



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

THAIS MICHELÃO MARTINS

INFRAESTRUTURA VERDE COMO ESTRATÉGIA PARA SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS URBANOS EM SISTEMAS DE ESPAÇOS LIVRES

Campinas

2021

THAIS MICHELÃO MARTINS

INFRAESTRUTURA VERDE COMO ESTRATÉGIA PARA SERVIÇOS
ECOSSISTÊMICOS URBANOS EM SISTEMAS DE ESPAÇOS LIVRES

Monografia apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Especialista em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil.

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA MONOGRAFIA
APRESENTADA PELA ALUNA THAIS
MICHELÃO MARTINS, ORIENTADA PELA
PROFA. DRA. THALITA DOS SANTOS
DALBELO E CO-ORIENTADA PELA
PROFA. MA. BEATRIZ MARTINS ARRUDA.

Campinas

2021

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M366i Martins, Thais Michelão, 1993-
Infraestrutura verde como estratégia para serviços ecossistêmicos urbanos em sistemas de espaços livres / Thais Michelão Martins. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Thalita dos Santos Dalbelo.

Coorientador: Beatriz Martins Arruda.

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Desenvolvimento urbano sustentável. 2. Paisagem urbana. I. Dalbelo, Thalita dos Santos, 1984-. II. Arruda, Beatriz Martins. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Green infrastructure as a strategy for urban ecosystem services in open space systems

Palavras-chave em inglês:

Sustainable urban development

Urban landscape

Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil

Titulação: Especialista

Banca examinadora:

Thalita dos Santos Dalbelo [Orientador]

Eugenio Fernandes Queiroga

Sílvia Aparecida Mikami Gonçalves Pina

Data de entrega do trabalho definitivo: 14-09-2021

Aos meus pais, que me ensinaram o valor de
todas as manifestações de vida

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço às professoras Beatriz Martins Arruda e Thalita dos Santos Dalbello por todo o apoio durante a orientação deste trabalho. Agradeço pelos conselhos, pelas risadas, pelas conversas e por tornarem tudo mais leve.

Agradeço à minha mãe Izabel e ao meu pai José Francisco que me apoiam com muito carinho em todas as minhas jornadas. Ao meu irmão Lucas, com quem compartilho lembranças de uma infância muito feliz. À minha avó Neuza e à minha avó Dolores (*in memorian*), minhas referências de força e perseverança. Aos meus avôs Jacob (*in memorian*) e Francisco (*in memorian*) e à minha querida tia Lúcia.

Agradeço ao meu companheiro Edvaldo, que me dá suporte incondicional, que me escuta, me incentiva, me alegra e me acompanha nas incertezas de nossos caminhos.

Agradeço aos meus amigos Willian, Victor, Gabriel, Gabi, Vitor S. e Choco pela parceria de sempre.

Agradeço também a todos os professores e colegas que compartilharam comigo esses doze meses de especialização. Em especial, à minha querida amiga Tiffany, pois pudemos mais uma vez trilhar juntas os nossos caminhos profissionais, nesses dez anos de carinho e amizade.

Agradeço, finalmente, à professora Sílvia Mikami e ao professor Eugênio Queiroga, que se dispuseram a ler esta monografia e participar da banca final.

RESUMO

Enfrentar as mudanças climáticas e concretizar as metas prescritas nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 são desafios prementes que demandam um planejamento urbano capaz de frear a crescente degradação dos ecossistemas naturais e o conseqüente declínio da capacidade destes em ofertarem serviços ecossistêmicos. Considerando a potencialidade do meio ambiente urbano em também ofertar serviços ecossistêmicos, faz-se necessário identificar meios de promover tal capacidade para obter maior sustentabilidade e bem-estar humano nas cidades. Sabendo que infraestruturas verdes viabilizam essa oferta nos espaços livres, este trabalho tem como objetivo articular os conceitos de Serviços Ecossistêmicos Urbanos e de Sistemas de Espaços Livres (SEL) a partir dos subsistemas de infraestruturas verdes, saneamento e agroprodução urbana. Para tanto, utiliza-se como estudo de caso o território do Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS), em Campinas, SP. Os resultados ilustram a integração entre saneamento e agroprodução em diferentes tipologias presentes no Sistema de Espaços Livres capazes de ofertar ampla variedade de Serviços Ecossistêmicos Urbanos, explicitada nos fluxos metabólicos dos subsistemas de infraestruturas verdes selecionados como estratégia. Ao final, apresenta-se uma modelagem conceitual que sistematiza de maneira interescalar a ocorrência das dinâmicas metabólicas concernentes à associação proposta nas diferentes dimensões espaciais do ecossistema urbano. A descrição gráfica relacionando elementos dos subsistemas urbanos de saneamento e de produção agroalimentar providencia um nexu lógico que permite articular os benefícios obtidos destes sistemas com infraestruturas correlatas e subjacentes aos SEL e, portanto, à estruturação da paisagem urbana. Este trabalho contribui com uma base norteadora para planejar e desenhar espaços e elementos de um Sistema de Espaços Livres considerando os Serviços Ecossistêmicos Urbanos como partido, com vistas a auxiliar na elaboração de planos e projetos de paisagens urbanas mais sustentáveis e resilientes.

Palavras-chave: Sustentabilidade Urbana. Paisagem. Ecossistema Urbano. HIDS.

ABSTRACT

Facing climate change and attaining Sustainable Development Goals of United Nations' 2030 Agenda are challenges demanding for urban planning that addresses the degradation of natural ecosystems and the consequent decline in their capacity to offer ecosystem services. Urban environments are potential providers of ecosystem services, so it is necessary to identify ways to promote such capacity in order to improve both sustainability and human well-being in cities. Knowing that green infrastructure enables such supply in open spaces, this work aims to articulate the concepts of Urban Ecosystem Services and Open Space Systems (SEL) through three subsystems: sanitation, agroproduction and green infrastructure. The case of the International Hub for Sustainable Development (HIDS), located in Campinas, SP, Brazil, provides the elements for the proposed articulation. Results illustrate ways to integrate sanitation and agroproduction into different typologies of an Open Space System that offers a wide variety of Urban Ecosystem Services, which are revealed in the metabolic flows within strategically selected green infrastructures subsystem. Ultimately, a conceptual model is presented to systematize the occurrence of metabolic dynamics concerning the proposed association in the different spatial dimensions of the urban ecosystem. The graphic description relating elements of urban subsystems of sanitation and agroproduction provides a logical link that allows articulating the benefits obtained from these systems with related infrastructures underlying the Open Space System, and, therefore, the structuring of the urban landscape. This work provides a guiding basis for planning and designing spaces and elements of Open Spaces Systems considering Urban Ecosystem Services as a principle, so it is a practical contribution for novel plans and projects that envision more sustainable and resilient urban landscapes.

Keywords: Urban Sustainability. Landscape. Urban Ecosystem. HIDS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Serviços ecossistêmicos e os constituintes do bem-estar humano.....	20
Figura 2 - Diagrama conceitual em cascata dos serviços ecossistêmicos.	21
Figura 3 - Representação dos elementos fixos e fluxos utilizados na construção dos resultados deste trabalho.	34
Figura 4 - Esquema dos fluxos metabólicos nas diferentes escalas urbanas.	37
Figura 5 - Equipamentos pertencentes ao território do HIDS.	38
Figura 6 - Mapa das áreas verdes da região do HIDS.	39
Figura 7 - Áreas do HIDS trabalhados no exercício projetual.....	41
Figura 8 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto do Parque das Anhumas - exemplos.....	42
Figura 9 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto do Platô Central - exemplos.....	43
Figura 10 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto da área Centro Sul - exemplos.....	44
Figura 11 - Fluxos metabólicos no nexo saneamento e agroprodução urbana: infraestruturas verdes nos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário.	58
Figura 12 - Fluxos metabólicos no nexo saneamento e agroprodução urbana: infraestruturas verdes dos sistemas agroprodutivos	61
Figura 13 - Modelagem conceitual dos processos que relacionam as infraestruturas dos subsistemas Saneamento e Agroprodução num ecossistema urbano.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipologias de Sistemas de Espaços Livres.	32
Quadro 2 - Ícones das infraestruturas e seus elementos pertencentes.	35
Quadro 3 - Infraestruturas Verdes no Sistema de Espaços Livres.....	52
Quadro 4 - Correlação entre processos autopoieticos, serviços ecossistêmicos urbanos e ODS.....	70
Quadro 5 - Correlação entre as infraestruturas verdes, as ODS e os serviços ecossistêmicos urbanos.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEM	Avaliação Ecológica do Milênio
APP	Área de Preservação Permanente
AU	Agricultura Urbana
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
CIATEC	Companhia de Desenvolvimento do Polo de Alta Tecnologia de Campinas
EEA	Agência Ambiental Europeia
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FECFAU	Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo
HIDS	Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SE	Serviços Ecológicos
SEL	Sistema de Espaços Livres
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
ZWIA	Zero Waste International Alliance

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO GERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	18
2.1.1 O que são ecossistemas	18
2.1.2 Conceitos de Serviços Ecossistêmicos	19
2.1.3 Categorias dos Serviços Ecossistêmicos	22
2.1.4 Serviços Ecossistêmicos Urbanos.....	23
2.2 SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES - SEL	26
2.2.1 Espaço Livre e Paisagem	26
2.2.2 O Sistema de Espaços Livres.....	27
2.3.2 SEL como infraestrutura do ecossistema urbano.	28
3 METODOLOGIA.....	31
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	31
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	31
3.3 Estudo de Caso.....	38
3.3.1 HIDS como ecossistema urbano	38
3.3.2 Subsistemas de infraestrutura no SEL	41
3.3.2.1 Subsistema Saneamento	45
3.3.2.2 Subsistema Agroprodução.....	47
3.3.2.3 Infraestrutura Verde	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 AS INFRAESTRUTURAS VERDES NO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES	51
4.2 NEXO SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA NO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES	56

4.3 BENEFÍCIOS OBTIDOS PELAS PESSOAS A PARTIR DOS SUBSISTEMAS SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA	63
4.4 NEXO SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA EM DIFERENTES ESCALAS.....	65
4.5 SUSTENTABILIDADE URBANA E O BEM-ESTAR HUMANO	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
6 REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas são sistemas complexos onde há constante troca de energia, matéria e informação entre recursos bióticos e abióticos (ODUM, 1986). Os seres humanos, parte integrante desses sistemas, interagem entre si e com os outros componentes de um ecossistema. A qualidade ambiental dessa relação tem uma dimensão a mais de complexidade, que é da cultura, da política e dos pactos sociais.

As mudanças de uso e ocupação do solo ocasionadas pelas atividades humanas de produção, consumo, descarte e conversão de ecossistemas naturais em áreas urbanas e rurais causam perturbações, tais como: intensificação das mudanças climáticas, alterações nos ciclos biogeoquímicos das águas e dos solos, perda de biodiversidade e outros efeitos que desequilibram as dinâmicas ecossistêmicas e reduzem a qualidade ambiental urbana. Os impactos negativos decorrentes desses desequilíbrios reduzem a experiência urbana e o bem-estar que a cidade pode propiciar às pessoas. O entendimento das cidades como ecossistemas é importante porque é a partir desse ponto de vista que compreendemos que os processos naturais são essenciais para a manutenção da vida humana.

Nas últimas décadas o conceito de serviços ecossistêmicos tem recebido cada vez mais destaque na literatura. O conceito surgiu como uma forma de aumentar o nível de compreensão e interesse público para a importância da conservação da natureza e integração das necessidades econômicas com as necessidades sociais e ambientais dos seres humanos. A ideia é de que há benefícios que podem ser percebidos levando ao entendimento das causas e efeitos dos desequilíbrios dos processos naturais. Até 2050, a degradação dos serviços dos ecossistemas e a consequente diminuição da capacidade dos ecossistemas de fornecê-los, podem se agravar bastante (AEM, 2005). A Avaliação Ecosistêmica do Milênio – AEM (2005) também considera que os principais vetores que alteram os ecossistemas são as alterações nos habitats, o que inclui as mudanças de uso do solo e a superexploração de recursos naturais.

A partir de meados do século XX, muitas ideias dos campos da Ecologia e das Ciências Ambientais começaram a integrar os currículos de áreas do conhecimento como o planejamento urbano e a arquitetura da paisagem na busca de soluções projetuais para reduzir os impactos ambientais negativos das atividades antrópicas. Além de adotar medidas preventivas, de controle e mitigadoras desses

impactos, é necessário recuperar os ecossistemas de seus passivos ambientais historicamente acumulados. Para isso, algumas estratégias vêm sendo pensadas no sentido de recuperar as funções ecológicas originais das paisagens e ainda oferecer outras mais, através do manejo sustentável dos recursos naturais visando ampliar a oferta dos serviços ecossistêmicos nas áreas urbanas.

Os espaços livres de uma cidade têm um grande potencial, ainda pouco explorado, de ofertar diversos serviços ecossistêmicos no ambiente urbano por intermédio de suas infraestruturas. Quando o meio urbano é entendido como um ecossistema, os fluxos que permeiam os elementos constituintes de seus espaços deixam de ser observados de forma linear e passam a adotar uma visão circular, que busca integrar, no mínimo, as entradas e as saídas materiais e energéticas entre os sistemas. Observar os fluxos existentes e os potenciais entre os elementos fixos da paisagem possibilita identificar e até otimizar a oferta de serviços ecossistêmicos urbanos. As infraestruturas verdes constituem uma rede interconectada de áreas verdes e azuis, capazes de desempenhar diferentes funções e adaptáveis a diferentes necessidades que podem mudar ao longo do tempo. São possibilidades complementares ou substitutivas para as infraestruturas cinzas convencionais.

Outro fluxo a ser considerado é o da informação, que envolve, além de outros elementos, a cultura e os hábitos de consumo da população. O sistema de espaços livres também pode ser instrumento para a educação ambiental e sensibilização das pessoas, induzindo novos pactos sociais. Como espaços de cuidado e conexão, que abrigam encontros, trocas, conflitos de interesses e formas de apropriação diversas, podendo fortalecer um sentimento de comunidade que reforça a identidade local que caracteriza a paisagem.

Para garantir que o sistema de espaços livres de uma cidade exerça funções restaurativas e que contribuam para o equilíbrio dos fluxos ecossistêmicos urbanos, cabe considerá-los na concepção do projeto, acomodando a possibilidade de adaptação desses espaços para necessidades posteriores, como as advindas das mudanças climáticas. Por isso pensar na capacidade desses espaços de ofertar serviços ecossistêmicos urbanos apresenta-se como uma estratégia interessante para atingir as metas do Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015).

Tendo isso em vista, este trabalho tomou como estudo de caso o Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS), localizado no município de Campinas, interior do estado de São Paulo. Este projeto de desenvolvimento territorial

tem articulado parcerias entre instituições públicas e privadas, dentro e fora do Brasil, para conceber um distrito inteligente sustentável conceituado como laboratório-vivo (WIRTH, 2018; BULKELEY *et al.*, 2019). A concretização desse projeto objetiva estabelecer um ponto de difusão de conceitos, estratégias e soluções inovadoras da sociedade baseada no conhecimento, constituindo um modelo de referência em desenvolvimento urbano sustentável.

O HIDS foi tema do curso de Especialização em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil (UNICAMP, 2021), ofertada pela FECFAU-UNICAMP de setembro de 2020 a julho de 2021, com a proposta de desenvolver um projeto urbano para uso e ocupação da área, que é extensa e não possui uma urbanização consolidada. Dentre as várias atividades do curso, contribuem diretamente para este trabalho o estudo dos conceitos de serviços ecossistêmicos e de espaços livres em disciplinas teóricas e sua operacionalização em disciplinas práticas projetuais. Justifica-se a escolha do HIDS como território para estudo de caso neste trabalho pelo seu propósito de atingir os ODS com uma abordagem inovadora, que prima pela qualidade ambiental urbana e oferece um horizonte de possibilidades para um outro tipo de desenvolvimento territorial urbano para o país e o mundo.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica desta pesquisa, com foco nos dois conceitos-chave: Serviços Ecossistêmicos Urbanos e Sistema de Espaços Livres. Destaca-se a importância dos Serviços Ecossistêmicos para o meio ambiente urbano, inserindo a cidade num contexto sistêmico, caracterizando-a como ecossistema urbano. Após revisão de literatura, que permitiu a atualização das categorias dos serviços formalizadas primordialmente na Avaliação Ecossistêmica do Milênio, o capítulo constrói a relação entre os serviços e o ecossistema urbano, qualificando-o como ambiente construído que disponibiliza Serviços Ecossistêmicos Urbanos. Finaliza-se colocando os Sistemas de Espaços Livres em perspectiva ecológica, construindo o argumento de que os espaços livres constituem elementos fixos do ecossistema urbano, interrelacionados por fluxos metabólicos que podem ser ampliados e sofisticados para dinamizar funções no ambiente construído e, assim, ofertar Serviços Ecossistêmicos Urbanos.

O Capítulo 3 apresenta a caracterização da pesquisa, seus objetivos, os materiais e os procedimentos metodológicos. Também detalha e contextualiza o HIDS na pesquisa, apresentando-o como um ecossistema urbano no qual buscou-se investigar subsistemas específicos, relacionados à estruturação dos Sistemas de

Espaços Livres. Assim, nesta parte do trabalho são destacados e analisados os subsistemas de saneamento, agroprodução e infraestruturas verdes.

No Capítulo 4, os resultados são demonstrados na forma de modelagem conceitual e discutidos à luz da sustentabilidade urbana e do bem-estar humano. Por último, no Capítulo 5, apresentam-se as considerações finais, limitações de pesquisa e possibilidades de estudos futuros a partir deste trabalho.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral da pesquisa é articular os conceitos de Serviços Ecosistêmicos Urbanos e de Sistemas de Espaços Livres (SEL) com os subsistemas de infraestruturas verdes, saneamento e agroprodução urbana.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar as infraestruturas verdes como elementos do SEL capazes de ofertar Serviços Ecosistêmicos Urbanos.
2. Modelar os fluxos metabólicos relacionados às funções de saneamento e de produção agroalimentar utilizando infraestruturas verdes com potencial de integração a esses subsistemas no HIDS.
3. Discutir como a oferta dos serviços ecosistêmicos urbanos no HIDS pode dinamizar as funções dos SEL e gerar benefícios em todas as dimensões da sustentabilidade, tendo em vista os ODS da Agenda 2030 da ONU.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

2.1.1 O que são ecossistemas

A cidade contemporânea deve ser entendida como um sistema complexo. No entanto, as interações e processos entre componentes de um ecossistema urbano ocorrem de modo diverso dos ecossistemas naturais. Para Odum e Barrett (2008, p.18) um ecossistema

“é qualquer unidade que inclui todos os organismos (a comunidade biótica) em uma dada área interagindo com o ambiente físico de modo que um fluxo de energia leve a estruturas bióticas claramente definidas e à ciclagem de materiais entre componentes vivos e não vivos”

Na definição dos autores, os ecossistemas são unidades funcionais que possuem entradas e saídas de energia e materiais. O fluxo energético é sempre unidirecional. Isso significa que a energia poderá ser transformada, armazenada, retroalimentada ou exportada, porém nunca reutilizada. Nesse processo, uma parte da energia que entra é convertida em matéria orgânica pela comunidade e a outra, em maior proporção, é degradada saindo do sistema em forma de calor. O fluxo de materiais, por sua vez, é cíclico e permanece no ecossistema, podendo ser reutilizado diversas vezes até uma menor parte encaminhar-se para o ambiente de saída. (ODUM; BARRETT, 2008). Nos atuais ecossistemas urbanos, diferentemente, há grande demanda de entradas e seu metabolismo linear leva a um excesso de saídas, isso torna-os dependentes e gera pressões em outros ecossistemas externos.

Dentre os organismos que compõem as comunidades bióticas das cidades, o ser humano tem se comportado como espécie dominante sobre todas as demais. Ele é o responsável por modificar intensamente os meios biótico e abiótico. Com isso, construções, infraestruturas e outros elementos artificiais passaram a integrar o meio abiótico sendo que, no meio biótico, houve perda de biodiversidade e propagação de espécies invasoras. Como consequência dessas intervenções antrópicas, os ciclos naturais foram alterados

As interações humanas e sua organização social trouxeram, portanto, maior complexidade para os ecossistemas. Segundo o Conselho de Avaliação

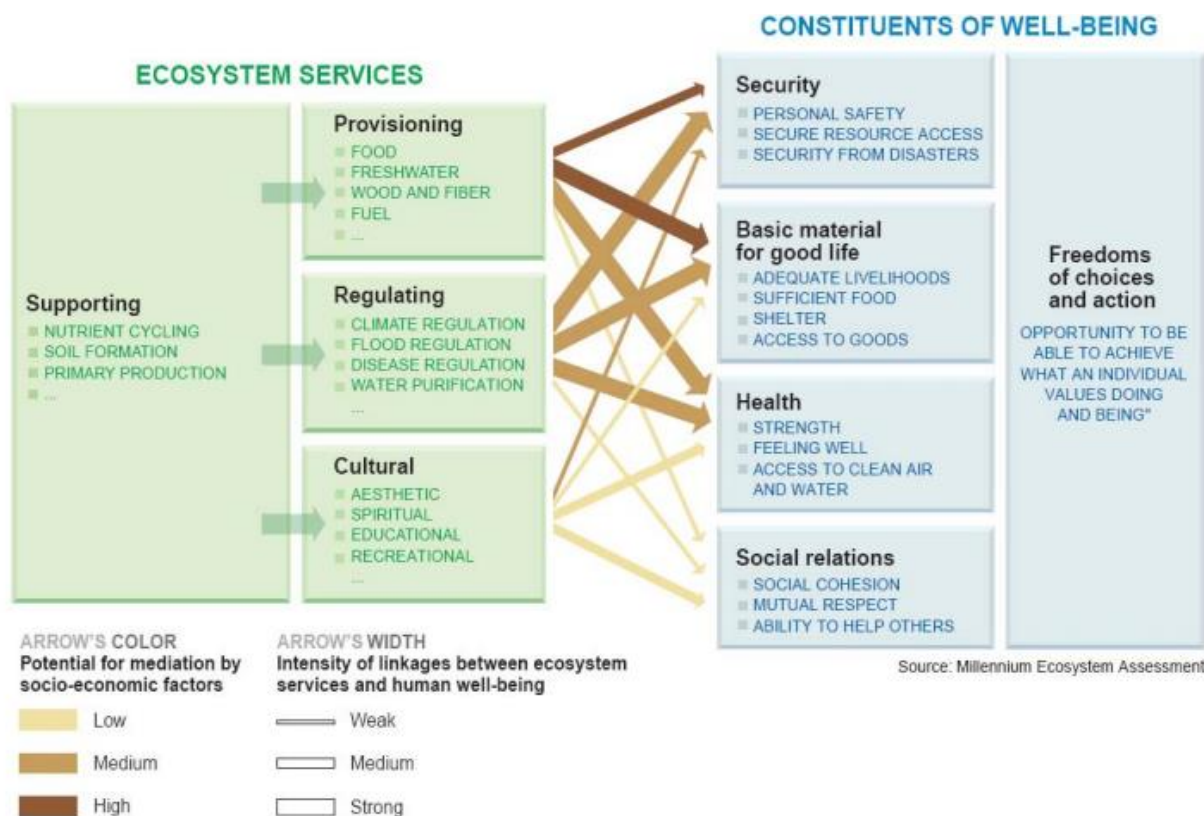
Ecosistêmica do Milênio (2005), os seres humanos integram os ecossistemas e interagem de forma dinâmica com outros organismos e seu ambiente físico. Mudanças na condição humana implicam em mudanças diretas e indiretas nos ecossistemas, levando a alterações no bem-estar humano. Portanto, para o seu sustento e de todas as outras espécies, os seres humanos são dependentes das propriedades dinâmicas internas de um ecossistema e da interação entre ecossistemas.

2.1.2 Conceitos de Serviços Ecosistêmicos

A partir da importância das relações entre os ecossistemas e o bem-estar humano e da preocupação com as mudanças ambientais das últimas décadas e implicações futuras, entre 2001 e 2005, a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (AEM) avaliou como as alterações nos ecossistemas impactam no bem-estar humano e quais as tendências para o futuro. Também buscou construir uma base científica para fundamentar ações de conservação e uso sustentável dos ecossistemas (AEM, 2005).

Para efetuar a análise dos diversos ecossistemas que se propôs, a AEM utilizou o conceito de Serviços Ecosistêmicos (SE) e os definiu como “benefícios que o homem obtém dos ecossistemas” (AEM, 2005). Nela, os serviços foram classificados em quatro categorias: suporte, provisão, regulação e cultural. A Figura 1 demonstra a influência dos serviços ecosistêmicos sobre o bem-estar humano, relacionando as categorias de serviços com o que considerou como, os constituintes do bem-estar humano.

Figura 1 - Serviços ecossistêmicos e os constituintes do bem-estar humano.

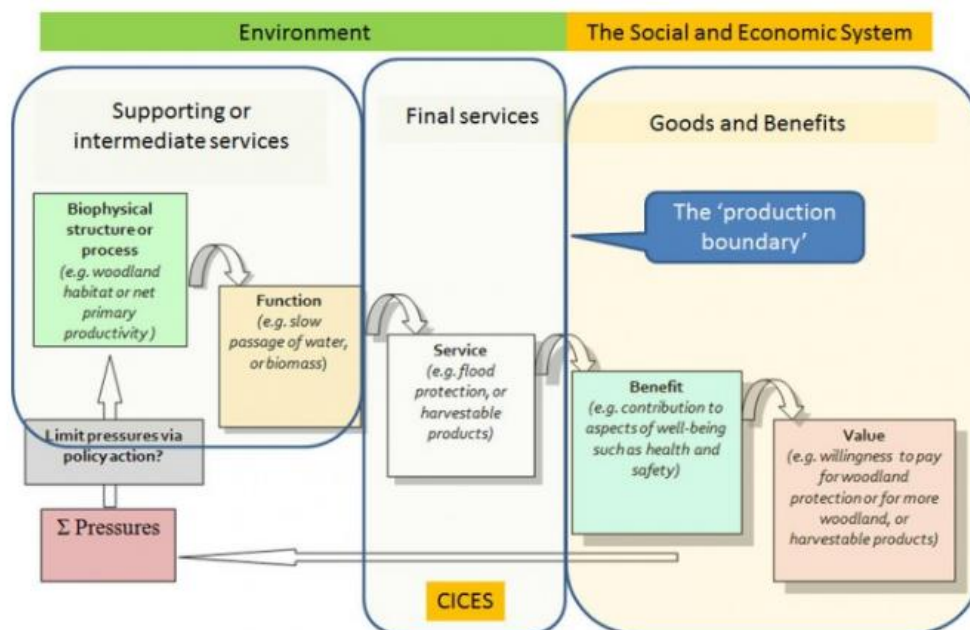


Fonte: AEM, 2005.

Nas últimas décadas, muitos autores vêm trabalhando com os SE, principalmente após a publicação da AEM (FISHER; TURNER; MORLING, 2009; HACKBART; de LIMA; SANTOS, 2017). Segundo Nahlik *et al.* (2012), após a introdução do conceito, diferentes definições de serviços ecossistêmicos foram desenvolvidas na literatura por diversos autores. Ainda assim, há um elemento comum em todos os trabalhos: a finalidade de relacionar os serviços com os benefícios que podem ofertar aos seres humanos.

A Agência Ambiental Europeia (EEA), com o objetivo de padronizar a classificação dos serviços ambientais de modo que pudessem ser comparados e avaliados, reuniu diversos cientistas para desenvolver uma classificação internacional comum dos Serviços Ecossistêmicos, a *Common International Classification of Ecosystem Services* (CICES). A CICES utiliza como modelo conceitual o modelo de cascata representado esquematicamente na Figura 2. Neste modelo, os SE são os serviços finais de um ecossistema, ou seja, são as contribuições diretas dos ecossistemas para o bem-estar humano.

Figura 2 - Diagrama conceitual em cascata dos serviços ecossistêmicos.



Fonte: HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018.

No modelo (Figura 2), os serviços finais são obtidos a partir de processos e estruturas que desempenham funções nos ecossistemas. As funções são as características de um sistema que fazem com que algum processo se transforme em um serviço. Os SE, por sua vez, dão origem aos benefícios tangíveis e intangíveis que possuem algum valor para as pessoas, seja ele monetário ou não (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Outros autores também adotaram a definição dos serviços como bens e serviços ecossistêmicos finais (FISHER; TURNER; MORLING, 2009; JOHNSTON; RUSSEL, 2011; NAHLIK *et al.*, 2012). Nahlik *et al.* (2012) consideram que esta abordagem poderá evitar interpretações pessoais na identificação dos SE, permitindo que pessoas diferentes obtenham os mesmos resultados, que poderá eliminar o risco de dupla contabilização de serviços finais com serviços intermediários no momento de uma avaliação econômica dos SE e que possibilitará que o conceito seja mais facilmente entendido pelo público, uma vez que os serviços serão determinados a partir dos beneficiados e que se criará uma linguagem comum e padronizada.

Embora o conceito de SE foque nos benefícios ofertados para o bem-estar humano, isso não significa que este seja o papel central dos processos e funções do ecossistema e sim uma consequência. A intenção não é colocar o ser humano como

uma espécie central e dominante, pois todas as outras também são dependentes dos ecossistemas. No entanto, transformar os serviços ecossistêmicos em um conceito e enfatizar o bem-estar humano foi de grande importância para sensibilizar as pessoas e os tomadores de decisão a reestruturarem a relação do homem com a natureza e compreenderem que a nossa sobrevivência e de todos os outros organismos vivos depende da integridade, manutenção e conservação dos ecossistemas, pois somos parte deles e tudo o que retiramos para a nossa sobrevivência também é.

2.1.3 Categorias dos Serviços Ecossistêmicos

Na AEM, os serviços foram classificados conforme as funções que os precedem e divididos em quatro categorias: suporte, regulação, provisão e cultura. Os serviços de provisão foram definidos como os produtos obtidos dos ecossistemas. Eles podem ser, por exemplo, alimentos, fibras, água limpa, bioquímicos e recursos genéticos. Já os serviços de regulação são responsáveis por realizar a regulação dos processos dos ecossistemas, podendo prover a qualidade do ar, a regulação climática, a polinização e a regulação de enfermidades (CONSELHO DE AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005).

Os serviços culturais são aqueles que fornecem benefícios intangíveis de enriquecimento cultural, reflexão, recreação e experiências estéticas. A percepção sobre esses serviços normalmente varia de acordo com os valores, comportamento e realidade social dos indivíduos e comunidades. Por fim, os serviços de suporte são aqueles necessários para a produção de todos os outros serviços. Geralmente, é difícil avaliar os benefícios e impactos desta categoria sobre os seres humanos e frequentemente estes serviços ocorrem no decorrer de longos períodos (CONSELHO DE AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO, 2005).

No modelo de classificação da CICES, os SE são entendidos como os *outputs* de um ecossistema e foram classificados numa hierarquia que considerou três categorias da Avaliação Ecossistêmica do Milênio: provisão, regulação e cultural. Os serviços de suporte não foram considerados uma categoria de serviços ecossistêmicos, pois o entendimento foi de que estes serviços oferecem benefícios indiretos aos seres humanos, já que são serviços intermediários e servem para viabilizar os serviços finais. Por esta razão, os serviços de suporte, não menos importantes, necessitam de outras bases conceituais para serem representados nos

termos da avaliação das condições de um ecossistema (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

Na CICES, a classificação de um serviço depende do contexto e é preciso identificar o serviço final ofertado. Pode-se exemplificar a afirmação por meio dos benefícios obtidos a partir da água de um lago. Quando esta é utilizada como fonte de água potável, o serviço final é a dessedentação, enquanto se objetivo de uso for a pesca recreacional, então a água do lago oferta um serviço intermediário (suporte) que viabiliza a captura de peixes como serviço final (provisão e cultural). (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

2.1.4 Serviços Ecossistêmicos Urbanos

A população urbana mundial tem aumentado de forma acelerada nas últimas décadas. Hoje há mais pessoas vivendo em áreas urbanas do que em áreas rurais e essa diferença tende a aumentar. Em 2050, estima-se que a população urbana mundial seja de 68% (ONU, 2018).

A expansão das cidades provoca mudanças de uso do solo e, nesse processo, zonas rurais e remanescentes de biomas originários são urbanizadas. Essas alterações levam à supressão de ecossistemas naturais e dos serviços ecossistêmicos que estes originalmente são capazes de ofertar. Além disso, o crescimento da população urbana gera aumento na demanda das cidades por recursos naturais como água, alimentos, madeira e combustíveis, pressionando os ecossistemas. A extração e utilização desses recursos, quando manejados de forma não sustentáveis, podem induzir o avanço das fronteiras agrícolas para compensar a progressiva perda de produtividade associada à agricultura intensiva, inculcando em impactos como desmatamento e substituição de mais áreas naturais por lavouras e pastagens, por exemplo.

Nos ecossistemas urbanos, os recursos de entrada (*inputs*) costumam permanecer por pouco tempo. Geralmente, são processados, utilizados, convertidos em resíduos e eliminados para fora do sistema, caracterizando um sistema linear de extração, uso e descarte. A sua curta permanência nos fluxos urbanos contribui para que uma maior quantidade de recursos seja necessária. Desse modo, percebe-se que a maioria das cidades possuem um metabolismo linear, pois consomem grandes quantidades de recursos de entradas, como combustíveis fósseis e mercadorias e

geram grandes quantidades de saídas, como resíduos e gases, que não são reintroduzidos em seus ciclos metabólicos, mas exportados para outros sistemas (OLIVEIRA, 2018).

Segundo a AEM (2005), cerca de 60% dos serviços ecossistêmicos avaliados têm sido degradados ou utilizados de formas não sustentáveis. As ações humanas para intensificar a disponibilidade de alguns serviços causam a deterioração de outros. Por exemplo: o desvio de água para irrigação e o uso intensivo de fertilizantes podem, por exemplo, diminuir a disponibilidade e deteriorar a qualidade da água para outros usos. Além de que podem, ainda, levar à redução da biodiversidade e à supressão de cobertura florestal, o que acarreta a perda de produtos florestais e liberação de gases de efeito estufa. Isso demonstra que a degradação dos serviços dos ecossistemas leva a perdas de benefícios não comercializáveis, que muitas vezes são mais valiosos que os comercializáveis.

Em vista do exposto, depreende-se que a expansão urbana se configura como um grande desafio para a manutenção do bem-estar humano e enfrentamento das mudanças climáticas nas próximas décadas. Isso significa que processos de urbanização têm sido responsáveis por gerar poluição e degradação dos ecossistemas naturais, inculcando em diminuição de biodiversidade e de resiliência. A capacidade de um ecossistema em ofertar serviços ecossistêmicos é essencial para garantir não só a sua resiliência em eventos advindos das mudanças climáticas como intensas ondas de calor, inundações ou longos períodos de estiagem, mas também para reduzir a possibilidade desses eventos. Portanto, atividades que resultam na alteração das funções originais dos ecossistemas provocam, muitas vezes, uma redução da disponibilidade dos serviços ecossistêmicos.

Alternativamente, a cidade, enquanto ecossistema urbano, também pode ser percebida como espaço oportuno para oferta de serviços ecossistêmicos e obtenção de benefícios para o bem-estar humano. Segundo Dalbello (2019, p. 84), “os serviços ecossistêmicos urbanos são os benefícios que a cidade e seus sistemas integrados devem fornecer aos seus habitantes”. Para a autora, o conceito de ecossistema urbano, além das áreas verdes, deve incluir todos os seus sistemas e redes como águas urbanas, vias de circulação, infraestruturas, edifícios e seus cidadãos. Nele também estão inclusos os serviços ecossistêmicos ofertados pelos sistemas antrópicos (DALBELO, 2019).

No ecossistema urbano identifica-se como serviços suporte as geotécnicas como relevo, as infraestruturas, a rede hídrica, a vegetação e a fauna, bem como o zoneamento real. Os serviços urbanos de provisão são principalmente os sistemas de moradia, de saneamento, de saúde pública, de educação, de transportes, de segurança. Os benefícios materiais ofertados na regulação podem ser a mobilidade, a ordem pública, o bioclima agradável, a segurança alimentar, o patrimônio cultural, histórico e ambiental; enquanto os imateriais estão relacionados às artes, ao lazer, à justiça social inclusiva e solidária. (RUTKOWSKI; DALBELO, 2017, p. 51)

Demantova (2012) já argumentava pela necessidade de reorientar as práticas de projeto de modo a diminuir a pegada ecológica das cidades, o que se torna possível se a cidade for lida na perspectiva de criar um metabolismo circular. O meio ecológico, quando inserido no meio urbano como infraestrutura, contribui para a circularidade dos fluxos metabólicos, pode ampliar e melhorar a qualidade dos serviços ecossistêmicos e promover maior bem-estar humano. Tal inserção requer saber identificar os tipos de serviços e os tipos de elementos fixos a serem relacionados em suas funções, para estruturar espaços com base nos fluxos entre esses elementos, constituindo subsistemas que beneficiam o ecossistema urbano e as pessoas que vivem e circulam nele.

Os serviços ecossistêmicos urbanos podem ser produzidos tanto pelos elementos naturais quanto pelos elementos artificiais do ambiente construído. Este, por sua vez, é sempre resultado da ação humana. As pessoas, ao criá-lo, planejá-lo, modificá-lo ou vivenciá-lo, podem influenciar positiva ou negativamente a oferta de serviços ecossistêmicos (SE) em quantidade, variedade e qualidade. Almejando aumentar o bem-estar humano nas cidades com estratégias de estruturação de seus espaços livres para alcançar maior sustentabilidade e resiliência, cabe observar como se dá a oferta dos SE no ambiente construído já instalado e, também, nas diferentes etapas de planejamento, desenho e gestão das cidades. Assim a componente humana que influencia e transforma o espaço torna-se, ao mesmo tempo, fim e meio para obter benefícios dos ecossistemas urbanos. Fim, pois o bem-estar humano é o objetivo fundamental do conceito e meio, pois nos ecossistemas urbanos, a construção do ambiente que irá ofertá-los é fruto da atuação humana no espaço.

2.2 SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES - SEL

2.2.1 Espaço Livre e Paisagem

Diante da necessidade exposta na primeira parte deste capítulo, esse trabalho levanta, dentre as suas hipóteses, o potencial dos Sistemas de Espaços Livres Urbanos de otimizar a produção dos serviços ecossistêmicos urbanos e contemplar as dimensões sociais e ambientais da sustentabilidade urbana. Ao operacionalizar o espaço livre como categoria analítica, pela qual “o estudo das formas urbanas se dá a partir da leitura dos “vazios”, ou os espaços livres, em relação aos “cheios”, representados pela massa edificada” (QUEIROGA; SAKATA, 2020, p. 2), Magnoli solucionou um grande conflito metodológico e conceitual do quadro do paisagismo no Brasil. A autora quis associar as questões ambientais ao ensino de paisagismo, tendo como premissa que “a paisagem, o ambiente e todos os espaços livres se constituíam em objeto de interesse do campo profissional do paisagismo, seja no nível do projeto, do planejamento ou das políticas públicas” (QUEIROGA; SAKATA, 2020, p. 3).

Magnoli definiu espaço livre como “todo espaço não ocupado por volume edificado” (MAGNOLI, 1982, p.48). O conceito diz respeito aos espaços abertos, livres de edificações ou de urbanização, sejam eles vegetados ou não (MAGNOLI, 1982), tais como ruas, praças, parques, pátios descobertos, quintais, rios, matas, campos, conforme apontados por Queiroga e Sakata (2020). Para Hulsmeyer (2014), o espaço livre materializa a paisagem, enquanto objeto concreto e real de intervenção. A paisagem, por sua vez, é objeto teórico resultado de processos sociais e ambientais, e carece por parte dos arquitetos paisagistas uma abordagem sistêmica, uma vez que a pesquisa científica não pode prescindir de uma visão da totalidade. O termo paisagem está em constante metamorfose conceitual, pois perpassa escalas espaciais e temporais diversas e, sobretudo, avança sobre fronteiras científico-epistemológicas (SANTOS, 2019), sendo objeto de investigação de diferentes áreas do conhecimento como artes, arquitetura, geografia, ecologia, geologia, entre outras.

As transformações nos campos das ciências ocorridas a partir de meados do século XX resultaram em formulações teóricas propositivas de superação do paradigma mecanicista que provocou o antagonismo entre ser humano e natureza. Tal paradigma conduziu à degradação do meio ambiente natural tanto em escalas

locais, como globais. O paradigma sistêmico se tornou então um grande referencial teórico, com importante influência de Bertalanffy, considerado o pai da Teoria Geral dos Sistemas (FERNANDES, 2017). Do mesmo modo, o conceito de paisagem se transformou e a arquitetura paisagística enquanto disciplina também experimentou uma evolução cultural e metodológica.

2.2.2 O Sistema de Espaços Livres

Com o reconhecimento de sua complexidade, o conceito de espaços livres passou a ser trabalhado dentro da noção Moriniana de sistema, “um objeto complexo estruturado, dinâmico e aberto, um sistema de sistemas” (QUEIROGA; SAKATA, 2020, p. 12). Tomando como referência Hulsmeyer (2014), para quem a paisagem é um macrossistema complexo que tem os espaços livres como um de seus subsistemas, os sistemas de espaços livres constituem-se em um todo que não pode ser expressado por suas partes quando consideradas separadamente. Outros subsistemas podem ser justapostos ou serem acrescentados aos espaços livres, total ou parcialmente, enquanto sistemas de ações, com múltiplas funções que também podem estar sobrepostas. Aportando o conceito de sistema de Edgar Morin, Queiroga (2014, p. 110) aponta que esse “é sempre um processo, está sempre em movimento diante das dinâmicas de suas relações internas e externas”.

No Sistema de Espaços Livres estão contidos todos os espaços livres urbanos, independente de forma ou escala, ainda que não estejam fisicamente conectados. Portanto,

“propõe-se entender o sistema de espaços livres (SEL) urbanos como os elementos e as relações que organizam e estruturam o conjunto de todos os espaços livres de um determinado recorte urbano – da escala intra-urbana à regional. Como um sistema aberto, o SEL urbano se relaciona ao SEL regional, e assim sucessivamente, redefinindo-se reciprocamente em um processo dialético escalar.” (QUEIROGA, 2011, p.27).

Em sua tese de livre docência, Magnoli (1982) já trazia a noção interescalar das relações entre os espaços livres. Argumentava que a distribuição do conjunto edificado nas suas várias escalas define, também em várias escalas, as configurações físicas dos espaços livres. Sendo que, em um movimento recursivo, essas configurações influenciam e são influenciadas umas às outras nas demais escalas.

2.3.2 SEL como infraestrutura do ecossistema urbano.

Desde os anos 1970, quando Miranda Magnoli estruturou o conceito de espaços livres na FAU-USP, Silvio Macedo já trazia à tona a importância de articular os espaços livres com as formas urbanas, compreendendo-os como sistemas de infraestrutura urbana (QUEIROGA; SAKATA, 2020). A atualidade do tema se revela na necessidade de estruturar os espaços livres na perspectiva de atingir maiores graus de sustentabilidade e resiliência nas cidades frente às mudanças climáticas (IPCC) e ao desafio do desenvolvimento sustentável (ONU).

Enquanto sistema, os espaços livres transformam-se constantemente para atender as demandas da sociedade. A capacidade de se adequar a essas demandas dependerá das disponibilidades de recursos, dos padrões culturais existentes, e principalmente das decisões políticas, que pode, inclusive, acarretar a desqualificação desses sistemas (QUEIROGA, 2011).

Parâmetros iniciais de leitura atribuídos ao espaço livre por Silvio Macedo, em seu olhar para as formas e a articulação destas com os espaços livres, observou a morfologia urbana, buscando compreender a sua vinculação à estrutura fundiária e ao suporte físico. O momento atual exige que planejadores e projetistas observem também como a morfologia urbana e suas infraestruturas impactam a natureza e proponham correções, adaptações e novidades nos espaços livres para desenvolver cidades mais sustentáveis e resilientes. Requer-se uma abordagem ecológica dos espaços livres. A compreensão dos espaços livres na perspectiva sistêmica abriu caminho para a disciplina assimilar a ecologia de sistemas em seus métodos e teorias. A abordagem ecológica dos espaços livres agrega capacidade de interconectar todos esses espaços e seus elementos num SEL inscrito num ecossistema urbano. Suas funções metabólicas se materializam nas redes de infraestrutura urbana, das quais também faz parte.

Infraestrutura é, por definição, todo o conjunto de bases indispensáveis em uma cidade ou sociedade (INFRAESTRUTURA, 2015). O SEL estrutura a forma urbana e é base indispensável para as cidades, pois, como afirma Queiroga (2011), é fundamental ao desempenho da vida cotidiana, na constituição da paisagem urbana, da imagem da cidade, sua história e memórias, participando na constituição das

esferas de vida pública e privada. Os espaços livres são as infraestruturas urbanas que conformam um conjunto sistêmico de subsistemas estruturantes do SEL.

Subsidiar um planejamento urbano para criar impacto positivo na qualidade ambiental urbana é um meio de contribuir para a melhoria das cidades. O espaço livre ainda não possui formalmente o *status* de infraestrutura e frequentemente é relegado pelos poderes públicos, acarretando muitas vezes em desastres ambientais (QUEIROGA, 2011). Para Magnoli (1982), a qualidade do espaço urbano compreende um dos fatores da qualidade de vida urbana. Além disso, a qualidade é fortemente determinada pelas configurações físicas desses espaços.

As questões ambientais e sociais precisam ser contempladas em conjunto e o princípio da diversidade é fundamental. Demantova (2007) argumenta pela construção da sustentabilidade urbana a partir de uma simbiose na paisagem urbana entre sustentabilidade social e sustentabilidade ambiental. Nessa circunstância, o bem-estar humano é obtido nas cidades mediante amplo e irrestrito acesso aos serviços ofertados pelos ecossistemas urbanos.

Queiroga e Sakata (2020) reconhecem que “a diversidade urbana brasileira e a população envolvida é passo relevante para o estabelecimento de diretrizes propositivas consequentes para seus sistemas de espaços livres e formas urbanas” (QUEIROGA; SAKATA, 2020, p. 17). É nesse sentido que esse trabalho percebe a conveniência de uma modelagem conceitual focada nos fluxos de circulação dos recursos entre os fixos do contexto urbano ambiental, aplicável às múltiplas escalas espaciais. É imprescindível abordar os processos lineares de produção, consumo e descarte de forma sistêmica, aplicando a lógica circular à movimentação dos recursos no território, com conexões de reutilização para reduzir simultaneamente a extração e o encaminhamento para disposição final.

Com a lógica circular, a busca por otimização do conjunto de processos dos elementos fixos da paisagem que ocorrem nos espaços livres de edificação possibilita melhorar a oferta de serviços ecossistêmicos produzidos nos espaços urbanos de acesso e uso públicos. A hipótese é que isso pode ser feito observando os processos metabólicos que ocorrem nos espaços livres inscritos no SEL e dentro o SEL e ecossistemas maiores, determinados pela forma urbana e pela localização geográfica.

Consideraram-se simultaneamente, nesse trabalho, volume edificado e não edificado, para identificar, atribuir sentido e direção às funções e aos elementos dos SEL associados à infraestrutura verde, com abordagem sistêmica. A partir disso,

foram modelados os fixos e os fluxos em diagramas conceituais, obtendo-se como resultado final uma representação em rede de um Sistema de Espaços Livres que é integrador de processos metabólicos urbanos sustentáveis. Espera-se com esta pesquisa somar à abordagem de Macedo para construir conhecimento sobre as cidades brasileiras, oferecendo um caminho de investigação das funções que a morfologia urbana pode desempenhar como infraestrutura urbana inscrita no SEL. Observando os objetivos das Oficinas de Diagnóstico, nas quais Macedo desafiava a: identificar as formas; identificar o papel da legislação na configuração das formas; identificar agentes públicos e privados; e compreender o papel de agentes públicos e privados nas transformações urbanas, localiza-se o escopo deste trabalho no exercício de identificação das formas. Os elementos da morfologia urbana nesta pesquisa foram qualificados como fixos no território, tendo em vista o foco em estruturar os fluxos entre subsistemas de infraestrutura urbanos. Por fim, espera-se, ainda, somar ao propósito comum de buscar continuamente oportunidades para atuar e intervir como arquiteto, urbanista e paisagista de maneira propositiva. Nessa perspectiva, aponta-se para um horizonte de integração holística no fazer profissional e nas propostas para a sustentabilidade urbana, com incentivo à maior convergência interdisciplinar.

3 METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa é exploratória bibliográfica, de natureza qualitativa, com abordagem sistêmica de cunho teórico-conceitual e indutiva, que utiliza um estudo de caso para modelar graficamente a interdependência de processos metabólicos urbanos.

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, as categorias analíticas Serviços Ecosistêmicos Urbanos e Sistema de Espaços Livres foram conceituadas a partir de uma revisão de literatura. Com relação ao conceito dos Serviços ecossistêmicos, a pesquisa apoiou-se principalmente sobre os documentos da Avaliação Ecosistêmica do Milênio e da *Common International Classification of Ecosystem Services*. Já a definição dos serviços ecossistêmicos urbanos foi fundamentada a partir dos trabalhos de Thalita Dalbello. O tópico do Sistema de Espaços Livres baseou-se em Miranda Magnoli, Silvio Macedo e Eugênio Queiroga.

A experiência adquirida ao longo da Especialização em Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo 90E (UNICAMP, 2021), que teve como objeto de estudo o Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS), forneceu subsídios para o desenvolvimento desta pesquisa. Os temas trabalhados ao longo das disciplinas, bem como os materiais produzidos no decorrer do curso contribuíram para que fossem identificados e selecionados os subsistemas (saneamento, agroprodução e infraestruturas verdes correlatas) utilizados como estratégia neste trabalho para alcançar o objetivo geral e os resultados esperados.

Buscou-se então, construir uma associação entre espaços livres e infraestruturas verdes, ambos integrados no SEL. Para isso, foi tomado como referência o Quadro 1 “Tipologias de Sistemas de Espaços Livres”, recuperado de Hulsmeyer (2014) para embasar a construção do Quadro 3 (Capítulo 4, item 4.1) “Infraestruturas Verdes no Sistema de Espaços Livres”. Hulsmeyer (2014) identifica e relaciona cada subsistema do Sistema Estrutural de Espaços Livres e do Sistema

Complementar de Espaços Livres com os tipos de espaços livres que podem conter (Quadro 1).

Quadro 1 - Tipologias de Sistemas de Espaços Livres.

SISTEMA ESTRUTURAL DE ESPAÇOS LIVRES - SEEL (predominantemente públicos)		
Subsistema	Tipos de Espaços Livres	
DE ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO SeL - CIR	Calçadas; ruas; avenidas; vielas; alamedas; estradas; estacionamentos; vias parque; ciclovias; caminhos de pedestres; calçadão; canteiros centrais; rotatórias; viadutos; faixas de domínio ferrovia e rodovia; taludes; trevos; remanescentes de sistema viário.	
DE ESPAÇOS DE CONSERVAÇÃO SeL - CON	APP; unidades de conservação; encostas; matas nativas; bosques urbanos; florestas urbanas; áreas de reflorestamento; corredores ecológicos	
DE ESPAÇOS DE PRÁTICAS SOCIAIS SeL - PS	Mirantes; Pátios; Recantos; Jardins; Largos;	
	Praças	Contemplativas; Recreativas; Esportivas; Conservação; Memoriais
	Parques nucleares intraurbanos	Contemplativas; Recreativas; Esportivas; Conservação
	Parques lineares	De rede hídrica fluvial; de sistema viário
	Parques de Bolso ou <i>pocket parks</i> ; quadras esportivas polivalentes; campos de futebol de várzea; equipamento públicos de recreação.	
ESPAÇOS HÍDRICOS E DE DRENAGEM SeL - HIDRE	Corpos d'água: rios, córregos, riachos, lagos, represas.	
SISTEMA COMPLEMENTAR DE ESPAÇOS LIVRES - SCEL (predominantemente privados ou semipúblicos)		
Subsistema	Tipos de Espaços Livres	
COLETIVO (privados, semipúblicos)	Clubes, chácaras de lazer; jardins institucionais; pátios de empresas; campus universitário; escolas; centros culturais; associações.	
INDIVIDUAL	Jardins particulares; quintais; recuos e afastamentos; chácaras de lazer.	

Fonte: Adaptado de HULSMEYER, 2014, p. 172.

Na construção do Quadro 3 (Capítulo 4, item 4.1) as duas primeiras colunas à esquerda elencam os subsistemas e os espaços livres que os constituem tal qual Hulsmeier (2014), com algumas adequações ao escopo desta pesquisa. No subsistema dos “Espaços de Conservação”, alguns nomes foram alterados para se tornarem menos restritivos e se adequarem também à complexidade ecológica do

HIDS: “bosques urbanos” e “florestas urbanas” passaram para apenas “bosques” e “florestas”. Já “matas nativas” foram substituídas por “remanescentes de vegetação” e “áreas de reflorestamento” por “áreas reflorestadas”. Nos “Espaços de Práticas Sociais”, o elemento “mirantes” foi retirado. No subsistema “Coletivo”, os “clubes”, “chácaras de lazer”, “campus universitário”, “escolas”, “centros culturais” e “associações” foram todos agrupados no termo “equipamentos de uso coletivo”. Também se acrescentou neste subsistema os “espaços intraquadra” e “fruição pública”, tipologias que integraram o exercício de projeto do HIDS.

Esses espaços foram reorganizados e agrupados dentro de cada subsistema, conforme as escalas “lote, edificação, quadra, bairro, cidade/distrito”. Após isso, os materiais utilizados e produzidos durante o curso de especialização foram consultados para selecionar as tipologias de infraestruturas verdes inseridas na no Quadro 3 e associadas a cada categoria e escala dos espaços livres. Dentre as referências utilizadas estão: a plataforma *Nature4Cities* (NATURE4CITIES, 2017), o caderno *Low Impact Development: opportunities for the planet region* (UNIVERSITY OF TENNESSEE, 2013), as dissertações *A Fitorremediação como Estratégia de Projeto para a Sustentabilidade Urbana* (MENDES, 2018) e *Urban Environmental Quality: exploring and analysing Nature-Based urban design solutions for Brussels. Proposal for a common typological classification* (KAWA, 2020). Destaca-se, ainda, os projetos referenciais Parque do Cocó dos escritórios Base Urbana e COTA760 (SOUZA, 2018), além de *Ananas New Community*, de *Praderas New Community* e o campus do Instituto Politécnico da Virginia (SASAKI ASSOCIATES, 2021a, 2021b, 2021c.).

As relações estabelecidas entre os sistemas de espaços livres e as tipologias de infraestruturas verdes (Quadro 3, Capítulo 4, item 4.1) fundamentam o estabelecimento do nexos lógico entre os subsistemas saneamento e de agroprodução, resultando em dois fluxogramas (Figuras 11 e 12, item 4.2). Essa modelagem considerou os elementos fixos (infraestruturas), suas funções e a circulação dos recursos entre esses elementos (fluxos metabólicos materiais e energéticos) para integrar visualmente os dois subsistemas em análise. No primeiro diagrama (Figura 11, item 4.2), foram utilizados os espaços livres que poderiam conter a componente azul das infraestruturas cinzas e verdes dos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário, tendo como fluxo principal o movimento das águas no meio urbano. Já o segundo (Figura 12, item 4.2), utiliza as infraestruturas dos

sistemas agroprodutivos, enfocando os fluxos de matérias-primas, alimentos e resíduos.

Nessas imagens (Figuras 11 e 12, item 4.2), os fluxos são representados por linhas com setas que indicam seu sentido. Cada tipo de fluxo possui uma cor: fluxos de águas em azul; fluxos de agroprodução em vermelho; fluxos de resíduos em marrom; fluxos de energia em amarelo; fluxos de matéria em laranja. Há ainda linhas pontilhadas, que representam os fluxos dos processos metabólicos circulares, onde recursos de saída são incorporados sistemicamente como recursos de entrada, integrando processos que, muitas vezes, encontram-se isolados e desconexos uns dos outros nas cidades. Nestes fluxos, as linhas pontilhadas azuis representam caminhos de reúso das águas após tratamento, enquanto as linhas pontilhadas verdes, os fluxos de materiais reaproveitados. Todas as linhas também variam em espessura para simular, de modo conceitual, o volume de cada fluxo. A Figura 3 sintetiza a representação dos elementos citados.

Figura 3 - Representação dos elementos fixos e fluxos utilizados na construção dos resultados deste trabalho.



Fonte: Autoria própria (2021).

Quanto aos fixos, os retângulos com preenchimento sólido ilustram as tipologias de infraestruturas verdes e de espaços livres. As circunferências e retângulos tracejados ilustram conjuntos ou sistemas dentro dos subsistemas. Os

ícones incluem as infraestruturas comuns a todos os diagramas elaborados. Nos ícones estão representadas as principais infraestruturas cinzas e verdes pertencentes a cada subsistema (saneamento e agroprodução). Alguns deles agrupam mais de uma tipologia de infraestrutura verde, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 - Ícones das infraestruturas e seus elementos pertencentes.

INFRAESTRUTURAS	ELEMENTOS PERTENCENTES	INFRAESTRUTURAS	ELEMENTOS PERTENCENTES
 Organismos vivos	Inclui os processos metabólicos dos diversos organismos vivos	 Corpos Hídricos	Inclui corpos hídricos superficiais e subterrâneos.
 Água potável	Água que pode ser consumida por humanos e animais sem riscos à saúde.	 ETA	Inclui os processos de tratamento da água após a captação, conferindo-lhe condições de potabilidade.
 Água de reúso	Inclui águas com diferentes padrões que podem ser utilizadas para múltiplos fins não potáveis	 Reservatórios de água	Armazena e redireciona a água potável para a rede de distribuição.
 Águas residuárias	Inclui todos os tipos de águas residuais, descartadas após os diversos tipos de uso, inclusive as águas pluviais.	 ETE	Inclui diferentes modelos convencionais de Estações de Tratamento de Efluentes Líquidos.
 Dispositivos de retenção, retenção e tratamento das	Inclui biovaletas, jardins de chuva, canteiros pluviais, bacias de retenção, bacias de retenção, jardins e margens filtrantes, jardins flutuantes, pavimentos drenantes, entre outros.	 Jardins produtivos comunitários	Inclui diversas modalidades de agricultura urbana de menor escala, preferencialmente comunitária, mas também individual. Podendo se valer de jardins, estufas, pomares, hortas, criações animais e jardins de polinização.
 Armazenamento e tratamento das águas pluviais	Inclui cisternas e armazenamento subterrâneo de águas.	 Sistemas agroflorestais	Inclui toda produção agroflorestal urbana.
 Superfícies verdes	Superfícies externas das edificações tratadas como infraestrutura verde. Inclui coberturas e fachadas verdes.	 Agricultura urbana,	Inclui preferencialmente todas as técnicas de produção agrícola sustentável em escalas maiores.
 Resíduo sólido orgânico	Inclui todos os resíduos sólidos que podem ser compostados	 Compostagem	Inclui diversas práticas de compostagem, para diferentes escalas, da doméstica à industrial.
 Rejeito	Resíduo que não possui qualquer possibilidade de recuperação ou reutilização.	 Resíduo sólido reciclável	Inclui todos os resíduos sólidos recicláveis que não serão compostados.
 Aterro sanitário	Destino final e seguro para disposição dos rejeitos.	 Cooperativas de reciclagem	Realizam as atividades de coleta seletiva, triagem e comercialização de resíduos recicláveis.
 Produção de biocombustíveis	Inclui técnicas de reaproveitamento de biomassas e biogás em geral para produção de biocombustíveis.	 Ecopontos	Local público para entrega de resíduos recicláveis, grandes objetos, restos de podas e alguns entulhos.
		 Indústrias recicladoras	Transformam os resíduos sólidos recicláveis em recursos.

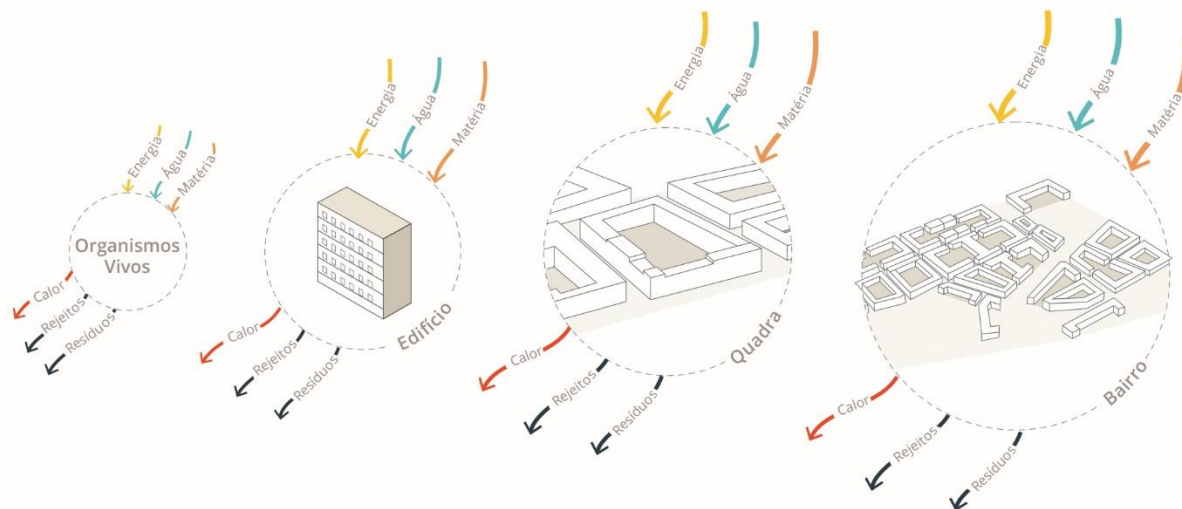
Fonte: Autoria própria (2021).

A necessidade de agrupamento e de representação das infraestruturas surgiu durante a elaboração da Figura 13 (item 4.4), que modela conceitualmente os fluxos dentro do nexos lógico entre saneamento e agroprodução nas múltiplas escalas do ecossistema urbano. Como as infraestruturas verdes complexificam as relações dentro desses subsistemas, foi necessário sintetizá-las em ícones para melhorar a legibilidade da figura. Esta imagem (Figura 13, item 4.4) foi construída com circunferências concêntricas, cada uma remetendo a uma escala do ecossistema urbano. Adotou-se a maior escala dos ecossistemas naturais, seguida dos

ecossistemas urbanos, conceitos fundamentais do segundo capítulo deste trabalho. Mais adentro, há a escala do bairro e a escala da quadra. Na escala da quadra também está incluída a escala do lote, trabalhada no Quadro 3 (Capítulo 4, item 4.1). Isso se deve à flexibilidade que o modelo requer para se adaptar a diferentes propostas morfológicas e tipológicas urbanas, como é o caso do projeto desenvolvido para o HIDS no curso de especialização. A título de exemplo, foram projetadas quadras com lotes únicos e ocupação perimetral, um padrão de parcelamento diferente do que é usualmente encontrado em cidades brasileiras. Mais ao centro, encontra-se a escala da edificação e, exatamente no centro, a escala dos organismos vivos. Ressalta-se a importância desta última escala, pois, dentro do quadro referencial utilizado para conceituação de serviços ecossistêmicos, representa o ponto de partida da relação de interdependência entre os seres vivos, inclusos os seres humanos, e os ecossistemas. Portanto, são elementos-chave do conceito de serviços ecossistêmicos e, por conseguinte, das estratégias investigadas para ampliar os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, visando o bem-estar humano.

Nas linhas de cada escala (Figura 13, item 4.4), foram dispostos os ícones de cada infraestrutura na sua devida proporção. Por entre eles, circulam os fluxos metabólicos na mesma lógica dos diagramas anteriores (Figuras 11 e 12, item 4.2). Na Figura 13 (item 4.4) os fluxos abrangem desde os elementos dos ecossistemas naturais situados além dos limites territoriais do ecossistema urbano até o corpo humano. Ao atravessarem cada escala, os fluxos metabólicos interagem com os elementos fixos que compõem o Sistema de Espaços Livres e outros espaços vegetados que dinamizam as funções da paisagem urbana. A Figura 4 representa a lógica aqui rapidamente exposta, explanada em maior profundidade na fundamentação teórica desenvolvida no Capítulo 2, e utilizada na confecção dos diagramas apresentados no Capítulo 4 (Figuras 11 e 12, item 4.2 e Figura 13, item 4.4).

Figura 4 - Esquema dos fluxos metabólicos nas diferentes escalas urbanas.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Por fim, os resultados gráficos obtidos foram discutidos à luz do conceito de Sistema de Espaços Livres, do bem-estar humano e das dimensões (social, ambiental e econômica) da sustentabilidade, conectando-os aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. As ideias da autora Thalita Dalbello foram utilizadas como referência para conectar as infraestruturas verdes presentes nos espaços livres, aos serviços ecossistêmicos urbanos e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Quadro 5, Capítulo 4, item 4.5).

3.3 Estudo de Caso

3.3.1 HIDS como ecossistema urbano

A construção deste trabalho se deu ao longo da Especialização em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil oferecida pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP, 2021), curso norteado pelo desafio de elaborar uma proposta urbana para o Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS).

Localizado no município de Campinas, SP, o território do HIDS abrange os *campi* de duas universidades (UNICAMP e PUC-Campinas), uma faculdade (FACAMP) e a área do Polo II CIATEC (Companhia de Desenvolvimento do Pólo de Alta Tecnologia de Campinas), na qual estão instalados importantes equipamentos de pesquisa e desenvolvimento (Figura 5).

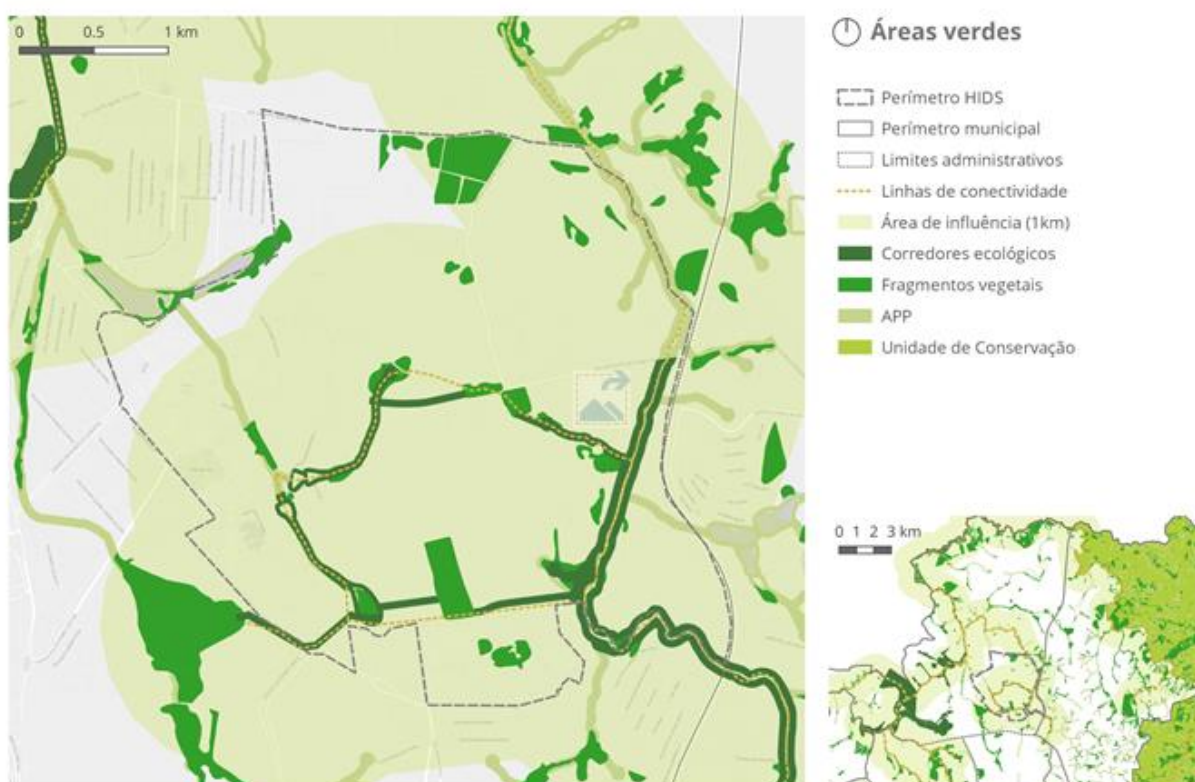
Figura 5 - Equipamentos pertencentes ao território do HIDS.



Fonte: CELANI, 2021.

A porção leste desta área é contígua à SP-340, Rodovia Governador Doutor Adhemar Pereira de Barros, que conecta os municípios de Campinas e Mogi-Guaçu, adquirindo outras denominações ao longo de sua extensão até a divisa com o estado de Minas Gerais, nos arredores de Mococa, SP. Ao sul, é delimitada pelo campus I da PUC-Campinas, loteamentos de baixa densidade com residências isoladas em lotes de alto padrão, além de uma extensa área ainda não urbanizada, ocupada por fazendas que margeiam a SP-65, Rodovia Dom Pedro I. Ao norte e a oeste, as fronteiras do HIDS são delimitadas pelo campus “Cidade Universitária Zeferino Vaz” da UNICAMP e por área urbana consolidada, pertencentes ao distrito de Barão Geraldo.

Figura 6 - Mapa das áreas verdes da região do HIDS.



Fonte: CELANI, 2021.

O HIDS é um ecossistema complexo no qual múltiplos agentes estão envolvidos: universidades, prefeitura municipal, governo estadual, empresas, centros de pesquisas, a comunidade que já convive e a que integrará o local futuramente. Vale ainda destacar que existem na região características ambientais muito particulares que, ao mesmo tempo, se colocam como desafios, pela necessidade de preservação, e como potencialidades, pela possibilidade de aumentar a qualidade ambiental

urbana. Além de dois cursos d'água superficiais (Ribeirão das Anhumas e Ribeirão das Pedras), encontram-se no território diversos fragmentos florestais, alguns em estágios avançados de recuperação e com previsão de aumento da conectividade em futuro breve, dado que já há corredores ecológicos previstos pela municipalidade, com demarcação planejada e amparada por legislação recente desenvolvida no âmbito do Plano Municipal do Verde da cidade de Campinas, estabelecido pelo Decreto Municipal nº19.167/16.

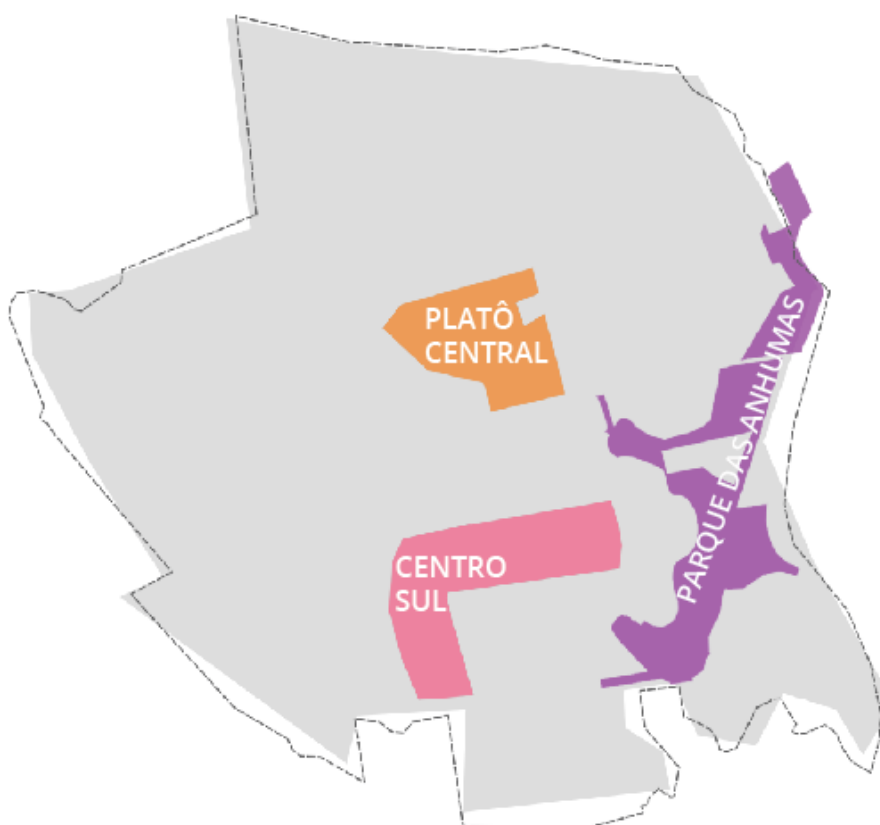
Demandas e condicionantes do território do HIDS conferem-lhe uma vocação para se tornar um ambiente de inovação e de desenvolvimento tecnológico integrado à natureza. Por esta razão, o hub está sendo pensado para ser um distrito modelo de sustentabilidade urbana, dentro do conceito de cidade inteligente, que com a cooperação entre seus diversos atores, possa explorar múltiplas alternativas para a consecução da Agenda 2030 da ONU e, portanto, o alcance das metas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

O fato de se tratar de uma área com uma urbanização ainda não consolidada confere ao HIDS um horizonte de possibilidades para outro tipo de desenvolvimento territorial urbano, que se concretize como um laboratório-vivo de soluções sustentáveis. Para o estudo e planejamento da área foi firmado um convênio entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a UNICAMP e a Prefeitura Municipal de Campinas. A Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) criou então um programa de pós-graduação lato sensu para estudar a área compreendida pelo HIDS, explorando cenários preliminares para o uso e ocupação do território.

A especialização foi composta por disciplinas obrigatórias, disciplinas eletivas e pelo estágio supervisionado. Ao longo das disciplinas foram estudados diversos temas relacionados à sustentabilidade urbana, às pesquisas na área de planejamento e desenho urbano e à compreensão e análise do território da cidade de Campinas e do distrito de Barão Geraldo. No estágio, primeiro foram analisados diversos projetos de renovação urbana e parques tecnológicos, extraindo deles vinte e uma soluções de sustentabilidade. Depois, estudou-se sistemas internacionais de certificação ambiental para descobrir estratégias e práticas sustentáveis que pudessem ser incorporadas ao projeto do HIDS. Houve também uma leitura do território, com posterior definição de princípios e diretrizes que orientassem as propostas de uso e ocupação para a área, elaboradas na última etapa.

Todas as atividades desenvolvidas ao longo do curso, contribuíram na construção de um repertório de estratégias para estruturar um território visando a sustentabilidade urbana e de um embasamento para a desenvolver a metodologia deste trabalho. No exercício projetual final da especialização, três recortes espaciais dentro da área do HIDS foram selecionados e cada um recebeu um nome e uma proposta de desenho urbano: o Parque das Anhumas, o Platô Central e o Centro Sul (Figura 7).

Figura 7 - Áreas do HIDS trabalhados no exercício projetual.

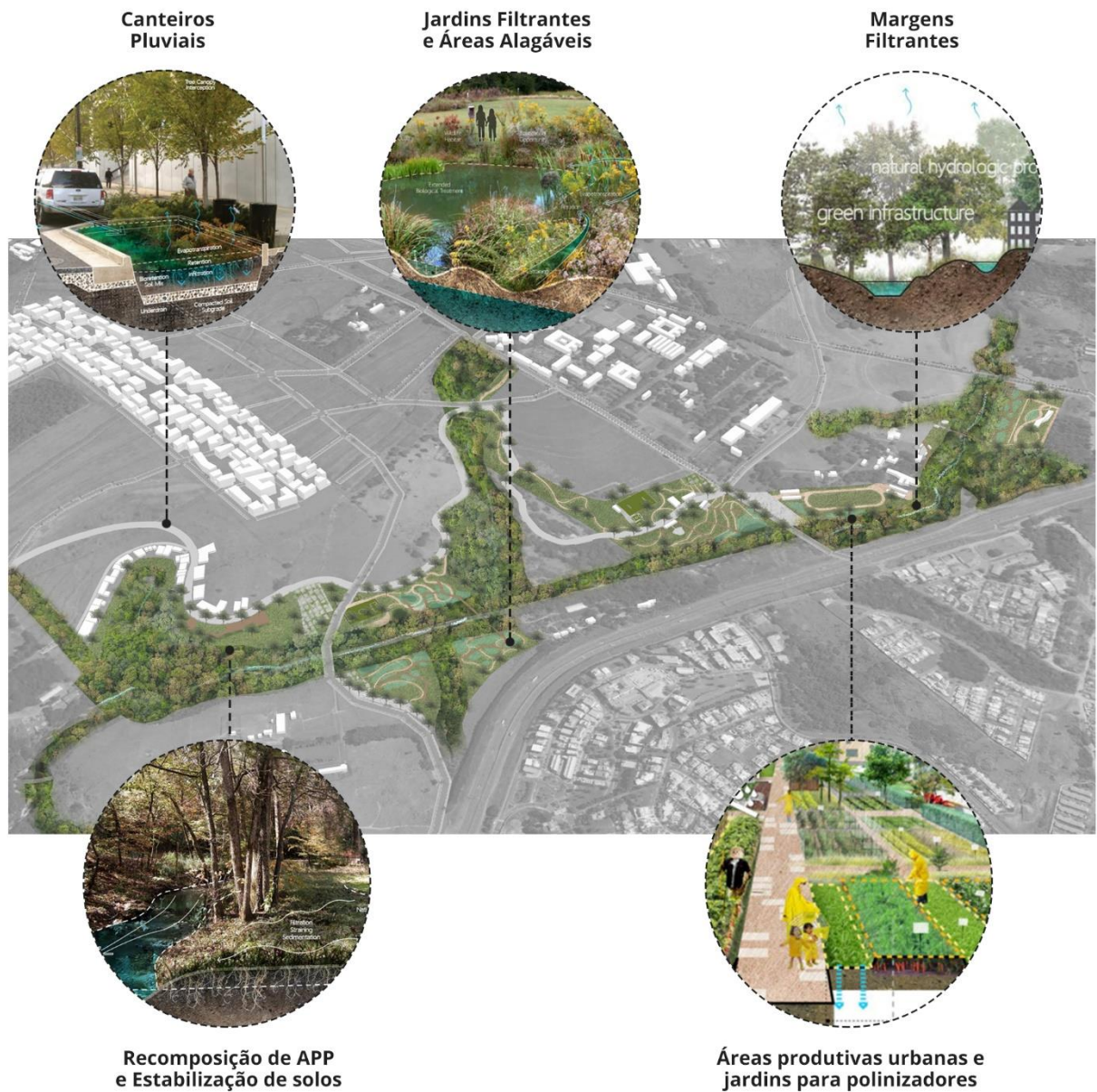


Fonte: CELANI, 2021.

3.3.2 Subsistemas de infraestrutura no SEL

No processo de projeto das três áreas (Figura 7) foi recorrente a utilização de Soluções Baseadas na Natureza, dentre as quais as infraestruturas verdes, almejando a qualidade ambiental urbana, a manutenção da saúde dos ecossistemas locais e o bem-estar humano, conforme ilustram as Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto do Parque das Anhumas - exemplos.



Fonte: Celani (2021), University of Tennessee (2013), Sasaki associates (2021a).

Figura 9 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto do Platô Central - exemplos.



Fonte: Celani (2021), University of Tennessee (2013), Sasaki associates (2021a, 2021b).

Figura 10 - Soluções Baseadas na Natureza utilizadas no projeto da área Centro Sul - exemplos.



Fonte: Celani (2021), University of Tennessee (2013), Sasaki associates (2021a).

Nas três áreas projetadas, nota-se a ampla adoção de Soluções Baseadas na Natureza referentes à produção de alimentos e à drenagem e fitorremediação das águas pluviais. Isto reforçou a formulação da hipótese inicial de que a integração entre os subsistemas de saneamento e agroprodução por meio das infraestruturas verdes nos sistemas de espaços livres amplia e melhora a oferta dos serviços ecossistêmicos urbanos.

3.3.2.1 Subsistema Saneamento

O marco legal do saneamento básico brasileiro estabelecido pela Lei nº 11.445/2007 e atualizado pela Lei nº 14.026/2020 define como saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de drenagem e manejo águas pluviais urbanas (BRASIL, 2020). A legislação determina que os serviços públicos de saneamento básico observem princípios fundamentais como a conservação dos recursos naturais e a proteção do meio ambiente; a adoção de métodos que considerem as peculiaridades locais e regionais; a articulação de políticas de desenvolvimento urbano de combate e erradicação da pobreza; a redução das perdas de água e a racionalização do seu consumo; o incentivo ao reúso de efluentes sanitários e ao aproveitamento de águas da chuva; a redução das desigualdades regionais; a geração de emprego e de renda e a inclusão social para a promoção da saúde pública (BRASIL, 2020).

Atualmente, muitas cidades vêm enfrentando problemas relacionados à redução da disponibilidade e até escassez de água limpa e à poluição das águas, como eutrofização de corpos hídricos, alagamentos e enchentes, proliferação de doenças de veiculação hídrica e arboviroses. Com a degradação da qualidade das águas superficiais, cada vez mais recorre-se às reservas de água subterrâneas para o abastecimento urbano. Essa demanda crescente por águas subterrâneas apresenta riscos de superexploração, de contaminação dos lençóis freáticos e outros danos ambientais, que se acentuam quando as formas de captação são clandestinas. Cabe, ainda, considerar a poluição difusa, decorrente do descarte inadequado de resíduos sólidos e do carreamento de sedimentos e de elementos químicos nocivos presentes no solo urbano, que chegam aos corpos hídricos pelo escoamento superficial das águas pluviais e que podem atingir as águas subterrâneas por percolação. Como as águas subterrâneas são necessárias para o contínuo afloramento das águas superficiais, fecha-se um ciclo de poluição dentro da dinâmica hidrológica, pois a contaminação das águas subterrâneas leva à contaminação das águas superficiais e vice-versa (Nissen *et al.*, 2017).

Sobre a gestão eficiente dos recursos hídricos, para Nissen *et al.* (2017), o potencial de ampliar a resiliência urbana diante dos distúrbios naturais causados pelas mudanças climáticas reside em não enxergar a cidade como um sistema fechado,

considerando as áreas urbanas no gerenciamento de bacias hidrográficas. Nessa linha, Nissen *et al.* (2014) veem nos corpos d'água, nos espaços verdes e nas áreas naturais urbanas um grande potencial para a oferta de serviços ecossistêmicos, fator ainda a ser mais amplamente considerado no planejamento urbano e na formulação de políticas públicas. Deduz-se dessas leituras que os ecossistemas nas regiões urbanas precisam ser manejados de forma a garantir serviços ecossistêmicos como provisão de água limpa, recarga de aquíferos, regulação da temperatura e umidade do ar e oportunidades recreacionais, para salvaguardar o bem-estar humano, a biodiversidade e criar cidades mais atraentes e saudáveis.

No escopo deste trabalho, entende-se por sistemas sustentáveis de saneamento aqueles que são economicamente viáveis, socialmente aceitáveis e tecnicamente adequados para a coleta, transporte e tratamento dos efluentes e dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, é ideal que eles também protejam o meio ambiente e os recursos naturais (Nissen *et al.*, 2017). Nessa linha, Nissen *et al.* (2014) propõem que se pense em “impacto zero”. Para isso, sugerem contabilizar os recursos de entradas e saídas de um sistema e considerar a recirculação interna dos fluxos para a redução de ambos. Toma-se esta sugestão como incentivo a investigar soluções que promovam esse conceito através, por exemplo, da reciclagem de nutrientes dos resíduos líquidos e sólidos, momento em que a agricultura urbana (AU) apresenta oportunidades ao se valer dessas estratégias de ciclagem para a produção de alimentos em áreas urbanas. A AU pode colaborar para redução da demanda da cidade por suprimentos externos e de aumento da sensibilidade da população ao conhecimento sobre a natureza urbana e os modos de agroprodução urbanos. No mesmo sentido, Nissen *et al.* (2017) destacam que para criar o contexto “Lixo Zero” em ambientes urbanos, pode-se utilizar as águas residuárias como fonte de calor, fertilizantes, minérios e outras substâncias que delas possam ser extraídas, além de implementar sistemas e políticas de reúso para melhorar a resiliência dos sistemas de abastecimento de água no meio urbano.

O conceito de “Lixo Zero” remete, primordialmente, à gestão dos resíduos sólidos urbanos. A Zero Waste International Alliance (ZWIA, 2018) define Lixo Zero como a “conservação de todos os recursos a partir da produção, consumo, reutilização e recuperação responsáveis de produtos, embalagens e materiais sem queimá-los ou descartá-los no solo, água ou ar que ameacem o meio ambiente ou o bem-estar humano”.

Para sua implementação, o modelo do Lixo Zero propõe uma progressão hierárquica de políticas e estratégias. Em primeiro lugar, repensar os modos de produção e o consumo pautando-se nas ideias de uma economia circular. Em seguida, reduzir a geração de resíduos, consumindo com mais parcimônia e priorizando a reutilização dos materiais e produtos, a reciclagem e a compostagem.

A política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, meio pelo qual se pode efetivar uma política Lixo Zero no país, também propõe uma ordem de prioridades para o gerenciamento dos resíduos sólidos, devendo adotar na seguinte ordem: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Percebe-se como essa lei contém princípios alinhados com uma visão sistêmica que considera as variáveis culturais, sociais, econômicas, tecnológicas e de saúde pública, sendo que um dos seus objetivos é o incentivo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços (BRASIL, 2010).

Segundo Rutkowski e Dalbello (2017), para a manutenção eficiente da oferta de serviços ambientais urbanos, deve-se adotar um modelo de consumo que remeta a economia circular e mantenha os materiais nos sistemas produtivos. As autoras também ressaltam a importância dos catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis e da coleta seletiva solidária para o retorno desses resíduos aos processos industriais (RUTKOWSKI; DALBELO, 2017).

3.3.2.2 Subsistema Agroprodução

Hoje, a produção alimentar é uma das maiores desencadeadoras da perda de biodiversidade, da poluição do ar e das águas, do desmatamento, da degradação do solo e da escassez hídrica. Estima-se que ela ocupa 50% do solo habitável do planeta, consome 70% das fontes disponíveis de água doce e produz em torno de ¼ da emissão global dos gases de efeito estufa (ONU, 2021).

Os altos índices alcançados de produção agrícola acarretaram diversas externalidades: os sistemas produtivos já excederam os limites planetários para os principais recursos e têm impactado em grande perda e desperdício de alimentos. Os padrões de dietas atuais também têm resultado em mortalidade prematura e a susceptibilidade a doenças crônicas e infecciosas. Há ainda uma profunda desigualdade, incluindo a persistência da fome e da insegurança alimentar e a luta

dos trabalhadores por meios de subsistência decentes em todos os sistemas alimentares. Por fim, as inter-relações entre população, segurança alimentar, nutrição e desenvolvimento sustentável envolvem mais do que uma mera suficiência de calorias para uma população em crescimento (ONU, 2021).

Para garantir o futuro e o bem-estar da população humana, as pessoas necessitam de uma alimentação saudável, produzida com relações de trabalho justas e processos sustentáveis em todas as etapas das cadeias de produção e de consumo. Nesse sentido, deve-se considerar também mudanças culturais nas dietas alimentares, preconizando uma expressiva redução no consumo de proteínas de origem animal. Dentro desse contexto, a agricultura urbana (AU) pode ser considerada um dos pilares da sustentabilidade socioambiental no meio urbano (LEMOS, 2016). Lina, Philpott e Jahc (2015) definem a AU como atividade de produção de gêneros alimentícios ou não, desenvolvida em áreas urbanas e periurbanas e integrada com os sistemas econômicos e ecológicos locais.

Para Lemos (2016), a integração da função agrícola com as cidades pode construir um novo modo de vida urbano com ênfase nas iniciativas comunitárias de âmbito local. Além disso, ao diminuir as longas distâncias entre os pontos de produção e consumo, a logística de distribuição é alterada. Isso implica a redução do desperdício de alimentos e permite a redução da capacidade produtiva, pressionando menos os ecossistemas. Também contribui para mitigar impactos ambientais relacionados às mudanças climáticas, pois reduz a necessidade de combustíveis fósseis e aumenta a quantidade de áreas permeáveis urbanas.

Batitucci *et al.* (2019) enfatizam a capacidade da AU de minimizar a entrada de recursos e otimizar os fluxos de energia e da ciclagem de nutrientes, porque a AU viabiliza a redução do uso de combustíveis fósseis, o reaproveitamento de resíduos sólidos, o aumento da biodiversidade e a melhoria no manejo das águas. Auxilia, ainda, na geração de renda, na qualidade da paisagem urbana e na segurança alimentar e nutricional (BATITUCCI *et al.*, 2019).

Com relação à conservação da biodiversidade, os sistemas produtivos urbanos são uma estratégia importante. Ao proporcionar uma maior complexidade animal e vegetal, esses sistemas aumentam sua capacidade de ofertar serviços ecossistêmicos urbanos como a eficiência energética, drenagem e armazenamento de águas pluviais, remoção da poluição do ar, sequestro de carbono, polinização e controle de pragas e doenças. As áreas agricultáveis também devem adotar práticas

sustentáveis de manejo para evitar que serviços sejam convertidos em “desserviços ecossistêmicos” (LINA; PHILPOTTB; JAHC, 2015).

Outra característica fundamental para a adoção da AU é seu papel como ferramenta de educação ambiental, como meio de sensibilização coletiva sobre hábitos alimentares e sobre a proteção da natureza e de seus ciclos naturais, servindo de base para uma sociedade mais harmônica e com mais justiça social.

3.3.2.3 Infraestrutura Verde

As infraestruturas verdes são uma rede planejada de áreas naturais e seminaturais, projetadas e gerenciadas para fornecer ampla gama de serviços ecossistêmicos que sustentam o bem-estar humano. Esta rede incorpora os espaços verdes, espaços azuis (quando envolve ecossistemas aquáticos) e outras características físicas dos ambientes terrestres e marinhos (EC, 2013). Demuzere *et al.* (2014) interpretam as infraestruturas verdes urbanas como uma infraestrutura híbrida entre os espaços verdes e ambientes construídos, incluindo florestas, áreas úmidas, parques e coberturas e paredes verdes.

Para Cormier e Pellegrino (2008, p.128), a infraestrutura verde “é uma maneira de reconhecer e aproveitar os serviços que a natureza pode realizar no ambiente urbano”. Sendo que, ao mimetizarem funções ecológicas e hidrológicas dos ambientes naturais, essas infraestruturas permitem que os espaços abertos urbanos sejam tratados paisagisticamente não como meras ações de embelezamento urbano, mas para incremento de qualidade ambiental urbana com finalidades estruturais relacionadas a: manejo de águas, conforto ambiental, biodiversidade, circulação, acessibilidade e imagem local (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Os modelos tradicionais de urbanização baseados em infraestruturas cinzas monofuncionais menosprezam as dinâmicas naturais, especialmente quando os sistemas e suas tecnologias desenvolvidos para um determinado contexto geográfico são implementadas em condições climáticas e culturais sem uma adequação correspondente. Dentre as consequências negativas, pontuam-se: supressão de vegetação nativa e ocupação de áreas naturalmente suscetíveis a alagamentos, gerando inundações, além de ilhas e ondas de calor, podendo incorrer em agudamento dos períodos de estiagem. Contrariamente, infraestruturas verdes são intervenções de alto desempenho e baixo impacto na paisagem (HERZOG;

ROSA, 2010). Há duas características essenciais para que esses sistemas funcionem como tal: a conectividade e a multifuncionalidade (MAES *et al.*; 2015).

O conceito busca no campo da ecologia da paisagem a necessidade de conectividade dos ecossistemas para sua proteção e para que possam ofertar os serviços ecossistêmicos. Ao reproduzir os processos naturais que ocorrem na paisagem, estas infraestruturas ampliam de forma holística a quantidade de funções e benefícios que uma mesma estrutura pode conter. Contribuem, portanto, para minimizar os riscos de desastres naturais, aumentar a resiliência dos ecossistemas e mitigar os impactos advindos das mudanças climáticas (EEA, 2011).

Cormier e Pellegrino (2008, p.141) argumentam que infraestruturas verdes tornam os espaços abertos elementos essenciais para uma revitalização ecológica, social e econômica das cidades, pois seu uso “abre novas fontes de investimentos e oportunidades de trabalho e engaja novos parceiros e aliados”. Dentre outros benefícios obtidos, Demuzere *et al.* (2014) identificam a captura de CO₂, o conforto térmico e a redução no consumo energético e no risco de enchentes, além de melhoria na qualidade das águas e do ar. Apontam também os efeitos psicológicos e sociais positivos, com benefícios restaurativos para a saúde humana, para o aumento da capacidade de indivíduos, coletivos e sociedades de enfrentarem problemas e pelas oportunidades de educação ambiental. Porém, os autores ressaltam a necessidade de que sejam bem planejadas, implementadas e monitoradas. Também sugerem que, por sua complexidade, a avaliação dos benefícios ofertados considere as diferentes escalas espaciais, pois as dinâmicas espaço-temporais influenciam nas interações entre os serviços (DEMUZERE *et al.*; 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, as infraestruturas verdes, como elementos integrados no Sistema de Espaços Livres (SEL), são sistematizadas como estratégias para que estes espaços possam ampliar e melhorar sua oferta de serviços ecossistêmicos. Inicia-se com o Quadro 3 (item 4.1), expandindo a proposta de “Tipologias de Sistemas de Espaços Livres”, sistematizada por Hulsmeyer (2014), indicando uma variedade de infraestruturas verdes que podem ser incorporadas em diferentes tipos e escalas de espaços livres. Em seguida, no item 4.2 demonstra-se graficamente (Figuras 11 e 12) o nexos entre os subsistemas de saneamento, agroprodução e infraestruturas verdes. Cada figura foca num conjunto específico de infraestruturas. A Figura 11 destaca as infraestruturas verdes dos sistemas relacionados às águas no meio urbano e a Figura 12, as infraestruturas verdes agroprodutivas. Ambos os diagramas são discutidos no item 4.3, onde buscou-se identificar os serviços ecossistêmicos urbanos, ou seja, os benefícios que esses subsistemas podem ofertar para as pessoas. Como síntese dos resultados, o tópico 4.4 apresenta uma modelagem conceitual (Figura 13) dos fluxos metabólicos identificados nas diferentes escalas dos subsistemas mencionados. A discussão final será realizada à luz da sustentabilidade urbana, no item 4.5, onde as infraestruturas verdes são correlacionadas aos serviços ecossistêmicos e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

4.1 AS INFRAESTRUTURAS VERDES NO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES

No Quadro 3 foram relacionadas tipologias de infraestruturas verdes que podem ser adotadas nos sistemas de espaços livres urbanos. Na primeira coluna, da esquerda para a direita, os títulos a 90 graus indicam os tipos de espaços livres que podem compor os Subsistemas de SEL Estrutural, subdivididos em seis categorias: espaços de circulação, espaços de conservação, espaços de práticas sociais, espaços hídricos e de drenagem, espaços coletivos privados e semipúblicos e espaços individuais. Esses espaços foram hierarquizados e agrupados conforme as respectivas escalas de abrangência no território urbano, determinadas na terceira coluna (lote, edificação, quadra, bairro e cidade/distrito). A coluna central, por sua vez, elenca quais tipologias de infraestrutura verde poderiam ser utilizadas, associadas a

cada tipo ou a um conjunto tipológico de espaços livres. Esta associação acontece sempre com uma leitura no sentido horizontal das linhas do quadro.

Quadro 3 - Infraestruturas Verdes no Sistema de Espaços Livres

Subsistemas de SEL Estrutural		Infraestrutura Verde	Escala
Espaços de Circulação	Calçadas, Vieiras, Calçada, Caminhos de pedestres, Ciclovias, Ruas, Vias Parque, Alamedas e Avenidas	Biovaletas Canteiros Pluviais Jardins de Chuva Pavimentos Drenantes Ruas Verdes Corredores de Polinização	Bairro
	Talude	Terraceamento Bioengenharia para Estabilização de Solos	
	Rotatórias, Canteiros centrais e Trevos	Jardim de Chuva Bacia de Detenção Jardins Filtrantes	
	Estacionamentos	Canteiros Pluviais Pavimentos Drenantes Armazenamento Subterrâneo de Águas	Quadra
	Viadutos	Jardins Verticais	Cidade/Distrito
	Estradas, Faixas de domínio e Remanescentes do sistema viário	Canteiros Pluviais Bacias de Detenção	
Subsistemas de SEL Estrutural		Infraestrutura Verde	Escala
Espaços de Conservação	APP	Áreas de Amortecimento Sistemas Agroflorestais Recomposição de Vegetação Nativa Habitats para Vida Selvagem Bioengenharia para Estabilização de Solos Estabilização de Encostas	Cidade/Distrito
	Bosques		
	Remanescentes de vegetação		
	Áreas reflorestadas		
	Florestas		
	Encostas		
	Corredores Ecológicos		
	Unidades de Conservação		

Subsistemas de SEL Estrutural		Infraestrutura Verde	Escala
Espaços de Práticas Sociais	Pátios, Largos e Recantos	Jardins de Chuva Jardins Filtrantes Pavimentos Drenantes Cisternas Hortas Pomares Jardins para Polinizadores Estações de Compostagem	Lote
	Jardins	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Pavimentos Drenantes Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Terraceamento Estações de Compostagem	Bairro
	Praças	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Pavimentos Drenantes Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Terraceamento Estações de Compostagem	Bairro
	Parques de bolso	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Pavimentos Drenantes Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Terraceamento Estações de Compostagem	Bairro
	Quadras esportivas polivalentes e Campos de futebol de Várzea	Bacias de Detenção	Bairro
	Equipamento público de Recreação	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Áreas Públicas Inundáveis Hortas Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Criações animais Estações Compostagem Produção de Biocombustíveis Bioengenharia para Estabilização de Solos Tratamento da Topografia Habitats para Vida Selvagem	Cidade/Distrito
	Parques nucleares intraurbanos	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Áreas Públicas Inundáveis Hortas Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Criações animais Estações Compostagem Produção de Biocombustíveis Bioengenharia para Estabilização de Solos Tratamento da Topografia Habitats para Vida Selvagem	Cidade/Distrito
Parques lineares	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Áreas Públicas Inundáveis Hortas Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Criações animais Estações Compostagem Produção de Biocombustíveis Bioengenharia para Estabilização de Solos Tratamento da Topografia Habitats para Vida Selvagem	Cidade/Distrito	
Subsistemas de SEL Estrutural	Infraestrutura Verde	Escala	
Espaços Hídricos e de Drenagem	Corpos d'água: rios, córregos, riachos, lagos, represas.	Margens Filtrantes Jardins Filtrantes Flutuantes	Cidade/Distrito

	Subsistemas de SEL complementares	Infraestrutura Verde	Escala
Espaços Coletivos (privados e semipúblicos)	Jardins Institucionais	Jardins de Chuva Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Cisternas	Lote
	Pátios de Empresas	Armazenamento Subterrâneo de Águas Hortas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Estações de Compostagem	
	Espaços Intraquadra	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Sistemas Agroflorestais Criações animais Estações de Compostagem	Quadra
	Fruição Pública	Biovaletas Jardins de Chuva Canteiros Pluviais Pavimentos Drenantes Jardins Produtivos Comunitários Jardins para Polinizadores	
	Equipamentos de uso coletivo	Jardins de Chuva Bacias de Retenção Bacias de Detenção Jardins Filtrantes Alagados Construídos Pavimentos Drenantes Coberturas e Fachadas Verdes Hortas Estufas Jardins Produtivos Comunitários Pomares Jardins para Polinizadores Estações de Compostagem	Bairro

	Subsistemas de SEL complementares	Infraestrutura Verde	Escala
Espaços Individuais	Jardins Particulares		
	Quintais	Jardins de Chuva Jardins Filtrantes Canteiros Pluviais Pavimentos Drenantes Cisternas Hortas Estufas	Lote
	Recuos e Afastamentos	Jardins Produtivos Pomares Jardins para Polinizadores Criações animais	
	Chácaras de Lazer	Estações de Compostagem	

Fonte: Autoria própria (2021).

Para ilustrar como são estabelecidas as relações no Quadro 3, toma-se a leitura da linha das praças urbanas como exemplo. As praças (1ª coluna) compõem o Sistema de Espaços Livres Estrutural na forma de espaços de práticas sociais, sendo que normalmente, possuem uma escala de utilização a nível do bairro (3ª coluna). Nelas, poderiam estar previstas as infraestruturas verdes (2ª coluna) com a finalidade de melhorar e ampliar a oferta das diferentes categorias dos serviços ecossistêmicos urbanos através de elementos de drenagem e saneamento, tais como: jardins de chuva, bacias de retenção, bacias de detenção, jardins filtrantes e pavimentos drenantes ou também de elementos de produção agroalimentar e tratamento de resíduos sólidos como estufas, jardins produtivos comunitários, pomares, jardins para polinizadores, sistemas agroflorestais, terraceamento e compostagem.

Vale ressaltar que algumas categorias de espaços livres, quando presentes no ambiente urbano, já desempenham por si mesmas a função de infraestrutura verde. Esse é o caso, por exemplo, das Áreas de Preservação Permanente (APP), bosques, corredores ecológicos, remanescentes de vegetação e unidades de conservação, que integram, no Quadro 3, o subsistema dos Espaços de Conservação. Neste trabalho, entende-se que esta terminologia pode ser estendida para Espaços de Conservação e Preservação, pois algumas dessas tipologias têm uma natureza de uso mais restritiva. A infraestrutura verde também se aplica aos ecossistemas hídricos e sistemas de drenagem que compõem o conjunto de áreas verdes urbanas. Todos

esses espaços, quando preservados e manejados em consonância com as dinâmicas ecossistêmicas naturais, contribuem para a promoção de serviços ecossistêmicos urbanos.

4.2 NEXO SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA NO SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES

Tomando como base as conexões estabelecidas por meio do Quadro 3 (item 4.1), entre o sistema de espaços livres e as infraestruturas verdes, os diagramas das Figuras 11 e 12 (páginas 59 e 62, respectivamente) evidenciam conexões entre os subsistemas de saneamento e de agroprodução urbana pertencentes ao ecossistema urbano. Nesses diagramas, os fixos dos sistemas são representados por retângulos e circunferências enquanto os fluxos metabólicos, por setas com cores que os diferenciam quanto aos recursos que movimentam representativamente em cada diagrama. As setas pontilhadas, por sua vez, indicam os processos que contribuem para a circularidade do metabolismo urbano.

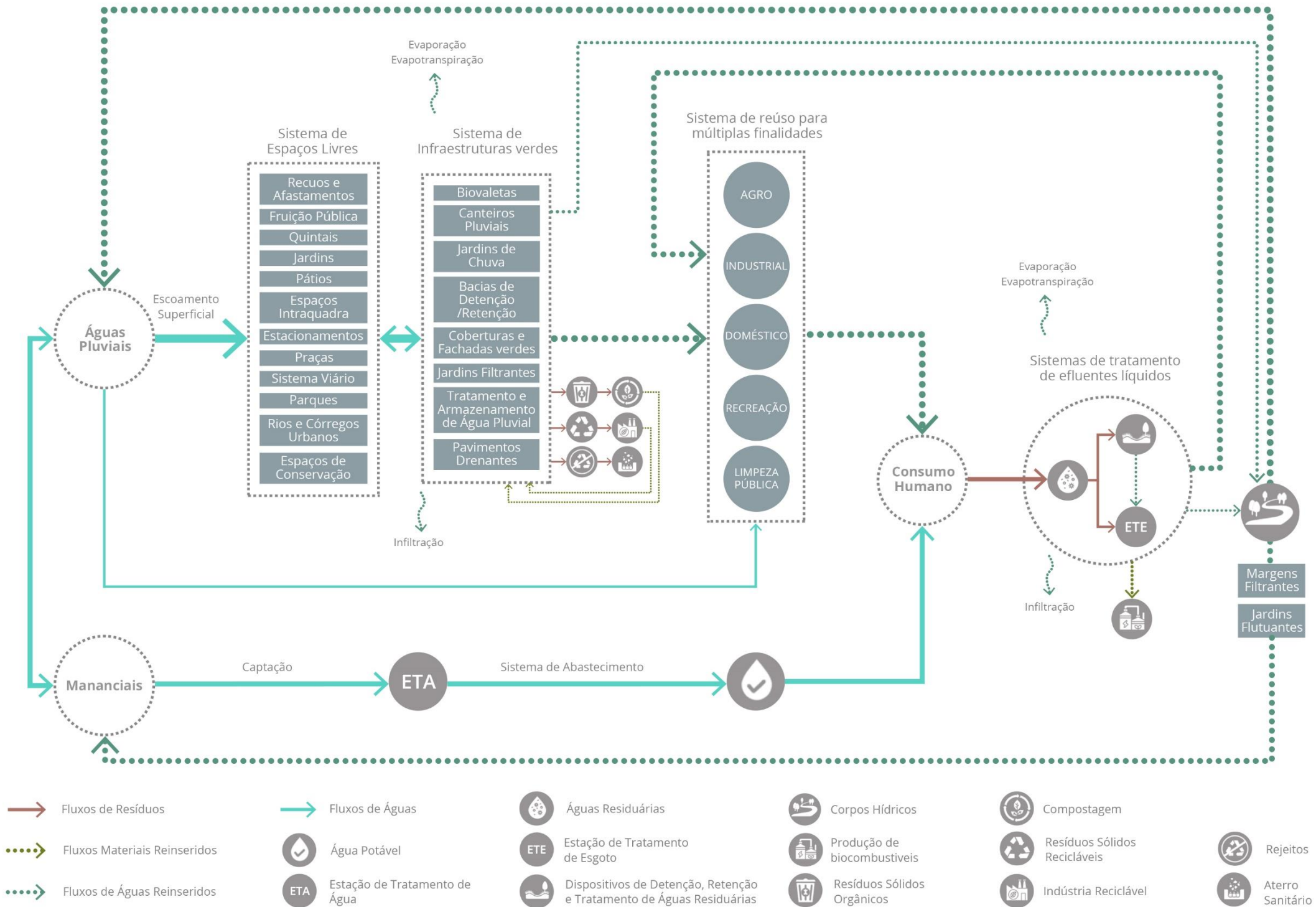
Recomenda-se iniciar a leitura da Figura 11 (p. 59) na porção mais inferior, a partir dos mananciais. Destes, segue-se linearmente para a direita, passando pelos elementos componentes das redes urbanas de águas até à extremidade direita da página, onde o lançamento final nos corpos hídricos. Este trecho incorpora sistemas de águas de abastecimento, pluviais e esgotamento sanitário convencionais e com Soluções Baseadas na Natureza (SBNs). Após esse movimento, sugere-se retornar ao ponto de partida, na porção esquerda da imagem e observar a inclusão dos SEL e das infraestruturas verdes no sistema, novamente realizando a leitura da esquerda para a direita, agora partindo das águas pluviais. A leitura desses dois eixos visibiliza processos com pontos de partida diferentes (mananciais e águas pluviais) que convergem no elemento “Consumo Humano”, que representa os momentos de uso e descarte das águas no meio urbano, em virtude de toda e qualquer atividade humana desenvolvida na porção de território em análise. Prosseguem para a direita, numa seta unidirecional de descarte, coleta e encaminhamento para os sistemas de tratamento de efluentes líquidos. Águas residuárias são recursos de entrada para um rol de infraestruturas que são componentes dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos com potencial de integração estruturada no SEL para direcionar as águas tratadas em diferentes graus de pureza para sua reutilização segura e ambientalmente

adequada. Portanto, ao seguir as setas pontilhadas, visualizam-se fluxos de reutilização das águas no ecossistema urbano.

A Figura 11 (p. 59) ilustra possíveis interações de alguns dos fluxos metabólicos quando o ecossistema urbano contém uma variedade de infraestruturas verdes, cujas tipologias promovem detenção, retenção, armazenamento e tratamento de águas residuárias, incluindo as águas pluviais.

Na extremidade esquerda da Figura 11 (p. 59), há dois elementos pertencentes aos ecossistemas naturais: os mananciais e as águas pluviais. Nos mananciais, ocorre a captação das águas que são direcionadas para as Estações de Tratamento de Água (ETA). Uma vez alcançados os padrões de potabilidade, o recurso segue pelo sistema de abastecimento municipal até a provisão de água potável para as atividades de consumo. O diagrama enfatiza que há uma variedade de usos consuntivos da água que não se restringem aos usos domésticos e que também abrangem, por exemplo, os usos agrícolas e industriais. Estes usos implicam na produção de águas residuárias.

Figura 11 - Fluxos metabólicos no nexo saneamento e agroprodução urbana: infraestruturas verdes nos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário.



Fonte: Autoria própria (2021).

Retornando aos elementos dos ecossistemas naturais da extremidade esquerda da Figura 11 (p. 59), diretamente ou por meio de escoamento superficial as águas pluviais atingem os diversos tipos de espaços livres urbanos (recuos e afastamentos, fruição pública, quintais, jardins, pátios, espaços intraquadras, estacionamentos, praças, quadras e campos esportivos, sistema viário, parques, rios e córregos urbanos e espaços de conservação). Em ecossistemas urbanizados, as águas podem estar contaminadas com elementos poluentes suspensos no ar e com material particulado e resíduos sólidos carregados ao longo do processo de escoamento superficial sobre o solo urbano.

Associadas aos espaços livres, diversas tipologias de infraestruturas verdes podem ser utilizadas como estratégia de manejo das águas pluviais, atuando na desaceleração e na diminuição do volume escoado superficialmente amortecendo, assim, picos de cheias em épocas chuvosas que podem sobrecarregar os sistemas de drenagem instalados. Implicam, ainda, o aumento da evaporação e evapotranspiração, no aumento da permeabilidade do solo favorecendo a infiltração e recarga de aquíferos e na redução da carga de contaminantes, melhorando a qualidade das águas. Com o tratamento e armazenamento de águas pluviais nas infraestruturas verdes, o fluxo das águas segue para os sistemas de reúso que possibilitam múltiplas finalidades.

Conforme se observa na Figura 11 (p. 59), a partir do consumo há produção de águas residuárias, que seguem para o sistema de tratamento de efluentes líquidos, visível à direita inferior do diagrama dos “Fluxos metabólicos no nexo saneamento e agroprodução urbana: infraestruturas verdes nos sistemas de abastecimento de água, drenagem e esgotamento sanitário”. No sistema, as águas residuárias podem ser destinadas diretamente para os modelos convencionais de estações de tratamento de esgoto (ETE), ou serem tratadas em sistemas alternativos como os jardins filtrantes ou alagados construídos.

Há diversas possibilidades de destinação das águas tratadas, com diferentes graus de purificação. Ao sair desses sistemas de tratamento, os efluentes líquidos podem retornar para o ciclo hidrológico natural, sendo direcionados para os corpos hídricos que continuarão a filtrar as águas por meio dos processos de autodepuração, desde que atendam às normas de lançamento da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Estes processos ainda podem ser auxiliados por meio de outras tipologias de infraestrutura verde, tais como: jardins filtrantes

instalados em áreas de inundação, às margens dos corpos d'água e até mesmo em leitos fluviais e sobre as águas de lagoas, na forma de jardins flutuantes.

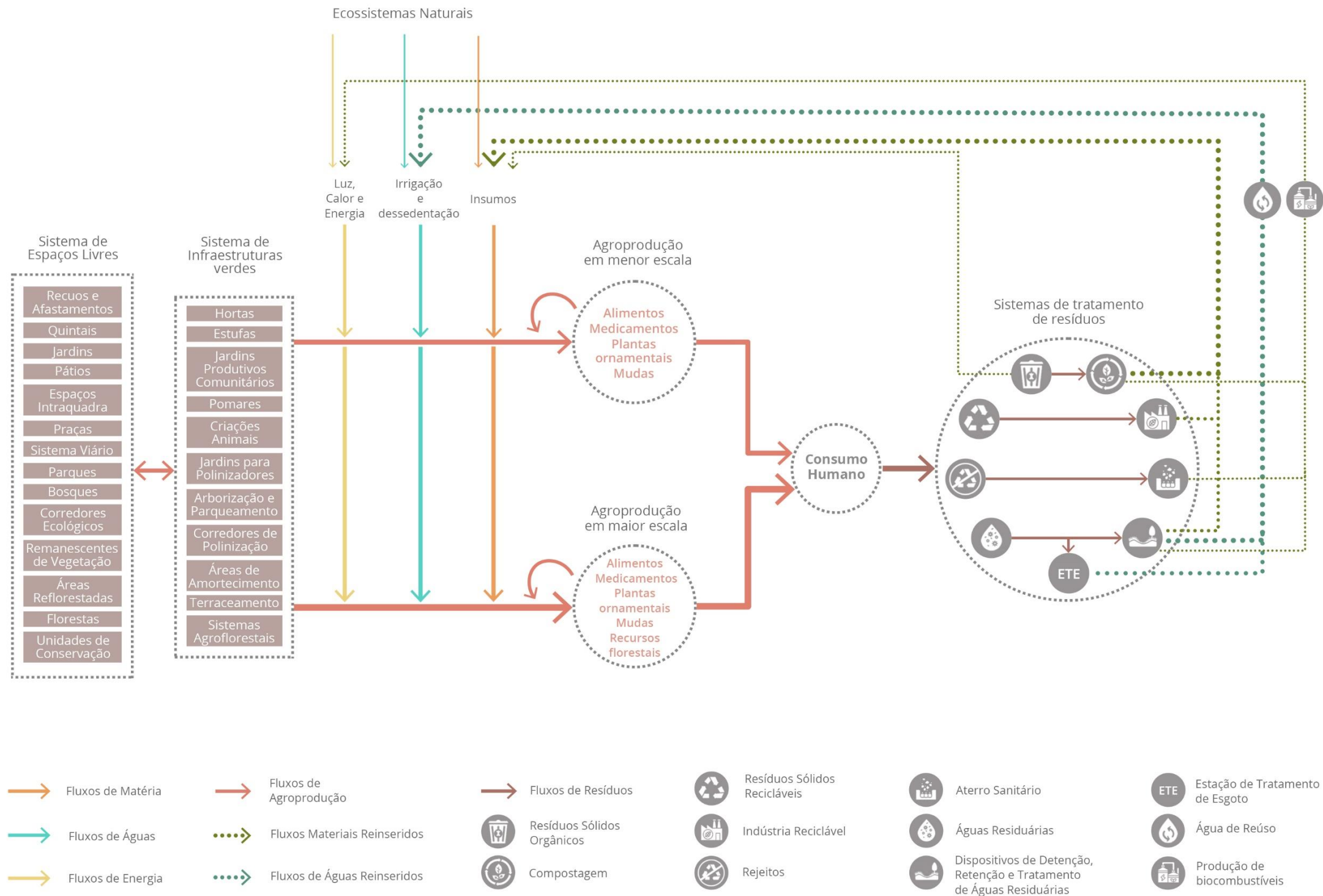
Alagados construídos ou jardins filtrantes podem abastecer outros sistemas com águas de reúso ou direcionar efluentes para a ETE, desonerando esse sistema, uma vez que já realizaram o tratamento primário das águas residuárias. A resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) admite o reúso das águas residuárias, desde que para fins não potáveis. Seus diversos usos vão depender dos padrões de qualidade do efluente, conforme a Resolução CONAMA 357 (BRASIL, 2005). Por isso, na Figura 11, após tratamento nas ETE, as águas residuárias também são encaminhadas para os sistemas de reúso.

Há outros tipos de resíduos gerados nas infraestruturas verdes que podem ser reutilizados nesses sistemas ou convertidos em *inputs* de outros ecossistemas urbanos. Resíduos como a biomassa de algas e lodos, gerados nos sistemas de tratamento de efluentes líquidos, são subprodutos que reaproveitáveis na geração de biogás, biocombustíveis e outras aplicações industriais. A necessidade de podas, por exemplo, produz resíduos sólidos orgânicos compostáveis que podem ser retornados para o sistema na forma de insumos agrícolas para adubação. Muitas vezes, para o controle da poluição difusa, há também a interceptação dos resíduos sólidos arrastados pelo escoamento da água da chuva que, se houver possibilidade, serão reciclados, senão serão destinados como rejeito para os aterros sanitários.

Em síntese, o SEL como infraestrutura urbana revela-se na Figura 11 (p. 59) por meio da análise de fixos e fluxos concernentes às possibilidades de percursos das águas pelas redes capazes de conectar seus elementos de modo a associar funções agroprodutivas às de saneamento, influenciando indiretamente processos de captação, potabilização e transporte de águas e diretamente no abastecimento, reservação, uso e descarte, coleta, tratamento, reuso e lançamento final. As infraestruturas verdes indicadas são elementos centrais na qualificação da paisagem e na organização desses fluxos com vistas a otimizar processos metabólicos do ecossistema urbano pela diversificação de funções dos espaços livres.

Analogamente à Figura 11 (p. 59), o diagrama da Figura 12 (p. 62) ilustra as relações entre os elementos fixos e os fluxos metabólicos urbanos, no entanto enfoca as tipologias de infraestrutura verde que favorecem a agroprodução no ecossistema urbano.

Figura 12 - Fluxos metabólicos nonexo saneamento e agroprodução urbana: infraestruturas verdes dos sistemas agroprodutivos.



Fonte: Autoria própria (2021).

Na margem esquerda da Figura 12 (p. 62), os elementos do sistema de espaços livres foram elencados com uma hierarquia que vai da menor escala (mais próxima ao corpo humano) para a maior (ecossistema urbano): recuos e afastamentos, quintais, jardins, pátios, espaços intraquadras, praças, sistema viário, parques, bosques, corredores ecológicos, remanescentes de vegetação, áreas reflorestadas, florestas e unidades de conservação. Estes espaços podem comportar infraestruturas como hortas, estufas, jardins produtivos comunitários, pomares, criações animais, jardins para polinizadores, arborização e estacionamento, corredores de polinização, áreas de amortecimento, terraceamento e sistemas agroflorestais.

Nos processos produtivos há a entrada de fluxos energéticos e materiais, em parte advindos dos ecossistemas naturais. A luz solar é fonte de calor e energia. A água é um recurso essencial para a irrigação e para a dessedentação animal e humana. Dentre os recursos de entrada, variados insumos, que podem ser industrializados ou não, são necessários para a produção de mercadorias e prestação de serviços.

Nas escalas menores, o diagrama (Figura 12, p.62) sugere a possibilidade de provisão de alimentos, de medicamentos e de mudas e espécies vegetais que podem, ou não, ter valor ornamental. Em espaços maiores, essa produção pode aumentar a sua capacidade e ainda prover outros tipos de recursos florestais como madeiras, óleos, fibras e resinas. Os resíduos gerados a partir da produção e do posterior consumo humano desses produtos seguem para uma multiplicidade de sistemas de tratamento e reaproveitamento possíveis, conforme observado na porção inferior, do centro para a direita, na Figura 12.

Cada categoria de resíduo pode receber um tratamento distinto que permita, de algum modo, sua reinserção no ecossistema urbano. Os resíduos sólidos orgânicos que provenientes de podas, ou rejeitos de processos de produção e beneficiamento de gêneros alimentícios podem constituir matéria seca que pode ser diretamente reutilizada, por exemplo, como cobertura morta, ou podem ser compostados, juntamente com excrementos animais e outros resíduos sólidos húmidos para serem reincorporados como insumos na agroprodução. Os resíduos sólidos reutilizados ou reciclados também podem ser transformados em insumos, integrando desde cadeias produtivas industriais e construção civil até a confecção de artesanato. Nessa lógica, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), encontram sua disposição final adequada em aterros sanitários

somente o que é classificado como rejeito, que se constitui daqueles resíduos que não possuem qualquer possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento e cujo volume almeja-se que seja o menor possível, primando pela não geração com redução do consumo e com estratégias de reutilização.

Já as águas residuárias são tratadas nas ETE ou em infraestruturas como os alagados construídos e reinseridas na forma de água de reúso para irrigação ou dessedentação das criações animais. A partir do tratamento das águas residuárias é possível, por exemplo, extrair nutrientes como o nitrogênio, fósforo e potássio ou reaproveitar as podas dos jardins filtrantes para a fertilização das áreas produtivas. É importante observar que a irrigação a partir das águas residuárias também depende dos níveis de tratamento da água e em qual tipo de cultura será utilizada. Dos processos de compostagem, das ETE ou dos aterros sanitários, alguns subprodutos, como o biogás, podem retornar ao ecossistema urbano na forma de energia.

O SEL na Figura 12 (p. 62) revela-se como infraestrutura urbana na análise dos fluxos e fluxos relativos aos percursos dos elementos da cadeia agroprodutiva urbana (obtenção de insumos, produção agrícola, beneficiamento, distribuição, consumo, descarte, coleta, tratamento, reaproveitamento e disposição final) capazes de conectá-la às funções de saneamento. Tais quais os resultados obtidos na Figura 11 (p. 59), as infraestruturas verdes indicadas na Figura 12 podem ser elementos centrais na qualificação da paisagem pela organização desses fluxos para otimizar processos metabólicos no ecossistema urbano com a diversificação de funções dos espaços livres.

4.3 BENEFÍCIOS OBTIDOS PELAS PESSOAS A PARTIR DOS SUBSISTEMAS SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA

A revisão de literatura realizada revelou a recente proposta de exclusão dos serviços de suporte como categoria de serviço ecossistêmico, passando a ser entendido como função do ecossistema (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018). Embora diversas funções do ecossistema estejam presentes nas interações ilustradas nas Figuras 11 e 12 (páginas 59 e 62, respectivamente), para evidenciar os benefícios ofertados, são apontados neste trabalho os serviços ecossistêmicos das categorias: provisão, regulação e cultural, baseando-se na tabela de classificação da CICES (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2018).

No sistema convencional de captação e abastecimento de água a partir dos mananciais, representado na porção inferior da Figura 11, oferta substancialmente o serviço ecossistêmico urbano de provisão de água. Já nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), destaca-se o serviço de regulação nos processos de despoluição e purificação das águas residuárias. A inclusão das infraestruturas verdes associadas ao Sistema de Espaços Livres demonstra não só a possibilidade de ampliar a capacidade do ecossistema urbano em ofertar esses mesmos serviços, como também promove a inclusão de outros serviços não contemplados pelas infraestruturas cinzas. Complementarmente, soluções que permitem o tratamento e reaproveitamento dos resíduos como os jardins filtrantes e as práticas de compostagem e reciclagem ofertam serviços de regulação. Também o fazem as estratégias que aliviam os sistemas de infraestrutura de drenagem urbana. Além de provisão de água para fins potáveis e não potáveis (via sistemas de reúso), também há provisão de energia e de materiais quando subprodutos como a biomassa de algas, provenientes do tratamento de efluentes sanitários e lodos de ETA e ETE, são transformados, por exemplo, em biocombustíveis (KLIGERMAN; BOUWER, 2015).

Há ainda outros benefícios que podem ser obtidos graças ao caráter de multifuncionalidade que as infraestruturas verdes conferem aos SEL. Os espaços livres, portanto, passam a contribuir também para a regulação do microclima, da qualidade do ar e dos solos, para a regulação e manutenção de habitats, da polinização e dispersão de sementes e para o controle de doenças. Além disso, esses espaços podem aprimorar a sua capacidade de ofertar serviços ecossistêmicos culturais, ampliando as oportunidades de passeio, lazer e fruição estética, viabilizando novas interações sociais e relações com o ambiente natural e construído e novas possibilidades de conhecimento, pesquisa científica e educação ambiental.

Com a utilização das infraestruturas verdes também há melhora na qualidade dos serviços ofertados, uma vez que, para desempenharem suas funções, essas soluções se embasam nos processos e nas dinâmicas da natureza. Similarmente à Figura 11 (p.59), o diagrama da Figura 12 (p. 62) revela a qualidade de multiplicar os benefícios que os SEL oferecem através das infraestruturas de agroprodução, uma função ainda pouco explorada dentro dos territórios urbanos. Além dos serviços já mencionados, essas soluções possibilitam a provisão de alimentos, nutrientes, medicamentos e outros recursos florestais, diminuindo a

necessidade da obtenção desses recursos a partir de ecossistemas externos e menos modificados pelas atividades humanas.

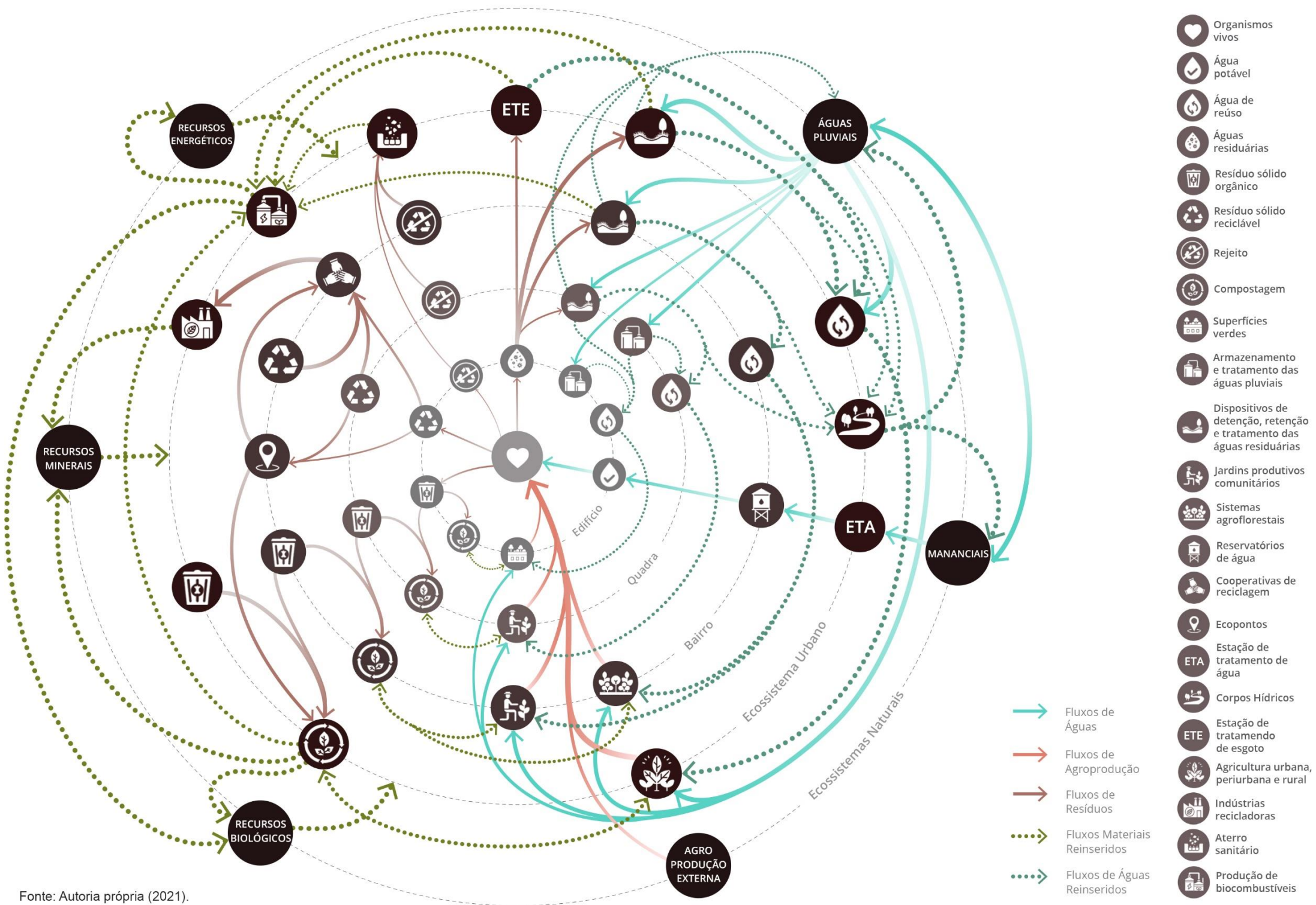
Nota-se que a inserção das infraestruturas verdes no Sistema de Espaços Livres, associação que convencionalmente não se faz, aumentou a complexidade dos ecossistemas urbanos. Representados como linhas nas Figuras 11 e 12, os fluxos metabólicos aumentaram em quantidade, se comparados aos que se associam às infraestruturas cinzas e adquiriram caráter circular. Demonstrou-se como ampliar e melhorar a oferta de serviços ecossistêmicos urbanos e, conseqüentemente, a capacidade de resiliência do SEL, já que mais alternativas para a oferta de um mesmo serviço foram incorporadas em seus subsistemas.

4.4 NEXO SANEAMENTO E AGROPRODUÇÃO URBANA EM DIFERENTES ESCALAS

Na Figura 13 (p. 67) exemplificam-se as dinâmicas de alguns dos fluxos metabólicos urbanos relativos aos subsistemas de saneamento e agroprodução urbana nas diferentes escalas do ecossistema urbano. A Figura 13 é o resultado que sintetiza as interações demonstradas nas Figuras 11 e 12 (páginas 59 e 62, nesta ordem). As circunferências em linhas tracejadas (Figura 13) representam as escalas espaciais de abordagem (organismos vivos, edificação, quadra, bairro, ecossistema urbano e ecossistema natural). Os ícones simbolizam os fixos de cada escala, contendo elementos das infraestruturas verdes e cinzas (convencionais); as linhas azuis, os fluxos de água; as linhas avermelhadas, os fluxos da agroprodução urbana; as linhas marrons, os fluxos de resíduos e as linhas pontilhadas representam os fluxos das situações em que a saída de um processo se torna a entrada de outro. Ao representarem os fluxos metabólicos, as linhas também evidenciam os processos que ofertam serviços ecossistêmicos.

Recomenda-se a leitura da Figura 13 no sentido anti-horário, partindo do quadrante superior direito, no sentido dos elementos mais periféricos para o centro, onde se observam os fluxos metabólicos das águas. Posteriormente, para analisar os fluxos dos resíduos sólidos localizados em toda a porção esquerda da Figura 13, realiza-se o movimento contrário no sentido do centro (organismos vivos) para o exterior. Continuando no sentido anti-horário, situam-se na porção inferior direita os fluxos metabólicos de agroprodução observados no sentido de fora para dentro.

Figura 13 - Modelagem conceitual dos processos que relacionam as infraestruturas dos subsistemas Saneamento e Agroprodução num ecossistema urbano.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com lógica semelhante à Figura 11, no diagrama da Figura 13, o fluxo das águas captadas dos mananciais segue para a Estação de Tratamento de Água (ETA), abastecendo reservatórios e edificações com água potável, através do sistema de distribuição, até chegar aos organismos vivos. Já as águas pluviais (Figura 13) atingem, na escala do ecossistema urbano, os corpos hídricos, nas escalas da quadra e da edificação, as estruturas de armazenamento e tratamento de água pluvial e nos edifícios, as superfícies verdes. Os dispositivos de detenção, retenção e tratamento de águas residuárias podem ser implementados e receber água da chuva nas escalas da quadra, bairro e ecossistema urbano.

Após o consumo de água pelos organismos vivos e pelas atividades do ecossistema urbano, há saídas (*outputs*) de águas residuárias que são direcionadas para os sistemas de tratamento onde se transformam em recursos de entrada (*inputs*) na forma de água de reúso. No diagrama (Figura 13, p. 67), parte da água de reúso é encaminhada para a irrigação das infraestruturas agroprodutivas. O restante das águas de reúso é utilizado nas dinâmicas que ocorrem dentro de cada escala e não possuem seus fluxos explicitados no diagrama, pois não integram as infraestruturas representadas nos ícones da Figura 13. As múltiplas possibilidades de reúso de águas foram mais bem demonstradas na Figura 11 (p. 59).

A partir dos organismos vivos e das atividades que ocorrem nas edificações, quadras, bairros e cidades, resíduos sólidos são gerados e devem ser separados ainda na fonte. Os resíduos sólidos orgânicos são destinados para as infraestruturas de compostagem e retornam para o sistema na forma de recursos biológicos e minerais, fato que diminui a necessidade de extração desses recursos dos ecossistemas naturais. Na compostagem, também é possível a produção de biogás e a substituição da entrada de alguns recursos energéticos externos. Os resíduos sólidos recicláveis são coletados, triados e comercializados pelas cooperativas, que também podem administrar os ecopontos. Das cooperativas, quando não diretamente reutilizados, os resíduos sólidos recicláveis seguem para a indústria recicladora e retornam para o ecossistema urbano na forma de recursos minerais ou biológicos, como no caso da reciclagem de papel, que substitui a necessidade de obtenção de celulose. Quanto menor a parcela dos rejeitos, resíduos que não podem ser reciclados ou reaproveitados, menor o volume que atravessa linearmente o sistema e encontra sua disposição final em aterros sanitários, prolongando a vida útil dos existentes.

Tanto compostos orgânicos produzidos quanto águas pluviais e de reúso podem ser orientados para suprir infraestruturas de agroprodução com as finalidades de adubação, irrigação e limpeza. Essas infraestruturas também produzem resíduos sólidos, o que permitiu representar com setas bidirecionais os fluxos de conexão entre os fixos da compostagem e os agroprodutivos (Figura 13, p. 67).

Na escala dos edifícios, superfícies externas como coberturas e fachadas verdes exercem as funções agroprodutivas. Nas quadras e nos bairros é possível contar com espaços livres que contenham jardins comunitários produtivos e até Sistemas Agroflorestais. Os espaços com maior escala permitem práticas variadas de agricultura urbana, periurbana e rural.

Para aumentar a oferta dos serviços ecossistêmicos de provisão sem comprometer a capacidade do ecossistema urbano de fornecer outros serviços, é recomendável que estas práticas produtivas sejam feitas através de modelos mais sustentáveis de produção agrícola, encontrados no campo da agroecologia, da agricultura orgânica, da agricultura de precisão, da agricultura biodinâmica e da permacultura, entre outros. No Brasil, a agricultura familiar é de grande relevância por ser responsável pela produção da maior parte dos alimentos consumidos pela população brasileira (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2020). Realizada por pequenos produtores, a agricultura familiar deve continuar a ser incentivada no ecossistema urbano, pois constitui fonte de renda e meio de subsistência de muitas famílias e comunidades tradicionais do país que podem inspirar o desenvolvimento de formas de manejo sustentáveis no meio urbano.

4.5 SUSTENTABILIDADE URBANA E O BEM-ESTAR HUMANO

No modelo da Figura 13 (p. 67) as águas pluviais e os mananciais (recursos hídricos), os recursos energéticos, biológicos e minerais e a Agroprodução externa representam os recursos de entrada convencionalmente retirados dos ecossistemas naturais para atender as demandas urbanas. Como já fundamentado neste trabalho, a superexploração de recursos naturais e as práticas intensivas de agricultura e pecuária podem levar à degradação dos ecossistemas e perda da disponibilidade de serviços ecossistêmicos. Demonstra-se no diagrama (Figura 13), que a inclusão das infraestruturas verdes no sistema de Espaços livres contribuiu para que as saídas dos fluxos metabólicos do ecossistema urbano fossem reincorporadas na forma de

recursos de entrada, reduzindo a demanda de fluxos materiais e energéticos advindos dos ecossistemas naturais.

A reincorporação desses fluxos, possibilitada pela integração entre os processos dos subsistemas de saneamento e agroprodução, onde o *output* de um se transformou no *input* de outro, fez com que os fluxos materiais permanecessem no ecossistema urbano para favorecer um metabolismo circular. No entanto, considerando que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer as necessidades atuais sem comprometer que as gerações futuras também o façam (CMMAD, 1991), para a promoção da sustentabilidade urbana, além de manter a circularidade dos fluxos metabólicos, é importante que sejam pensadas estratégias para a redução de volume dos recursos de entrada.

Nesse ponto, a oferta dos serviços culturais nos SEL tem uma grande capacidade de contribuição. A infraestrutura verde cria uma paisagem urbana com elementos que convencionalmente não são urbanos e concilia o ambiente construído com o ambiente natural. A produção de oportunidades para que toda a população tenha acesso indiscriminado aos processos ecossistêmicos e percebam os benefícios que elas obtêm, pode auxiliar na formação de uma consciência coletiva ambiental e estimular mudanças de hábitos de consumo. Também não é desconsiderado a necessidade de instrumentos de gestão e políticas públicas que reforcem e estimulem o caráter que os espaços livres, principalmente os espaços públicos de uso coletivo, podem ter de ofertar serviços ecossistêmicos e contribuir para a sustentabilidade urbana. Segundo Demantova (2009, p.24)

“é preciso reconhecer as demandas locais por serviços ambientais e ofertá-los de modo acessível com a sua distribuição espacial pelo território, para que um maior número de pessoas receba os benefícios diretos da oferta dos serviços ambientais. Assim com a melhoria da qualidade ambiental, a qualidade de vida também seria melhorada ou atingida onde ainda é crítica e instável.”

Em Dalbelo (2019), o quadro “Correlação entre processos autopoieticos, serviços ecossistêmicos urbanos e ODS” relaciona os serviços ecossistêmicos urbanos e suas categorias, com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e com os processos de autopoiese urbana, ideia defendida em sua Tese *Autopoiese Urbana: transição para a sustentabilidade*. No Quadro 4 as ODS foram hierarquizadas pela oferta dos serviços, explicitando como cada categoria é importante para atingir plenamente cada objetivo.

Quadro 4 - Correlação entre processos autopoieticos, serviços ecossistêmicos urbanos e ODS

PROCESSOS DE AUTOPOIESE URBANA	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS	ODS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS URBANOS
AUTO-ORGANIZAÇÃO	CULTURAL	16 17	PATRIMÔNIO E ARTE ESPORTE E RECREAÇÃO ESPIRITUALIDADE PERTENCIMENTO E IDENTIDADE VOCAÇÃO
AUTOPERPETUAÇÃO AUTONOMIA	REGULAÇÃO	10 11 12 13 14 15	BIOClima PRESERVAÇÃO E CONSERVAÇÃO ORDEM PÚBLICA COMUNICAÇÃO MOBILIDADE E ACESSIBILIDADE RECICLAGEM RETROFIT
AUTORREPRODUÇÃO AUTORREGULAÇÃO	PROVISÃO	6 7 8 9	PRODUÇÃO DRENAGEM E SANEAMENTO SAÚDE PÚBLICA HABITAÇÃO EDUCAÇÃO ENERGIA ECONOMIA
AUTORREFERÊNCIA AUTOLIMITAÇÃO	SUPORTE	1 2 3 4 5	RELEVO E HIDROGRAFIA FLORA E FAUNA CLIMA INFRAESTRUTURA ORDENAMENTO TERRITORIAL

FLUXO DE ENTRADAS E SAÍDAS DE MATÉRIA, ENERGIA E INFORMAÇÃO

Fonte: DALBELO, 2019, p. 193.

Os espaços livres tradicionais, também podem ofertar muitos dos serviços ecossistêmicos urbanos de provisão, regulação e cultural, listados no Quadro 4, entre eles: patrimônio e arte, esporte e recreação, espiritualidade, pertencimento e identidade, vocação, preservação e conservação, bioclima, ordem pública, comunicação, mobilidade e acessibilidade e saúde pública. No Quadro 5, demonstra-se como as infraestruturas da Figura 13 podem aumentar as possibilidades de oferta desses serviços ecossistêmicos urbanos. A primeira e segunda coluna (Quadro 5), da esquerda para a direita, mantêm os Serviços Ecossistêmicos urbanos e a hierarquia dos ODS relacionados por Dalbelo (2019). Na terceira coluna (esquerda para a direita), incluiu-se para cada categoria dos SE as infraestruturas convencionais em cinza claro e as infraestruturas verdes em marrom.

Quadro 5 - Correlação entre as infraestruturas verdes, as ODS e os serviços ecossistêmicos urbanos.



Fonte: Autoria própria, baseado em DALBELO, 2019, p193.

No Quadro 5, as infraestruturas convencionais (reservatórios, os corpos hídricos, os aterros sanitários, os ecopontos e cooperativas) utilizadas na elaboração do modelo conceitual da Figura 13 (p. 67) foram categorizadas como serviços de suporte, enquanto estações de tratamento de água e de esgoto, indústria recicladora e sistema de abastecimento de água potável, como serviços de provisão.

Foram correlacionadas (Quadro 5) aos serviços de provisão as seguintes infraestruturas: dispositivos de detenção, retenção, tratamento de águas residuárias, água de reúso, água potável, estruturas de armazenamento e tratamento de águas pluviais, estação de tratamento de água, superfícies verdes, jardins produtivos comunitários, sistemas agroflorestais, agricultura urbana, periurbana e rural e a produção de biogás e biocombustíveis. Com os serviços de regulação se identificam dispositivos de detenção, retenção, e tratamento de águas residuárias, de armazenamento e tratamento das águas pluviais e as superfícies verdes. Ainda estão

inclusas as estações de tratamento de esgoto, as estações de compostagem e a indústria recicladora. Por fim, os corpos hídricos, os dispositivos de detenção, retenção, e tratamento de águas residuárias, as superfícies verdes, os jardins produtivos comunitários, os sistemas agroflorestais e a agricultura urbana, periurbana e rural ofertam serviços culturais. Em suma, o Quadro 5 (p. 72) evidencia que as infraestruturas verdes têm a capacidade de simultaneamente ofertar mais de uma categoria de serviço ecossistêmico, enquanto as infraestruturas convencionais, não.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi desenvolvido diante da necessidade das cidades ampliarem a sua capacidade de ofertar serviços ecossistêmicos urbanos para atender às suas demandas e para compensar a diminuição daqueles serviços originalmente ofertados pelos ecossistemas naturais em virtude da ocupação e das atividades humanas. Argumentou-se pela importância de aproveitar o potencial dos Sistemas de Espaços Livres para gerar benefícios para a sustentabilidade urbana e o bem-estar humano nas cidades. Desenvolveu-se uma forma de interpretá-los e representá-los a partir de suas relações funcionais no ecossistema urbano.

Considera-se que o objetivo geral da pesquisa foi atingido e superado, pois a modelagem conceitual pode ser abordada como material de consulta para o projeto e o planejamento urbanos orientados a ofertar Serviços Ecossistêmicos Urbanos. Os diagramas construídos ao longo da pesquisa demonstram como os subsistemas de saneamento e agroprodutivos podem ser articulados para integrar um Sistema de Espaço Livre como infraestrutura urbana. Portanto, os resultados podem auxiliar tanto a leitura diagnóstica de um território como o planejamento e a prática projetual, tendo em vista o propósito de ampliar e diversificar a oferta de serviços ecossistêmicos urbanos num território.

Algumas limitações da pesquisa foram levantadas, conforme segue:

- A oferta dos serviços ecossistêmicos não se limita aos ecossistemas naturais, e dentro do ecossistema urbano, não estão restritas às áreas verdes, nem aos SEL.
- Além disso, a análise não se esgota na observação dos subsistemas selecionados neste trabalho, pois há outros subsistemas que podem ter seus processos associados a estes espaços.

Por fim, cabe lembrar que o SEL do HIDS ainda não existe. Assim, as tipologias de espaços livres utilizadas foram selecionadas a partir dos estudos e projetos de urbanização do HIDS desenvolvidos ao longo da Especialização 90E. Neste trabalho, tal limite tornou-se oportunidade para pensar de forma mais livre a articulação dos conceitos estudados neste território, cujo planejamento ainda está sendo concebido.

Recomenda-se para futuros estudos a possibilidade de materializar a proposta teórico-conceitual em projetos ou protótipos de infraestruturas verdes e de outras associáveis aos espaços livres fora do escopo deste trabalho, utilizando a abordagem sistêmica e a lógica circular para conectar processos metabólicos urbanos. Esta pesquisa contribui na compreensão dos SEL como infraestrutura urbana e, com isso, busca incentivar projetos e políticas públicas que lhes atribuam maior capacidade e diversidade de oferta de serviços ecossistêmicos urbanos.

6 REFERÊNCIAS

- AEM - AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO. **Relatório-Síntese da Avaliação Ecosistêmica do Milênio**. Washington: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.446.aspx.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2021.
- BATITUCCI, T. O.; CORTINES, E.; ALMEIDA, F. S.; ALMEIDA, A. A. A agricultura em ecossistemas urbanos: um passo para a sustentabilidade das cidades. **Ambiente e Sociedade**, v. 22, 2019.
- BRUNDTLAND. CMMAD. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 1991.
- BRASIL. Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 25 ago. 2021.
- BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reuso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 47, p. 91-92, 09 mar. 2006. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0054-281105.PDF>. Acesso em: 25 ago 2021.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União** :Brasília, DF, 08 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 27 ago. 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de janeiro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 27 ago. 2021.
- BULKELEY, H.; MARVIN, S.; PALGAN, Y. V.; MCCORMICK, K.; BREITFUSS-LOIDL, M.; MAI, L.; VON WIRTH, T.; FRANTZESKAKI, N. Urban Living Laboratories: Conducting the Experimental City? **European Urban and Regional Studies**, v. 26, n. 4, out./, 2019, p. 317–335.
- CELANI, M. G. C. (org.) **Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável (HIDS)** - estudos para a ocupação do território. Campinas: Biblioteca Central César Lattes, 2021 (ebook).
- CONSELHO DE AVALIAÇÃO ECOSSISTÊMICA DO MILÊNIO. Os ecossistemas e seus serviços. *In*: _____. **Ecosistemas e bem-estar humano**. Tradução Renata Lucia Bottini. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005. cap. 2, p. 95-125. (Título original: **Ecosystems and Human Well-being**).

CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem Ambiente: ensaios**, n. 25, p. 125-142, 2008.

DALBELO, T. S. **Autopoiese urbana**: transição para sustentabilidade. 2019. 222f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2019.

DEMANTOVA, G. C. A sustentabilidade urbana: simbiose necessária entre a sustentabilidade ambiental e a sustentabilidade social. **Vitruvius**, ano 08, n; 088.07, 2007. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/08.088/210>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DEMANTOVA, G. C. **Redes técnicas ambientais**: diversidade e conexão entre pessoas e lugares. 2009. 363f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 2009.

DEMANTOVA, G. C. Sustentabilidade e o futuro das cidades: A arquitetura como indutora de transformações sociais e ambientais. **Vitruvius**, ano 13, n; 150.05, 2012. Disponível em: <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/13.150/4574>. Acesso em: 30 ago. 2021.

DEMUZERE, M.; ORRU, K.; HEIDRICH, O.; OLAZABAL, E.; GENELETTI, D.; ORRU, H.; BHAVE, A. G.; MITTAL, N.; FELIU, E.; FAEHNLE, M. Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. **Journal of Environmental Management**, v.146, p. 107-115, 2014.

EC - EUROPEAN COMMISSION. **Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital**. 2013. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:d41348f2-01d5-4abe-b817-4c73e6f1b2df.0014.03/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 28 ago. 2021.

EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Green infrastructure and territorial cohesion**: the concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. 2011. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion>. Acesso em: 28 ago. 2021.

FERNANDES, G. A. **Entre ambientes, (contra)culturas e naturezas**: O emergente discurso ambiental na arquitetura dos 1960 e 1970 a partir de Buckminster Fuller, Ian McHarg e Murray Bookchin. 2017. 203f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2017.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, v. 68, p. 643-653, 2009.

HACKBART, V. C. S.; de LIMA, G. T. N. P.; SANTOS, R. F. Theory and practice of water ecosystem services valuation: Where are we going?. **Ecosystem Services**, v. 23, p. 218-227, 2017.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure**. 2018. Disponível em: <https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2018/01/Guidance-V51-01012018.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2021.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Revista LABVERDE**, n. 1, p. 92-115, 2010.

HULSMEYER, A. F. **A cidade através dos seus sistemas de espaços livres: estrutura e configuração da paisagem urbana – um estudo de caso em Umuarama - PR**. 2014. 310f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2014.

INFRAESTRUTURA. *In*: MICHAELIS, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. Editora Melhoramentos Ltda, 2015. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/nelkM/infraestrutura/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

JOHNSTON, R; RUSSEL, M. An operational structure for clarity in ecosystem service values. **Ecological Economics**, v. 70, p. 2243-2249, 2011.

KAWA, M. C. **Urban Environmental Quality: exploring and analysing Nature-Based urban design solutions for Brussels**. Proposal for a common typological classification. 2020. 136f. Dissertação (Mestrado) - Brussels Faculty of Engineering - Bruxelas, 2020.

KLIGERMAN, D. C.; BOUWER, E. J. Prospects for biodiesel production from algae-based wastewater treatment in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1834-1846, dez., 2015.

LINA, B. L.; PHILPOTTB, S. M; JAHC, S. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: Challenges and next steps. **Basic and Applied Ecology**, v. 16, p. 189-201, 2015.

MAES, J.; BARBOSA, A.; BARANZELLI, C.; ZULIAN, G.; SILVA, F. B.; VANDECASTEELE, I.; HIEDERER, R.; LIQUETE, C.; PARACCHINI, M. L.; MUBAREKA, S.; JACOBS-CRISIONI, C.; CASTILLO, C. P.; LAVALLE, C. More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current trends in land-use change in Europe. **Landscape Ecology**, v. 30, p. 517 - 534, 2015.

MAGNOLI, M. M. E. M. **Espaços livres e urbanização: uma introdução a aspectos da paisagem metropolitana**. 1982. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - São Paulo, 1982.

MENDES, M. E. R. **A fitorremediação como estratégia de projeto para a sustentabilidade urbana**. 216f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia

Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - Campinas, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agricultura Familiar**. Governo Federal, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/agricultura-familiar-1>. Acesso em: 24 ago. 2021.

NAHLIK, A. M.; KENTULA, M. E.; FENNESSY, M. S.; LANDERS, D. H. Where is the consensus? A proposed foundation for moving ecosystem service concepts into practice. **Ecological Economics**, v. 77, p. 27-35. 2012.

NATURE4CITIES. **Nature4Cities**, c2017. Página inicial. Disponível em: <https://www.nature4cities.eu/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

NISSEN, J.; AZARA, F.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; BENDELS, R. (Eds.) **Water in Urban Regions: building future knowledge to integrate land use, ecosystem services and human health**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2015. Disponível em: <http://www.abc.org.br/IMG/pdf/doc-6564.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2021.

NISSEN, J.; AZARA, F.; SCHEUENSTUHL, M. C. B.; EISINGER, M. (Eds.). **How Do We Want to Live Tomorrow? Perspectives on Water Management in Urban Regions**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2017. Disponível em: http://www.abc.org.br/IMG/pdf/policy_report_water_in_urban_regions.pdf. Acesso em: 09 jun. 2021.

LE MOS, N. S. **Agricultura urbana como fixo da Rede técnica ambiental**. 2016. 176f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - Campinas, 2016.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Trad. Christopher J. Tribe; supervisão de tradução Ricardo Iglesias Rios. Rio de Janeiro: Guanabara, 1986.

ODUM, E. P.; BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

OLIVEIRA, I. R. Tratar a cidade como ecossistema: contribuições teórica e prática visando à sustentabilidade urbana. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 24, p. 33-55, 2018.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/Agenda2030-completo-site.pdf. Acesso em: 12 jun. 2021.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World urbanization prospects: the 2018 revision**. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-KeyFacts.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Population, food security, nutrition and sustainable development**. 2021. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesapd_2021_policy_brief.pdf. Acesso em: 27 ago. 2021

QUEIROGA, E. F. Sistemas de espaços livres e esfera pública em metrópoles brasileiras. **Resgate**, v. 19, n. 21, p. 25-35, jan./jun. 2011.

QUEIROGA, E. F.; SAKATA, F. G. A rede de pesquisadores reunidos por Silvio Macedo sob o Lab QUAPÁ e os estudos de sistemas de espaços livres e formas urbanas no Brasil. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v12, p. 1-18, 2020.

QUEIROGA, E. F. Da relevância pública dos espaços livres: um estudo sobre metrópoles e capitais brasileiras. **Revista Int. Estud. Bras.**, n.58, p. 105-132, jun. 2014.

RUTKOWSKI, E. W.; DALBELO, T. S. Sustentabilidade na cidade: da bacia ambiental ao lixo zero. In: Seminário da Paisagem Urbana e Sustentabilidade, 1., 2017. **Anais...** Goiânia: Gráfica UFG, 2017. p. 44-55.

SANTOS, L. H. O. A complexidade como método de compreensão da paisagem : a paralaxe entre o ser humano e a natureza. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 46 n. 1/2, 2019.

SASAKI ASSOCIATES. Ananas New Community: Cultivating a new relationship between farmland and urban development that supports a sustainable regional food network and community. **SASAKI**, c2021a. Disponível em: <https://www.sasaki.com/projects/ananas-new-community/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SASAKI ASSOCIATES. Praderas New Community: A sustainable new community plan with innovative social housing. **SASAKI**, c2021b. Disponível em: <https://www.sasaki.com/projects/praderas-new-community>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SASAKI ASSOCIATES. Virginia Polytechnic Institute and State University Campus Master Plan Update. **SASAKI**, c2021c. Disponível em: <https://www.sasaki.com/projects/virginia-polytechnic-institute-and-state-university-campus-master-plan-update/>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SOUZA, E. Conheça a proposta vencedora no Concurso Nacional de Ideias Parque do Cocó, de Base Urbana e COTA760. **ArchDaily Brasil**, 20 abr. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/893004/conheca-a-proposta-vencedora-no-concurso-nacional-de-ideias-parque-do-coco-de-base-urbana-e-cota760>. Acesso em: 30 ago. 2021.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Especialização AU/EC 2020-21, 2020. Site do programa de pós-graduação lato sensu Especialização em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia Civil (Curso 90E). Disponível em: <https://sites.google.com/unicamp.br/especializacaoau/ec/>. Acesso em: 31 jul. 2021.

UNIVERSITY OF TENNESSEE. **Low Impact Development:** opportunities for the planet region. Knoxville: [s.n.], 2013. Disponível em: https://issuu.com/utkcoad/docs/2013_0807_-_lid_opportunities_for_t. Acesso em: 30 ago. 2021.

WIRTH, Timo von. Urban Living Labs - Learning for Urban Transitions? Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0qhLODs0riM>. Acesso em: 18 dez. 2018

ZWIA - Zero Waste International Alliance. **Zero Waste Definition.** Disponível em: <https://zwia.org/zero-waste-definition/>. Acesso em 27 ago. 2021.