação resulta em US\$ 1,41/m³.

Para fins de comparação, a tarifa de água potável comercializada para consumo residencial pela Companhia que realiza o serviço de tratamento e abastecimento de água para a população da RMSP, definida em novembro de 2017 por meio do Comunicado 03/2017, é de US\$ 0,75/m³ para a faixa de menor consumo, aumentando o valor do metro cúbico quanto maior for o volume mensal consumido. Ressalta-se que nesse valor está incorporado o lucro da concessionária, portanto o custo do tratamento é mais baixo do que o valor praticado para o consumidor. Ainda assim, o valor da água potável praticada ao consumidor representa pouco mais de 50% do valor estimado para operação de sistemas de produção de água de reúso, para fins de recarga de aquíferos.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do estudo realizado, com relação à tecnologia de recarga de aquíferos com água de reúso, percebeu-se o potencial desta técnica para contribuir com a resolução de problemas, tanto de estoque de água para épocas de seca, como para reposição de volumes de aquíferos superexplorados.

Deve-se, portanto, promover a remoção do nitrogênio, por processos de nitrificação/desnitrificação em estações de tratamento de esgotos em nível secundário, ou remover o nitrogênio do efluente por meio da etapa de tratamento terciário, assim como respeitar os padrões qualitativos determinados para realizar a recarga de aquíferos. Recomenda-se avaliar outras características de qualidade da água do aquífero e a hidrogeologia local, a fim de minimizar os riscos de contaminação do aquífero a ser recarregado, conforme preconiza a legislação brasileira.

Ressalta-se, que o estudo realizado não estabeleceu limites fixos, mas sim propôs diretrizes para realização do reúso de água para recarga de aquíferos de maneira segura. Os resultados desse estudo podem servir como base para avaliações mais aprofundadas sobre o assunto, envolvendo estudos em campo, com coletas de dados primários sobre as

características do solo, da água do aquífero e da água de reúso para recarga do aquífero. A partir desses estudos *in loco* será possível estabelecer padrões para a recarga de aquíferos, com base em dados práticos, considerando as diversas variáveis que esse assunto compreende.

Uma limitante é a baixa disponibilidade de dados, tanto das ETes dos casos internacionais, como das ETes da RMSP o que restringe a quantidade de parâmetros passíveis de avaliação e o estabelecimento de limites para uma quantidade maior de parâmetros, o que poderia conferir maior robustez à análise realizada ao longo do estudo.

Conclui-se que o efluente tratado em nível secundário nas ETes estudadas da RMSP, não cumpre os requisitos mínimos de qualidade com finalidade de recarga de aquíferos. Por esse motivo, não é recomendável se realizar recarga de aquíferos com o efluente dessas ETes. A legislação vigente e aplicável a essas ETes também não exige tratamento do efluente em nível terciário, nem mesmo limita a concentração de nutrientes presentes no efluente final, necessitando ser aprimorada.

A água de reúso tratada em nível secundário nas ETes da RMSP para usos urbanos, atendeu aos requisitos para os parâmetros DBO, Sólidos Suspensos e Coliformes Termotolerantes adotados neste trabalho para recarga de aquíferos. No entanto, a ausência de dados referentes a Carbono Orgânico Dissolvido e Nitrato não permite recomendar o reúso para recarga de aquíferos. Além disso, conforme mencionado, esta água de reúso não é submetida a tratamento terciário com remoção de nitrogênio, requisito adotado como mandatório para que se realize a recarga de aquíferos.

Na RMSP, a planta do Aquapolo possui tratamento terciário, suficiente para a realização da recarga de aquíferos, principalmente por cumprir a etapa mandatória de remoção de nitrogênio, por meio de processos de nitrificação e desnitrificação. A água de reúso produzida nesta planta atende aos requisitos para os parâmetros DBO e Sólidos Suspensos adotados nesta pesquisa para recarga de aquíferos. Apesar de ser provável o atendimento a todos os requisitos adotados como premissa para recarga, novamente, não é possível recomendar a recarga de aquíferos com esta água de reúso sem o detalhamento dos dados de Carbono Orgânico Dissolvido, Nitrato e E. Coli.

Em relação a custos, percebe-se que o valor da água potável vigente representa pouco mais de 50% do valor obtido para a tecnologia

proposta nesse trabalho. Conforme apresentado e tratado como um fator limitador desta técnica, o custo da produção de água de reúso e da recarga de aquíferos é de fato mais alto em comparação à produção de água potável utilizando tratamentos convencionais.

A abordagem utilizada para obtenção de valores comparativos pode ser replicada e abranger outros países, sempre com a ressalva mencionada sobre as diferenças locais. Por exemplo, o custo de mão-de-obra em um país pode ser extremamente maior que em outro, a energia elétrica para operar o sistema também possui grandes variações de valores entre países, dentre outras inúmeras peculiaridades.

Apesar disso, mesmo que o reúso de água para recarga de aquíferos apresente um valor consideravelmente maior com relação a água potável produzida por tratamentos convencionais, o estudo procurou trazer o questionamento do verdadeiro valor da água em situações de extrema seca. Em diversas regiões do mundo, há tempos se adotam técnicas como a recarga de aquíferos, justamente por conta da escassez desse recurso. Nesses locais, se paga valores extremamente altos pela água por conta de sua baixa disponibilidade.

Situações de escassez hídrica são cada vez mais frequentes frente às mudanças climáticas e o aumento da população. Conforme visto, na RMSF a tecnologia para produção de água de reúso está disponível e em operação no Aquapolo, que trata o efluente da ETE ABC com tecnologia suficiente para alcançar padrões exigidos para a recarga de aquíferos.

Logo, é importante o planejamento e a adoção de técnicas de reaproveitamento de um recurso natural que vem se tornando cada vez mais escasso frente à baixa disponibilidade deste. A recarga de aquíferos com efluentes tratados se mostra como uma oportunidade diante do cenário de escassez hídrica e, mesmo à primeira vista mais onerosa, representa tecnologia viável para obtenção de água para diversos usos em situações em que o valor da água transcende às questões de custo e viabilidade técnica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. *Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, 2005.

134 p. (Caderno de Recursos Hídricos). Disponível em: <[http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF DisponibilidadeDemanda.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2016.

FUSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (Org.). *Plano da bacia hidrográfica do Alto Tietê*. São Paulo: FUSP, 2009. 60 p. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7111/pat_sumario_executivo.pdf>. Acesso em: 20 maio 2016.

GOMES, F.; OLIVEIRA, S. de. *Aquapolo: reúso a partir do esgoto para aplicações em indústrias petroquímicas*. São Paulo: Aquapolo, 2014.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, São Paulo, v. 7, n. 4, p.75-95, 01 out. 2002.

HESPANHOL, I. Normas anormais. *Revista DAE*, São Paulo, v. 1, n. 194, p.1-18, 01 jan. 2004. Disponível em: <<http://doi.editora-cubo.com.br/10.4322/dae.2014.001>>. Acesso em: 04 maio 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas populacionais para os municípios brasileiros em 01.07.2014*. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/default.shtm>> Acesso em: 10 jan. 2018.

KAZNER, C.; WINTGENS, T.; DILLON, P. (Ed.). *Water reclamation technologies for safe managed aquifer recharge*. Londres: IWA Publishing, 2012. 455 p.

PITERMAN, A.; GRECO, R. M. A água e seus caminhos e descaminhos entre os povos. *Revista APS*, Juiz de Fora, v. 8, n. 2, p.151-164, 01 jul. 2005.

RAYIS, M. W. A. *Avaliação da viabilidade do reúso de água para recarga de aquíferos na região metropolitana de São Paulo*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-21062018-084426/pt-br.php#referencias>>. Acesso em: 31 jan. 2019.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano Diretor de Esgotos da Região Metropolitana de São Paulo*. Consórcio Cobrape – Concremat. São Paulo: Sabesp, 2010. 9v.

TOMASONI, M. A.; PINTO, J. E. de S.; SILVA, H. P. da. A questão dos recursos hídricos e a perspectiva para o Brasil. *Geotextos*, Salvador, v. 5, n. 2, p.107-127, dez. 2009.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Aquifer recharge and aquifer storage and recovery wells: the class V underground injection control study*. Washington: USEPA, 1999. v. 23.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidelines for water reuse*. Washington: USEPA, 2012.

VARNIER, C.; HIRATA, R. *Contaminação da Água Subterrânea por Nitrato no Parque Ecológico do Tietê*. São Paulo, Brasil, 2002.

Sobre os Organizadores

Wanda Maria Risso Günther

Engenheira civil e cientista social. Especialista em Engenharia em Saúde Pública (FSP/USP) e em Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos (Faculdade de Ciências-UAM). Mestre e Doutora em Saúde Pública - área Saúde Ambiental (FSP/USP). Professora titular e pesquisadora do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública/USP. Coordenadora do Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da FSP/USP. Coordenadora do Laboratório Lab GAIS – Gestão Ambiental, Inovação e Sustentabilidade/USP.

Email: wgunther@usp.br

Arlindo Philippi Junior

Engenheiro Civil (UFSC), Sanitarista e de Segurança do Trabalho (USP), Mestre em Saúde Ambiental e Doutor em Saúde Pública (USP). Pós-Doutorado em Estudos Urbanos e Regionais (MIT-EUA). Livre-Docente em Política e Gestão Ambiental (USP). Na Capes, foi membro do Conselho Técnico Científico do Ensino Superior, membro do Conselho Superior, Coordenador da Área Interdisciplinar e da Área de Ciências Ambientais, bem como Diretor de Avaliação. Foi finalista do Prêmio Jabuti em 6 edições, tendo sido agraciado com três prêmios, com obras publicadas pela Editora Manole. Exerceu funções de direção na Cetesb (SP), no Ibama (BR) e na Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Cidade de São Paulo (SP). Atua na coordenação do Centro de Síntese USP Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da USP e do projeto "Experimentações Urbanas na Perspectiva de Novas Ideias e Soluções Sustentáveis para as Cidades". É Professor Titular do Departamento de Saúde Ambiental, tendo sido Chefe do Departamento, Presidente da Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Saúde Pública, Pró-Reitor e Adjunto de Pós-Graduação e Prefeito (Campus Capital) da USP.

Email: aphij@usp.br

Sobre os autores

Andre Hideki Higa

Arquiteto e urbanista pela Universidade de São Paulo, com especialização em Arquitetura, Educação e Sociedade na Escola da Cidade e Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade pela USP. Atua no Departamento de Infraestrutura da Universidade Federal de São Paulo como Coordenador de Planejamento e Projetos e do Núcleo de Acessibilidade e Inclusão.

Ana Paula Dominguez da Costa

Ciências Biológicas pelo Centro Universitário São Camilo com ênfase em Ciências Ambientais. Especialização em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública e em Sistemas de Gestão Integrados de Saúde, Segurança, Meio Ambiente e Responsabilidade Social pelo Centro Universitário SENAC. Mestrado em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP).

Arlindo Philippi Jr

Engenheiro Civil (UFSC), Sanitarista e de Segurança do Trabalho (USP), Mestre em Saúde Ambiental e Doutor em Saúde Pública (USP). Pós-Doutorado em Estudos Urbanos e Regionais (MIT- EUA). Livre-Docente em Política e Gestão Ambiental (USP). Na Capes, foi membro do Conselho Técnico Científico do Ensino Superior, membro do Conselho Superior, Coordenador da Área Interdisciplinar e da Área de Ciências Ambientais, bem como Diretor de Avaliação. Foi finalista do Prêmio Jabuti em 6 edições, tendo sido agraciado com três prêmios, com obras publicadas pela Editora Manole. Exerceu funções de direção na Cetesb (SP), no Ibama (BR) e na Secretaria do Verde e Meio Ambiente da Cidade de São Paulo (SP). Atua na coordenação do Centro de Síntese USP Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da USP e do projeto

"Experimentações Urbanas na Perspectiva de Novas Ideias e Soluções Sustentáveis para as Cidades". É Professor Titular do Departamento de Saúde Ambiental, tendo sido Chefe do Departamento, Presidente da Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Saúde Pública, Pró-Reitor e Adjunto de Pós-Graduação e Prefeito (Campus Capital) da USP.

Carolina Cássia Conceição Abilio

Psicóloga, Mestre pelo programa de Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP). Possui pós-graduação em Inovação, Tecnologia & Design de Serviços pela Hivelab, e certificação em projetos ágeis pela Service Design Sprints. É atualmente pesquisadora vinculada ao Centro de Estudos Sociedade e Tecnologia (CEST Poli), e ao Núcleo Interdisciplinar de Estudos em Ciências Sociais e Sustentabilidade (NIECSS FSP USP) investigando temas relacionados a sustentabilidade, tecnologia, privacidade de dados e ambientes urbanos.

Claudia Helena Leite

Arquitetura e Urbanismo pela FAU/USP; Mestre em Arquitetura pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo da EESC/USP e Especialista em Gestão Ambiental pelo Senac/SP. Atuou como analista de desenvolvimento urbano e regional na Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano - EMPLASA por mais de 30 anos, período em que, dentre outras atividades, foi Coordenadora de Meio Ambiente e Coordenadora Técnica do Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo - PDUI-RMSP.

Denis Gerage Amorim

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCT), com Mestrado em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP) e pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica (EP/USP). Tem experiência na área de Gestão Ambiental e de Segurança do Trabalho na implantação de empreendimentos de infraestrutura de transportes e em operações aquaviárias. Atualmente, exerce a

função de Chefe de Departamento na empresa DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S/A.

Ednilson Viana

Biólogo pela Unesp de S. J. Rio Preto, mestre em Ciências pelo Instituto de Física e Química de São Carlos/USP, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP, Pós doutor pela Universidade Nova de Lisboa/Portugal e Pós doutor pela University of Wisconsin/EUA, Criador e coordenador do Laboratório de Valorização de Resíduos Orgânicos da EACH/USP, professor Livre docente no curso de Gestão Ambiental da EACH/USP.

Edson Pacheco Júnior

Tecnólogo em Gestão Ambiental pela Faculdade de Tecnologia de Jundiaí (FATEC Jundiaí, 2015), Mestre em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP, 2018). Já atuou como assistente de projeto na elaboração do Inventário de Emissões e Liberações de Mercúrio no Brasil (2018-2019). Atualmente é analista na Sociéte Générale de Surveillance (SGS) e atua com projetos de Economia Circular na área de resíduos.

Fernanda Alves Cangerana Pereira

É licenciada e bacharel em Ciências Biológicas (1991); realizou aprimoramento em Análises Clínicas no Instituto Adolfo Lutz, na Seção de Hematologia (1992-1994); Especialização em Saúde Pública na área de Epidemiologia (1994); Mestrado em Saúde Pública (Saúde Ambiental); Doutorado em Saúde Pública (Saúde Ambiental) (2005); e pós-doutorado em Saúde Pública (Saúde Ambiental) (2014) na Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP). Atualmente é docente em regime de tempo integral na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo- FATEC SP e atua na linha de pesquisa "Saúde Pública e Meio Ambiente".

Flávio de Miranda Ribeiro

Engenheiro Mecânico (EPUSP) com Especialização em Análise Pluridisciplinar do Estado do Mundo (UPC- Espanha) e em Ges-

tão e Tecnologias Ambientais (PECE-USP), Mestrado em Energia (PIPGE-USP) e Doutorado em Ciências Ambientais (PRO-CAM-USP). Professor do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Direito da Universidade Católica de Santos, desde 2002 é funcionário da CETESB. Pesquisador do Grupo de Prevenção à Poluição - GP2 (Escola Politécnica -USP) e do Programa de Gestão Estratégica Socioambiental - PROGESA (FIA).

Giuliano Maselli Locosselli

Pós-doutorando no Instituto de Biociências da USP, e membro do programa USP-Cidades Globais do Instituto de Estudos Avançados da USP, utiliza anéis de árvores e cascas de árvores como ferramentas de biomonitoramento das condições ambientais nas cidades e seus efeitos na saúde dos cidadãos. Como as árvores também são ferramentas essenciais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas e à poluição do ar, ele também estuda o papel do ambiente urbano nos serviços ecossistêmicos prestados pelas árvores."

Helena Ribeiro

Bacharel em Geografia pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (1972), mestre em Geografia pela Universidade da Califórnia em Berkeley (1981) e doutorado em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (1988). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente nos seguintes temas: saúde ambiental, saúde urbana, geografia médica, poluição do ar, mudanças climáticas e educação ambiental. Ex-professora da PUC-SP. Professora do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública (USP).

Ildeberto Muniz de Almeida

Graduado em Medicina pela Universidade Federal do Espírito Santo (1980), mestrado (1996) e doutorado (2000) em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo. Atualmente é docente do Departamento de Saúde Pública da Faculdade de Medicina de Botucatu (UNESP). Tem experiência na área de Saúde Coletiva com ênfase em Saúde do Trabalhador atuando principalmente nos seguintes temas: acidentes do trabalho,

prevenção de acidentes, análise de acidentes, concepções de acidentes e saúde do trabalhador.

João Vicente de Assunção

Engenheiro Químico (FEI/PUC-SP, 1970), Engenheiro Sanitarista (USP, 1977), Mestre em ciências pela Universidade de Pittsburgh, EUA (1974); Doutor (1993) e Livre-Docente (2006) pela USP; professor da Universidade de São Paulo desde 1987, onde é atualmente Professor Titular - Colaborador Sênior; realizou consultorias *ad hoc* para Ministério do Meio Ambiente, OMS, ONU - Meio Ambiente e Banco Mundial; Pertenceu aos quadros da CETESB de 1971 a 1990.

Julia Nagle Armendro

Nutricionista pela Faculdade de Saúde Pública da USP, mestranda em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública da USP.

Leandra Antunes

Mestrado pelo Programa Ambiente, Saúde e Sustentabilidade pela Universidade de São Paulo (2018). Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2000) e Tecnologia em Construção Civil, modalidade Edifícios pela FATEC/UNESP (1996). Atua no Grupo Cruzeiro do Sul Educacional desde 2016, sendo Coordenadora dos cursos de Engenharia de Segurança do Trabalho e Tecnologia em Segurança no Trabalho desde 2018 e Coordenadora dos cursos de Engenharia Ambiental e Gestão Ambiental desde 2019.

Marcos Campagnone

Engenharia Civil pela EESC-USP; É Doutor em Administração de Empresas e Mestre em Administração Pública e Planejamento Urbano pela EAESP-FGV. Atuou no governo estadual por 40 anos, tendo ocupado cargos como o de Diretor Presidente da Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano - EMPLASA; Subsecretário de Assuntos Metropolitanos, dentre outros; e foi Professor Titular Doutor e Coordenador dos cursos Gerente de Cidade da FAAP.

Maria da Penha Vasconcellos

Graduada em Psicologia e Mestre em Psicologia Social ambos pela PUC-SP. doutora em Ciências e Livre-Docente III ambos pela USP. Professora e orientadora dos Programas de Pós-Graduação em Saúde Pública, Saúde Global e Sustentabilidade e Saúde, Ambiente e Sustentabilidade, Faculdade de Saúde Pública-USP.

Marina Westrupp Alacon Rayis

Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina, Mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública (USP) e Engenheira de Segurança do Trabalho pela Escola Politécnica (USP). Atuou por dois anos em projetos de redução de perdas em redes de abastecimento de água e tratamento de efluentes. Atualmente, é responsável pela gestão de águas e efluentes de uma indústria do ramo de mineração e metalurgia.

Maykon Ivan Palma

Graduado em Geografia pela UEL (2006). Especialista em Análise Ambiental e Ciência da Terra pela Universidade Estadual de Londrina (2006). Mestre em Ciências pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (2018). Atualmente é supervisor do Grupo Técnico de Georrefereciamento da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente – SVMA/PMSP.

Paulo Cesar Xavier Pereira

Sociólogo pela USP. Mestre em Ciências Sociais e Doutor em Ciências Políticas pela Universidade de São Paulo. Professor da FAUUSP - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo no Departamento de História da Arquitetura e Estética do Projeto.

Rafael Doñate Avila

Engenheiro ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP), especialista em gestão e tecnologias ambientais pelo Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica (USP) e mestre em ambiente, saúde e sustentabilidade pela Faculdade de

Saúde Pública (USP). Tem atuação nas áreas de gestão e saneamento ambiental e é sócio fundador da Cordatus Engenharia e Meio Ambiente Ltda.

Raissa Silva de Carvalho Pereira

Graduada (2012) em engenharia ambiental pela Escola Politécnica (USP), com Dupla-Titulação pelo *Politecnico di Milano* (Itália). Mestre (2018) pelo Programa de Mestrado Profissional em Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública (USP). Atua como engenheira ambiental na CETESB desde 2013 na área de logística reversa e gestão de resíduos sólidos.

Tadeu Fabrício Malheiros

Engenheiro civil e ambiental, com mestrado em Resources Engineering - Universitat Karlsruhe (1996) e doutorado em Saúde Pública (USP) (2002). Atualmente é professor associado na Escola de Engenharia de São Carlos (USP). É coordenador do programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais. É assessor da Superintendência de Gestão Ambiental da USP.

Wanda Maria Risso Günther

Engenheira civil e cientista social. Especialista em Engenharia em Saúde Pública (FSP/USP) e em Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos (Faculdade de Ciências-UAM). Mestre e Doutora em Saúde Pública - área Saúde Ambiental (FSP/USP). Professora titular e pesquisadora do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública/USP. Coordenadora do Programa de Pós-Graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da FSP/USP. Coordenadora do Laboratório Lab GAIS - Gestão Ambiental, Inovação e Sustentabilidade/USP.

Wanderley da Silva Paganini

Engenheiro Civil pela UNESP de Bauru/SP; Engenheiro Sanitarista, Mestre e Doutor em Saúde Pública, e Livre-Docente em Saneamento Básico e Ambiental pela Faculdade de Saúde Pública

(FSP/USP). Superintendente de Gestão Ambiental da SABESP e Professor Livre Docente do Departamento de Saúde Ambiental da FSP/USP. Autor de diversos artigos científicos publicados em revistas especializadas, livros e capítulos de livros relacionados a saneamento e recursos hídricos. É membro do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, do Conselho Municipal de Mudança do Clima e Ecoeconomia de São Paulo e do Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONSEMA.