

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA (CEATEC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

LUDMILA RACIUNAS

**FITORREMEDIÇÃO COMO SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA:
PROPOSTA DE PARAMETRIZAÇÃO APLICADA AO PARQUE GAS WORKS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Arquitetura e Urbanismo do Centro de
Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia da Pontifícia
Universidade Católica de Campinas como exigência para
obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Profa. Dra. Vera Santana Luz

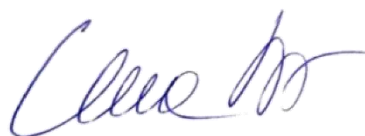
CAMPINAS
2022

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE TECNOLOGIA (CEATEC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

LUDMILA RACIUNAS

**FITORREMEDIAÇÃO COMO SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA:
PROPOSTA DE PARAMETRIZAÇÃO APLICADA AO PARQUE GAS WORKS**

Dissertação defendida e aprovada em 23 de fevereiro de 2022 pela Comissão Examinadora constituída pelas seguintes professoras:



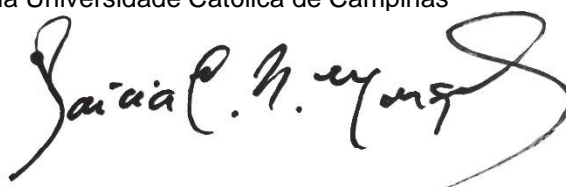
Profa. Dra. Vera Santana Luz

Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Patrícia Rodrigues Samora

Pontifícia Universidade Católica de Campinas



Profa. Dra. Taícia Helena Negrin Marques

Universidad Nacional Agraria La Molina, Peru

Ficha catalográfica elaborada por Vanessa da Silveira CRB 8/8423
Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI - PUC-Campinas

628.5
R121f

Raciunas, Ludmila

Fitorremediação como Solução baseada na Natureza: proposta de parametrização aplicada ao Parque Gas Works / Ludmila Raciunas. - Campinas: PUC-Campinas, 2022.

145 f.: il.

Orientador: Vera Santana Luz.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2022.

Inclui bibliografia.

1. Fitorremediação. 2. Parques urbanos. 3. Solos - Descontaminação. I. Luz, Vera Santana. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDD 23. ed. 628.5

AGRADECIMENTOS

À **Profa. Dra. Vera Santana Luz**, por ter me acolhido como sua orientanda, e pela atenção que sempre me dedicou durante esta Pesquisa.

Aos meus pais, **Carmo** e **Ronaldo**, ao meu marido, **Rafa**, e à tia **Cris**, por todo o apoio, sempre!

Às amigas de jornada **Julia**, **Letícia** e **Maria Flávia**, que representaram um suporte essencial - ainda que virtual - durante o curso deste trabalho.

Por fim, mas não menos importantes, aos **professores** e **funcionários** da PUC-Campinas, que conseguiram tocar o barco em frente mesmo quando parecia que o mundo ia acabar.

RESUMO

O presente trabalho discute, mediante investigação e análise crítica de referenciais teóricos concernentes, alternativas de fitorremediação, apoiadas no estudo de caso do Parque Gas Works, a partir da constituição de metodologia com critérios qualitativos de parametrização, orientados pelas recomendações de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030. A possibilidade da adoção de técnicas de fitorremediação, em seus diversos eixos de abrangência, é um mecanismo de SbN que pode contribuir para adaptação ou mitigação de problemas de desequilíbrio socioambiental decorrentes de processos de urbanização. Considera-se os processos de fitorremediação como possibilidade infraestrutural e de qualificação da paisagem, apontados por organismos internacionais, como recomendação de enfrentamento deste cenário. Tendo como estudo de caso o Parque Gas Works, objetivou-se a discussão comparada de duas propostas de remediação do antigo terreno fabril — uma como processo pioneiro de apropriação pública e outra como proposição teórica a partir da evolução técnica da fitorremediação de solos — mediante a aplicação de parâmetros de avaliação qualitativa a estes dois cenários, como metodologia. A Pesquisa pretende constituir insumos replicáveis para situações análogas, a partir deste modelo preliminar de avaliação.

Palavras-chave: Soluções baseadas na Natureza (SbN); fitorremediação; crise socioambiental; Parque Gas Works; parametrização qualitativa.

ABSTRACT

The present work discusses, through investigation and critical analysis of concerning theoretical references, phytoremediation alternatives, supported by the case study of the Gas Works Park, from the constitution of a methodology with qualitative criteria of parameterization, guided by the recommendations of Nature based Solutions (NbS) and the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. The possibility of adopting phytoremediation techniques, in its various axes of scope, is a NbS mechanism that can contribute to adapting or mitigating problems of socio-environmental imbalance resulting from urbanization processes. Phytoremediation processes are considered as both infrastructural possibilities and landscape qualification, pointed out by international organizations, as a recommendation to face this scenario. Taking the Gas Works Park as a case study, the objective was to compare two proposals for remediation of the former factory site — one as a pioneer process of public appropriation and the other as a theoretical proposition based on the technical evolution of soil phytoremediation — through the application of qualitative evaluation parameters to these two scenarios, as a methodology. The Research intends to constitute replicable inputs for similar situations, based on this preliminary evaluation model.

Keywords: Nature based Solutions (NbS); phytoremediation; socio-environmental crisis; Gas Works Park; qualitative parametrization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Diagrama de apresentação dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).	34
Figura 02 – Diagrama de apresentação das possíveis aplicações das SbN.	43
Figura 03 - Apresentação dos oito critérios do Padrão Global UICN	45
Figura 04 – Porcentagens de aderência ao Padrão Global de SbN propostas pela UICN.	49
Figura 05 – Apresentação das cinco etapas metodológicas do City Adapt.	54
Figura 06 – Diagrama de formas de ação de fitorremediação.	67
Figura 07 – Ilustração de funcionamento do controle hidráulico de pluma contaminada.	71
Figura 08 – Classificação dos <i>wetlands</i> construídos, com destaque às modalidades mais utilizadas.	78
Figura 09 – Ilustração de sistema que utiliza plantas aquáticas flutuantes.	79
Figura 10 – Ilustração de sistema de <i>wetland</i> construído de fluxo superficial.	81
Figura 11 – Ilustração de sistema de <i>wetland</i> construído de fluxo vertical.	82
Figura 12 – Ilustração de sistema de <i>wetland</i> construído de fluxo subsuperficial.	82
Figura 13 – Ilustração de sistema de <i>wetland</i> construído que utiliza plantas aquáticas submersas.	83
Figura 14 – Esquema <i>wetland</i> construído de tipo DHS com fluxo ascendente.	84
Figura 15 – Esquema <i>wetland</i> construído de tipo DHS com fluxo descendente.	84
Figura 16 – Ilustração esquemática da estrutura de <i>wetland</i> construído de tipo DHS.	84
Figura 17 – Ilustração esquemática de um <i>wetland</i> construído de escoamento subsuperficial horizontal.	86
Figura 18 – Ilustração esquemática da estrutura de um <i>wetland</i> construído de escoamento vertical.	87
Figura 19 – Ilustração esquemática da estrutura de um jardim filtrante francês tradicional.	89

Figura 20 – Ilustração esquemática de um tanque de evapotranspiração.	91
Figura 21 – Localização do Parque Gas Works (assinalado em vermelho), Seattle, EUA.	94
Figura 22 – Mapa de localização do Parque Gas Works (assinalado em vermelho) em relação à hidrografia e tecido urbano de Seattle.	95
Figura 23 – Foto aérea da Seattle Gas Light Company, em 1935, em pleno funcionamento.	96
Figura 24 – Plano piloto do Gas Works Park, desenvolvido e apresentado por Richard Haag and Associates em 1971.	98
Figura 25 – Foto da Seattle Gas Light Company, em 1966, já desativada.	99
Figura 26 – Situação do Gas Works Park, em 1971, antes do início das intervenções de Haag.	100
Figura 27 – Mapa de visitação do Parque Gas Works.	103
Figura 28 – Foto aérea do Parque Gas Works.	104
Figura 29 – Diferentes contaminantes e suas localizações no terreno do Gas Works.	107
Figura 30 – Proposta de Mackay para fitorremediação do parque Gas Works.	111
Figura 31 – Proposta de Mackay para fitorremediação do parque Gas Works.	111
Figura 32 – O parque Gas Works (assinalado em vermelho) e as áreas verdes de Seattle.	116
Figura 33 – Ilustração de tipos de uso que ocorrem no parque Gas Works.	118
Figura 34 – Localização dos poços artesianos, de monitoramento e perfurações de sondagem realizados no parque entre 1984 e 2015.	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Critérios e Indicadores de SbN segundo Padrão Global da UICN	46
Quadro 02 – Módulos e Etapas da metodologia proposta pelo CityAdapt	55
Quadro 03 – Definições comparadas de SbN pela IUCN e pela CE	56
Quadro 04 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e metas correspondentes destacados para esta Pesquisa.....	57
Quadro 05 – Parametrização proposta pela Pesquisa	58
Quadro 06 – Parâmetro Qualitativo 1. Qualificação da Paisagem.	113
Quadro 07 – Parâmetro Qualitativo 2. Incorporação de Processos Educativos.....	113
Quadro 08 – Parâmetro Qualitativo 3. Fortalecimento Comunitário.	114
Quadro 09 – Parâmetro Qualitativo 4. Indução de Princípios para Políticas Públicas.	114
Quadro 10 – Parâmetro Qualitativo 5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN.	115
Quadro 11 – Parâmetro Qualitativo 1. Qualificação da Paisagem no Parque Gas Works.	119
Quadro 12 – Parâmetro Qualitativo 2. Incorporação de processos educativos no Parque Gas Works	123
Quadro 13 – Parâmetro Qualitativo 3. Fortalecimento Comunitário no Parque Gas Works	126
Quadro 14 – Parâmetro Qualitativo 4. Indução de princípios para políticas públicas no Parque Gas Works	131
Quadro 15 – Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN no Parque Gas Works	132
Quadro 16 – Quadro-resumo da análise paramétrica	133

LISTA DE ABREVIATURAS

AbE – Adaptação baseada no Ecossistema

BTEX – Benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos (hidrocarbonetos)

CE – Comissão Europeia

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DHS – Sistema de Despoluição Hídrica com Solos

DNT – Dinitrotolueno (explosivo)

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EbA – *Ecosystem-based Adaptation*

EC – *European Commission*

EEA – *European Environment Agency*

EPA – Agência de Proteção Ambiental (norte-americana)

ESALQ – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”

EU – *European Union*

GEF – *Global Environment Facility*

GESAD – Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado

HPA – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (compostos orgânicos semivoláteis)

IGBP – *International Geosphere-Biosphere Programme*

IUCN – *International Union for Conservation of Nature*

NEPA – *National Environmental Policy Act*

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

PCB – do inglês *polychlorinated biphenyls*, bifenilas policloradas (compostos orgânicos aromáticos clorados artificiais)

PCE – Percloroetileno (solvente clorado)

PEAD – polietileno de alta densidade (polímero)

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PVC – policloreto de vinila (polímero)

SbN – Soluções baseadas na Natureza

TCE – Tricloroetano (solvente clorado)

Tevap – Tanque de evapotranspiração

TNT – Trinitrotolueno (explosivo)

UE – União Europeia

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UICN – União Internacional para a Conservação da Natureza

UN – United Nations

UNESCO – United Nations Education, Scientific and Cultural Organization

WWAP – World Water Assessment Programme

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES ACERCA DA CRISE AMBIENTAL CONTEMPORÂNEA	21
1.1 A Agenda 2030 como governança global para o desenvolvimento sustentável	31
CAPÍTULO 2 - SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA COMO RECOMENDAÇÃO INTERNACIONAL	42
I. União Internacional de Conservação da Natureza (UICN).....	42
II. Comissão Europeia (CE)	49
III. Projeto <i>City Adapt</i>	52
2.1 Análise comparativa.....	55
2.3 Retomando a Agenda 2030 e os ODS.....	57
CAPÍTULO 3 - FITORREMEDIAÇÃO COMO SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA: AS PLANTAS COMO SOLUÇÃO DE INFRAESTRUTURA	61
3.1 Processos de fitorremediação.....	66
3.1.1 Fitoextração	67
3.1.2 Fitotransformação/ Fitodegradação	69
3.1.3 Fitovolatilização.....	69
3.1.3.1 Controle hidráulico.....	70
3.1.4 Fitoestabilização	71
3.1.5 Fitoestimulação, Rizodegradação, Biodegradação na rizosfera, Biorremediação ou Degradação assistida por plantas.....	72
3.1.6 Rizofiltração	73
3.2 Técnicas fitorremediadoras.....	74
3.2.1 <i>Wetlands</i> construídos, alagados construídos ou jardins filtrantes	74
A. <i>Wetlands</i> construídos com plantas flutuantes	79
B. <i>Wetlands</i> construídos com plantas emergentes.....	80

B1. Sistema de wetlands construídos com plantas emergentes de fluxo superficial	81
B2. Sistema de <i>wetlands</i> construídos com plantas emergentes de fluxo vertical	82
B3. Sistema de <i>wetlands</i> construídos com plantas emergentes de fluxo horizontal subsuperficial	82
C. Sistema de <i>wetlands</i> construídos com plantas fixas submersas.....	83
D. Sistema de despoluição hídrica com solos	84
E. <i>Wetlands</i> construídos de escoamento horizontal subsuperficial.....	85
F. <i>Wetlands</i> construídos de escoamento vertical	87
F1. Sistema francês de <i>wetlands</i> construídos de escoamento vertical (jardins filtrantes).....	88
3.2.2 Tanque de evapotranspiração	90
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO: Parque Gas Works	93
4.1. Parque Gas Works, Seattle (EUA)	94
4.1.1 História.....	94
4.1.2 Projeto – o plano piloto de Haag.....	97
4.1.3 O parque Gas Works hoje– lidando com a contaminação	102
4.1.4 Proposta alternativa de fitorremediação no parque Gas Works.....	108
4.2 Aplicação da Parametrização proposta e Aferição de Resultados.....	112
4.2.1 Aplicação do Parâmetro Qualitativo 1. Qualificação da Paisagem	115
4.2.2 Aplicação do Parâmetro Qualitativo 2. Incorporação de Processos Educativos	120
4.2.3 Aplicação do Parâmetro Qualitativo 3. Fortalecimento Comunitário... ..	123
4.2.4 Aplicação do Parâmetro Qualitativo 4. Incorporação de Processos Educativos	127
4.2.5 Aplicação do Parâmetro Qualitativo 5. Eficiência das Técnicas de Fitorremediação como SbN	131
CONCLUSÕES	135
REFERÊNCIAS.....	138

INTRODUÇÃO

Parte-se do pressuposto que o meio ambiente necessita de tempos superiores para regeneração perante os processos antrópicos de extração, produção e descarte característicos da sociedade capitalista, cujo efeito de degradação da natureza ocorre em tempos inéditos (IGBP, c2015). Segundo o International Geosphere-Biosphere Programme (2004):

A segunda metade do século 20 é única na história da existência da humanidade. Muitas atividades humanas decolaram em algum momento do século 20 e aceleraram drasticamente ao final do século. Os últimos 60 anos testemunharam, sem dúvida, a mais profunda transformação da relação humana com o mundo natural na história da humanidade (IGBP, 2004, p. 18, tradução nossa).¹

Os resultados dessa aceleração do capitalismo vêm em forma de escassez, poluição, depredação dos recursos naturais e mudanças climáticas que geram, por sua vez, as crises ambientais e sociais. De acordo com Luiz Marques (2015), a situação é tal que as crises ambientais se sobreporão às crises cíclicas do próprio sistema capitalista, trazendo como resultado agravantes maiores do que a quebra de economias, estando em jogo “os equilíbrios físicos, químicos e biológicos sobre os quais se alicerça a teia da vida” (Marques, L., 2015, p. 47). Considera-se que o enfrentamento da crise socioambiental contemporânea necessita ser colocado como problema central e impreterível da humanidade, muito embora Marques (2015) aponte para o paradoxo de contemplar a sustentabilidade dentro do sistema capitalista como temas antitéticos. De acordo com o autor:

O capitalismo é insustentável em termos ambientais e a ideia de que se possa “educá-lo” para a sustentabilidade pode ser considerada como a mais extraviadora ilusão do pensamento político, social e econômico contemporâneos. (MARQUES, L., 2015, p. 59)

Neste contexto, debates sobre a relação homem-natureza vêm se tornando, no mínimo, imperativos, bem como a busca por soluções alternativas para mitigar

¹ Texto original: “The second half of the 20th Century is unique in the history of human existence. Many human activities reached take-off points sometime in the 20th Century and sharply accelerated towards the end of the century. The last 60 years have without doubt seen the most profound transformation of the human relationship with the natural world in the history of humankind.” (IGBP, 2004, p. 18).

problemas causados ao meio ambiente por interferência humana. Tendo em vista que estas agressões têm consequências globais, ainda que possam ocorrer localmente, a Organização das Nações Unidas (ONU) cria, em 1972, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), com o objetivo de coordenar ações internacionais de promoção e conservação do meio ambiente e o uso eficiente de recursos no contexto do desenvolvimento sustentável. O PNUMA vem estabelecendo, desde a década de 90, agendas globais de enfrentamento, com vistas a mitigar os impactos ambientais causados pelo ser humano a nível mundial. A mais recente é a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, implementada em 2015, que define os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), compostos por 169 metas estabelecidas para se atingir o desenvolvimento sustentável social, econômico e ambiental, buscando erradicar a pobreza e melhorar a qualidade de vida das populações, promovendo a igualdade social. Os países signatários teriam até 2030 para o cumprimento das metas e Objetivos da Agenda (ONUBR, 2015). No entanto, conforme brevemente exposto, o próprio termo desenvolvimento sustentável é alvo de controvérsia, dada sua associação inerente ao crescimento em moldes capitalistas que equivalem às noções de economia, meio ambiente e equidade social em pé de igualdade (MARQUES, 2015).

No sentido de aprofundar premissas para ações voltadas ao equilíbrio ambiental, recorreremos ao que a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) define como Soluções baseadas na Natureza (SbN), a saber: “ações para proteger, manejar sustentavelmente e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que residem em desafios sociais efetivos e adaptáveis, simultaneamente provendo o bem-estar humano e benefícios à biodiversidade” (COHEN-SHACHAM et al., 2016, p. 2, tradução nossa)². Estes processos são predicados para segurança hídrica, alimentar, saúde humana, redução de riscos de desastres e mudanças climáticas, mediante restauração ecossistêmica em operações em rede. De acordo com Taícia Marques et al. (2021):

² Texto original: “Actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits.” (Cohen-Shacham et al., 2016, p. 2).

[...] a utilização de SbN pode ter um ou mais desafios como ponto de partida, no entanto, uma intervenção deve proporcionar múltiplos benefícios (co-benefícios) e colaborar para o enfrentamento de vários problemas simultaneamente. No caso urbano, por exemplo, um planejamento integral poderia relacionar diretamente as infraestruturas de mobilidade com a ampliação de áreas verdes e cobertura vegetal, drenagem sustentável e as questões de equidade social. As SbN deverão ser necessariamente projetadas a partir de formatos multidisciplinares a fim de congregarem distintos atores, setores e de modo a abranger diversas áreas do conhecimento, além de integrar a dimensão cultural e envolver comunidades locais, considerando modelos de co-criação e governança, essenciais para a sustentabilidade das ações em médio e longo prazos. (MARQUES et al., 2021, p. 22-23).

Adotamos esta perspectiva embora considerando que a definição de SbN está em curso como um debate internacional, cujas ênfases incidem sobre a equivalência entre os benefícios humanos e propriamente ecossistêmicos envolvendo toda a biota.

O World Water Assessment Programme (WWAP), estabelecido pela UNESCO (United Nations Education, Scientific and Cultural Organization), em resposta a demanda da Comissão de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), recomenda a incorporação acelerada das SbN para a gestão da água e dos recursos hídricos, como potencial sustentável para disponibilidade, qualidade e manejo de riscos relacionados, mediante experiências na escala de bacias em áreas urbanas. Consistem em sistemas de baixo impacto, apontados por organismos internacionais como possibilidades de enfrentamento à crise ambiental planetária (WWAP, 2018). Esta recomendação inclui questões relativas a financiamento, marcos regulatórios e jurídicos e colaboração intersetorial de políticas, para incremento da base de conhecimentos e critérios de avaliação de opções, como cumprimento à Agenda 2030 (WWAP, 2018).

Intentou-se, nesta Dissertação, investigar alternativas de fitorremediação a partir de um estudo de caso, mediante a constituição de critérios de parametrização, orientados pelas recomendações de Soluções baseadas na Natureza e da Agenda 2030. Para tanto, foi selecionado um estudo de caso

relacionado à fitorremediação de solos, de escala urbana, integrado ao programa de parques públicos, o parque Gas Works, em Seattle, Estados Unidos. O Gas Works foi implantado nos anos 1970, no local da antiga planta-sede da Seattle Gas Light Company, após a realização de um extenso processo de bio-fitorremediação no solo da antiga indústria e na margem do lago Union, lindeiro a esta. Foi inaugurado e aberto ao público em 1975 e é um dos primeiros projetos norte-americanos de reabilitação e reutilização de antigas áreas industriais com o objetivo de sua transformação em espaços de recreação e contemplação públicos.

Entende-se por fitorremediação o conjunto de técnicas que utiliza plantas e seus microrganismos associados para remediar ou extinguir efeitos nocivos causados por elementos tóxicos ao meio ambiente, com potencial para tratamento eficaz de uma grande gama de poluentes orgânicos e inorgânicos. A fitorremediação tem sido aplicada em diversas frentes, tais como: tratamentos de sistemas hídricos, de efluentes de esgotos, descontaminação de solos e despoluição de ar (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Perante a amplitude e complexidade do problema socioambiental, que supera o âmbito do escopo deste trabalho, pretende-se contribuir com uma reflexão buscando investigar a fitorremediação como Solução baseada na Natureza, cujo potencial pode atingir desde a escala localizada a processos sistêmicos regionais.

Segundo Taícia Marques et al. (2021), o termo SbN foi originalmente cunhado em países com climas e realidades socioeconômicas, ambientais e políticas muito distintos daquelas encontradas nos países do Sul global, considerando que publicações científicas que reflitam acerca de sua aplicação no contexto sul-americano ainda são escassas. Os autores defendem, também, que a definição de indicadores de SbN e o monitoramento dos mesmos é crucial para que se possa diferenciar uma área verde genérica de uma que oferece múltiplos benefícios e que, portanto, pode ser classificada como SbN. Como a adoção de fitorremediação e outras SbN ainda é incipiente no Brasil, pretende-se que esta pesquisa, ao investigar determinadas ações de fitorremediação e seu potencial em contribuir para o equilíbrio socioambiental a partir de um ensaio de parametrização, possa, por consequência, inspirar ações comunitárias, políticas públicas e de qualificação da paisagem.

O presente trabalho tem como objetivo geral refletir acerca da adoção de sistemas de fitorremediação como Soluções baseadas na Natureza (SbN) na paisagem urbana, partindo da premissa da necessidade de enfrentamento da crise ambiental contemporânea. Entende-se que esta pesquisa possa contribuir para a discussão em curso acerca da adoção de critérios sistematizados e sua aplicação a estudos de caso e projetos, cujo pressuposto é a investigação de possibilidades de redução de impactos socioambientais a partir de Soluções baseadas na Natureza, perante situações urbanas de caráter sistêmico relacionadas à fitorremediação. Desse modo, o objetivo específico desta pesquisa é estabelecer uma discussão acerca de aspectos de um estudo de caso — o Parque Gas Works — perante parâmetros qualitativos indicativos de forma a verificar a propriedade de seus critérios como insumos aplicáveis em outras situações e contribuir para futuras ações concretas, processos pedagógicos, estratégias de ações comunitárias, qualificação da paisagem e políticas públicas, dirigidos à mitigação ou superação de impactos ambientais.

A metodologia preconizada foi a investigação de referências bibliográficas e documentais, a eleição de parâmetros indicativos e sua aplicação no estudo de caso. A pesquisa se fundamenta em referências teóricas relativas à discussão do desequilíbrio e crise socioambiental contemporâneos, às Soluções baseadas na Natureza — a partir de recomendações internacionais e literatura relacionada —, e de sistemas de fitorremediação e sua abrangência. Compreende a análise de metas da Agenda 2030 e a investigação sistematizada do estudo de caso Parque Gas Works, mediante documentos e referências bibliográficas.

Perante a fundamentação teórica, buscou-se articular alguns critérios de parametrização, com vistas a circunstanciar a análise do estudo de caso do Parque Gas Works, cuja seleção pretendeu abarcar uma circunstância urbana que abrange a fitorremediação de solo, por seu pioneirismo e continuidade de proposições ao longo do tempo.

A estrutura da Dissertação se organiza em quatro Capítulos, Considerações Finais e esta Introdução, conforme descreve-se a seguir. Nesta Introdução apresenta-se o tema e a abordagem da Pesquisa, suas bases conceituais e justificativas, objetivos, métodos e resultados, bem como realiza-se a exposição

geral das temáticas concernentes — Soluções baseadas na Natureza e fitorremediação — e a descrição sumária do estudo de caso elencado.

No Capítulo 1 – **Considerações acerca da crise ambiental contemporânea**, realiza-se a revisão bibliográfica e análise crítica acerca de aspectos da crise socioambiental contemporânea e seus efeitos. Recorre-se, para tanto, a autores como Wackernagel e Rees (1996), Alier-Martinez (1998), Porto-Gonçalves (2004), Veiga (2013), Marques (2015) e Gudynas (2019) e considera-se como principais questões de discussão: sustentabilidade no sistema capitalista, pegada ecológica, visão antropocêntrica da economia e como a governança global tem gerido a crise ambiental.

O Capítulo 2 – **Soluções baseadas na Natureza como recomendação internacional**, introduz aspectos e especificidades das Soluções baseadas na Natureza (SbN) como recomendação dos principais órgãos internacionais para mitigação ou prevenção de impactos negativos socioambientais. Elegeu-se, para discussão neste trabalho, três instituições internacionais: a União Internacional de Conservação da Natureza (UICN, ou IUCN – International Union for Conservation of Nature); a Comissão Europeia (CE, ou EC - European Commission); e o projeto City Adapt. O objetivo deste Capítulo foi a apresentação e breve análise comparativa entre o que estas instituições vêm discutindo acerca da adoção de Soluções baseadas na Natureza (SbN), decorrendo desta investigação a proposição de um embrião de parametrização qualitativa e critérios gerais para ensaio de aplicação ao estudo de caso elegido.

No Capítulo 3 – **Fitorremediação como Solução baseada na Natureza: as plantas como solução de infraestrutura**, procedeu-se à descrição comentada das técnicas de fitorremediação em suas diferentes abrangências — efluentes sanitários, sistemas hídricos, solos, ar — como Solução baseada na Natureza, passível de aplicação nas frentes de segurança hídrica e saúde humana. Foram abordadas, neste Capítulo, as seguintes técnicas fitorremediadoras: fitoextração; fitotransformação/fitodegradação; fitovolatilização; controle hidráulico; fitoestabilização; fitoestimulação, rizodegradação, biodegradação na rizosfera, biorremediação ou degradação assistida por plantas; rizofiltração; e os seguintes

sistemas que as utilizam: os diversos tipos de *wetlands*, ou alagados construídos; e os tanques de evapotranspiração.

O Capítulo 4 – **Estudo de caso: parque Gas Works**, expõe as condicionantes de paisagem urbana do estudo de caso selecionado, mediante a investigação histórica que abrange desde o seu projeto e construção, nos anos 1970, até a proposta teórica de Hailey Mackay (2016) para continuidade da descontaminação do local, utilizando diferentes técnicas de fitorremediação. Mediante as circunstâncias particulares do Parque Gas Work, realiza-se o ensaio de aplicação da parametrização proposta e sua discussão crítica, estabelecendo uma reflexão sobre seu alcance como ferramenta metodológica.

No Capítulo – **Considerações Finais**, apresenta-se a súmula dos resultados alcançados no trabalho e a reflexão crítica conclusiva acerca do alcance da parametrização qualitativa proposta para o estudo de caso de um exemplo de fitorremediação, como Solução baseada na Natureza, e como possibilidade de replicabilidade a situações análogas.

Intenta-se que o esforço por divulgar sistemas alternativos de infraestrutura como a fitorremediação e Soluções baseadas na Natureza sejam uma contribuição para a promoção de equilíbrio ambiental. Esta pesquisa buscou constituir uma contribuição no sentido de sistematizar e propor uma parametrização qualitativa que possa, além de seu desenvolvimento e replicabilidade, inspirar políticas públicas, fortalecimento comunitário, qualificação da paisagem e processos de educação ambiental.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES ACERCA DA CRISE AMBIENTAL CONTEMPORÂNEA

De acordo com a definição de Porto-Gonçalves (2004, p. 66), recursos naturais são aqueles que existem independentemente da ação humana, sendo que alguns, tais como a água, são essenciais para a manutenção da vida em nosso planeta. O próprio termo – *recursos naturais* – já explicita um modo de nomear, do ponto de vista humano, a natureza como funcional à nossa espécie. Nesse sentido, a natureza necessita de tempos maiores para sua regeneração, perante os atuais processos de extração, produção e descarte que a sociedade contemporânea tem imposto (WACKERNAGEL; REES, 1996). Desde o século XIX, a comunidade científica vêm advertindo para o fato de que os desequilíbrios ambientais como um todo, e não apenas as mudanças climáticas decorrem, principalmente, da ação humana sobre o meio ambiente (MARQUES, 2015).

Para Abramovay (2012), a humanidade tem dificuldades em lidar com noções de limite. Segundo o autor, passamos o século XX acreditando que seria possível, através da invenção de novas tecnologias, sempre substituir os recursos que viessem a nos faltar e reparar os danos causados pelo modelo capitalista de produção e consumo. Segundo o autor, chegamos ao século XXI e a ideia de que a unidade ciência-tecnologia seria capaz de resolver a questão ambiental tem se mostrado “tragicamente equivocada”, sendo que as mudanças climáticas são “a expressão mais cabal desse engano” (ABRAMOVAY 2012).

Marques (2015) define o sistema econômico capitalista a partir de duas características principais: o ordenamento jurídico fundado na propriedade privada; e a lógica econômica segundo a qual recursos naturais e forças produtivas são utilizados para a reprodução ampliada e a máxima remuneração do capital. Assim temos que:

Essa estrutura da riqueza e da renda e essa tendência à concentração de ambas confirmam um mecanismo ínsito no coração do sistema econômico, que impulsiona uma parcela diminuta da humanidade a acumular de modo irracional, isto é, como um fim em si. (MARQUES, 2015, p. 17).

Na direção do debate humanidade-natureza, Porto-Gonçalves (2004) pontua que o capitalismo é baseado na separação – “a mais radical possível” – entre a humanidade e a natureza:

[...] sob o capitalismo, haverá, sempre, relações espaciais de dominação/exploração, tirando dos lugares e, mais, tirando dos do lugar, o poder de definir o destino dos recursos com os quais vivem. (PORTO-GONÇALVES, 2004, p. 68).

O autor também explicita que foi justamente a aliança entre as relações de dominação/exploração e as sucessivas revoluções tecnológicas - que se seguiram após a Revolução Industrial - que tornaram possível o desenvolvimento do sistema capitalista em nível global. Segundo o autor:

Essas revoluções proporcionaram, fundamentalmente, a separação entre o lugar de extração da matéria bruta, o lugar da transformação da matéria-prima (consumo produtivo) e o lugar do consumo, conformando toda uma complexa logística de matéria e energia que materializa no espaço-tempo as relações sociais de poder entre os diferentes segmentos da sociedade, em suas diferentes escalas: do lugar à região, ao Estado-Nação à escala internacional e/ou mundial. (PORTO-GONÇALVES, 2004, p. 68).

A ideia de um mundo integrado, isto é, capaz de superar as limitações locais, já fazia parte do ideário europeu – lembremo-nos das grandes navegações –, mas foi o desenvolvimento tecnológico no campo das comunicações que tornou possível a propagação de um mesmo discurso à escala planetária. Contudo, a globalização de um sistema econômico exploratório, que ignora sua própria inscrição nos ciclos vitais do meio ambiente é problemática (PORTO-GONÇALVES, 2004).

Marques (2015) afirma que as crises ambientais contemporâneas são desencadeadas justamente pelo êxito das sociedades industriais em “multiplicar incessantemente o excedente”, isto é, graças à produção industrial massiva de bens de consumo, a partir da utilização de matérias-primas. O autor afirma que esta dinâmica de exploração desmedida do sistema capitalista sobre os recursos naturais – aliada a uma série de outros fatores como o aumento da urbanização, o incremento da população mundial e do poder de compra e do consumo para determinados seguimentos, entre outros – não apenas impõe novas formas de escassez, como também gera ameaças à própria segurança da humanidade enquanto espécie (MARQUES, 2015).

Para Porto-Gonçalves (2004, p. 30), estamos sofrendo os “efeitos da própria intervenção que a ação humana provoca, por meio do poderoso sistema técnico de que hoje se dispõe”:

Quando se sabe que 20% dos habitantes mais ricos do planeta consomem cerca de 80% da matéria-prima e energia produzidas anualmente, vemos-nos diante de um modelo-limite. (PORTO-GONÇALVES, 2004, p. 31).

Tudo indica que o planeta está, ainda que atingindo de modo desigual a humanidade, a caminho do colapso ambiental enunciado por Marques (2015):

[...] por efeito de sinergia entre as diversas crises ambientais, aumenta rapidamente a probabilidade de que sobrevenha um colapso ambiental. Não sabemos a que distância estamos desse limiar, o que exatamente sobrevirá se o cruzarmos e nem mesmo se já o cruzamos. Mas sabemos que, mantida a atual trajetória, as chances de não o ultrapassar são cada vez menores. (MARQUES, 2015, p. 47-48).

A partir dos anos 1960, “graças ao advento do ambientalismo” (PORTO-GONÇALVES, 2004), cresce a consciência de que o intenso processo de industrialização do mundo já fora capaz de causar sérios impactos a nível global – impactos estes que fizeram emergir, no final do século XX, um novo valor: a sustentabilidade (VEIGA, 2013, p. 10)³.

Porto-Gonçalves (2004) pontua que, mesmo enfrentando críticas por parte de alguns ambientalistas, o modelo desenvolvimentista continuou a globalizar-se a partir dos anos 1960, muito graças ao patrocínio e aliança de alguns agentes socioeconômicos em diferentes contextos – citamos aqui as oligarquias financeiras e industriais do Primeiro Mundo que, aliadas a governos, oligarquias latifundiárias e grupos nacionais desenvolvimentistas do Terceiro Mundo ali fizeram construir hidrelétricas, filiais de indústrias e grandes estradas.

O autor afirma que, até os anos 1960, a dominação da natureza não era considerada consensualmente um problema e, sim, uma solução: o desenvolvimento e o progresso viriam para acabar com a desigualdade social. Segundo Porto-Gonçalves (2004):

³ Vale lembrar o pioneirismo ambientalista de meados do século XX, mediante o impacto causado pela publicação de *A Primavera Silenciosa*, da autora Rachel Carson, em 1962; e do relatório *Limits of Growth* (Limites do Crescimento), pelo Clube de Roma, em 1972.

A ideia de progresso é de tal forma parte da hegemonia cultural tecida a partir do Iluminismo, que mesmo aqueles que se consideram os maiores críticos da vertente burguesa da modernidade - isto é, do capitalismo -, se assumem como progressistas, e é com base nesses fundamentos que criticam os ambientalistas. Assim, progressistas de todos os matizes, dos liberais a marxistas produtivistas, se apresentam criticamente diante dos ambientalistas. (PORTO-GONÇALVES, 2004, p. 24-25).

Ao mesmo tempo, o avanço das pesquisas científicas sobre a situação concreta dos ecossistemas em diferentes regiões do globo evidencia problemas preocupantes (VEIGA, 2013). A ideia de que seria possível, de alguma forma, equilibrar a balança entre a produção de bens de consumo e a exploração dos ecossistemas deu origem a diversas teorias, tais como a do decrescimento.

A teoria do decrescimento prega que, a fim de prolongar sua permanência na Terra, a humanidade seria obrigada a desvincular a noção de crescimento econômico da de desenvolvimento, isto é, não apenas “deixar de crescer”, mas “diminuir”, tendo como pensador o economista Georgescu-Roegen (VEIGA; ZATZ, 2008). Nesse sentido, Marques (2015) afirma que o decrescimento econômico não é uma opção, mas sim uma “tendência inexorável”:

Embora a descoberta recente de fontes alternativas de petróleo e gás possa dar um último folego ao crescimento, a extração, o transporte e a queima desses combustíveis só levarão a mais emissões de gases de efeito estufa, a mais poluição e a mais desequilíbrios ambientais e, portanto, a um decrescimento inevitável ainda mais dramático num próximo futuro. Justamente porque estamos esgotando os recursos minerais, hídricos e biológicos do planeta, e porque estamos desestabilizando as coordenadas ambientais que prevaleceram no Holoceno, as taxas de crescimento da economia global já estão declinando em relação à média do período 1945-1973. (MARQUES, 2015, p. 502).

Segundo o autor, a teoria do decrescimento é fundamentalmente anticapitalista, isso porque este sistema tem o crescimento e a expansão como variáveis fundamentais para seu funcionamento:

[...] a razão mesma de ser da atividade econômica no capitalismo é o próprio crescimento. No capitalismo, ser é crescer. Ser e crescer são, no metabolismo celular desse sistema, uma única e mesma coisa. A locução "capitalismo sustentável" exprime, portanto, num mundo de recursos naturais finitos, uma contradição nos termos. (MARQUES, 2015, p. 50).

O autor acrescenta a esse pensamento uma crítica ao que denomina “ilusão antropocêntrica”, isto é, a ideia de que o ser humano é o centro do mundo. O conceito de antropocentrismo, portanto, implica na hipótese segundo a qual todas as coisas do universo (sejam minerais, vegetais ou animais) são subordinadas ao homem (MARQUES, 2015, p. 550). Pontes Júnior e Barros (2016, p. 428) afirmam que o desafio atual da humanidade seria justamente reconhecer a Natureza como um “sujeito de direitos”, o que só será possível quando a “visão antropocêntrica utilitária” for superada, isto é, quando entendermos que não se pode mais submeter os recursos da Natureza a uma exploração ilimitada.

Gudynas (2019) discute os direitos da Natureza perante sua própria constitucionalização:

Mais recentemente, desde o começo do século XXI, ocorreram novos processos constitucionais na Venezuela, na Bolívia e no Equador. Essas mudanças são parte do chamado novo constitucionalismo latino-americano e foram promovidas pelos governos progressistas. Esses governos consideravam que era indispensável contar com novas constituições, por exemplo, para incorporar realmente os povos indígenas (como a plurinacionalidade, na Bolívia), para salvaguardar outro tipo de regulações sobre o mercado (tais como proteger as economias solidárias), ou para modificar a estrutura do Estado e o regime político eleitoral [Ávila Santamaria, 2011a]. Como parte desse impulso neoconstitucional, somaram-se várias novidades ambientais, entre as quais se considerou o reconhecimento dos direitos da Natureza. (GUDYNAS, 2019, p. 77).

Abramovay (2012), mais conservador, defende que a economia precisa alinhar-se a sistemas de inovação orientados para a sustentabilidade, isto é, que tenham por objetivo reduzir a atual dependência de recursos materiais e energéticos:

Uma nova economia tem justamente a função de sinalizar que esses recursos não são infinitos e, ao mesmo tempo, ela estimula a criatividade no sentido de obter bens e serviços apoiados no uso cada vez mais inteligente, eficiente e parcimonioso de matéria, de energia e da própria biodiversidade. (ABRAMOVAY, 2012, p. 19).

O autor considera que a economia deva, ao mesmo tempo em que busca a redução do uso de matérias-primas naturais, garantir que as necessidades básicas de todos os seres humanos sejam preenchidas, para quem, segundo nossa visão,

seria possível articular teorias contraditórias entre *inteligência criativa*, incremento da produtividade e redução da desigualdade. Segundo Abramovay (2012):

Isso supõe reduzir drasticamente a desigualdade e, ao mesmo tempo, por meio da inovação, ampliar a produtividade material e energética dos processos produtivos. Um novo metabolismo social se apoia na revisão dos objetivos da própria economia. Ele é incompatível com a ideia dominante até aqui segundo a qual o propósito da economia é promover o crescimento incessante da produção e do consumo. (ABRAMOVAY, 2012, p. 20-21).

Alier-Martinez (1998) defende como solução a adoção da economia ecológica, que define como:

[...] uma economia que usa os recursos renováveis (água, pesca, lenha e madeira, produção agrícola) com um ritmo que não exceda sua taxa de renovação, e que usa os recursos esgotáveis (petróleo, por exemplo) com um ritmo não superior ao da sua substituição por recursos renováveis (energia fotovoltaica, por exemplo). Uma economia ecológica conserva, assim, a diversidade biológica, tanto silvestre quanto agrícola. (ALIER-MARTINEZ, 1998, p. 268).

Segundo o autor, para que consigamos chegar a uma economia ecológica a partir do modelo atual, será preciso “aplicar uma variedade de medidas, sem descanso, durante vários decênios, para ir mudando a estrutura de consumo e as tecnologias” (ALIER-MARTINEZ, 1998, p. 270), sendo que:

O primeiro passo é fixar sucessivos objetivos de redução de emissões contaminantes e do uso dos recursos, através de debates científico-políticos democráticos abertos. Estes objetivos podem ser alcançados mediante: a) proibições legais e multas ou outras sanções; b) incentivos e penalidades econômicas, tais como impostos, depósitos prévios (como o que deveria impor-se imediatamente sobre as garrafas de plástico), mercados de licenças de contaminações, etc. (ALIER-MARTINEZ, 1998, p. 270).

Para compreender de modo quantitativo o impacto causado ao meio ambiente pelas atividades humanas surge, no início dos anos 1990, o conceito de *Pegada Ecológica* – termo cunhado durante na tese de doutorado sobre planejamento urbano sustentável, defendida em 1994 por Mathis Wackernagel, sob a orientação de William Rees (VEIGA, 2013), que apresenta um método baseado em uma série de indicadores a partir dos quais é possível realizar sua mensuração:

A Pegada Ecológica é uma ferramenta de medição que permite estimar o consumo de recursos e os requisitos necessários para a assimilação dos resíduos de uma população humana definida em correspondência a uma área produtiva. (WACKERNAGEL; REES, 1996, p. 9, tradução nossa)⁴.

A *Pegada Ecológica* corresponde ao resultado da razão entre a pressão antrópica exercida sobre os ecossistemas e sua capacidade de regeneração, isto é, a *biocapacidade* planetária, em hectares per capita.

Veiga (2013) define *biocapacidade* como “a capacidade dos ecossistemas de produzir materiais biológicos úteis e absorver rejeitos gerados pelas populações humanas, de acordo com os atuais padrões tecnológicos e de manejo” (VEIGA, 2013, p. 85). Segundo comenta o autor, entre 1961 e 2008, foi possível comprovar que a Pegada Ecológica mundial aumentou de 2,5 para 2,7 hectares per capita, ao passo que a biocapacidade mundial passou de 3 hectares per capita para 1,8 – comparativamente; a Pegada Ecológica do planeta, portanto, saltou de 80% em 1961, para 150% em 2008, o que significa que “a humanidade passou a consumir, em um ano (i.e. 2008), aquilo que a biosfera necessita de um ano e meio para regenerar” (VEIGA, 2013, p. 86).

Esta ferramenta de medição passou a fornecer possibilidades mensuráveis para que se possa traçar estratégias de redução e/ou adequação dos valores necessários de regeneração bem como de indicar setores onde a atividade humana se torna predatória:

A Pegada Ecológica de qualquer população pode ser usada para medir seu consumo atual e requisitos projetados em relação à oferta ecológica disponível e apontar prováveis deficiências. Dessa forma, pode auxiliar a sociedade na avaliação das escolhas que precisam ser feitas acerca de demandas sobre a natureza. (WACKERNAGEL; REES, 1996, p. 13, tradução nossa)⁵.

⁴ Texto original: “Ecological footprint analysis is an accounting tool that enables us to estimate the resource consumption and waste assimilation requirements of a defined human population or economy in terms of a corresponding productive land area” (WACKERNAGEL; REES, 1996, p. 9). Wackernagel e Rees foram contemplados, em 2014, com o Prêmio Blue Planet – premiação internacional conferida anualmente a indivíduos ou organizações cujo trabalho represente uma significativa contribuição para a melhoria do ambiente global (THE ASAHI GLASS FOUNDATION, [s.d.]).

⁵ Texto original: “The Ecological Footprint of any population can be used to measure its current consumption and projected requirements against available ecological supply and point out likely

O estudo conduzido por Wackernagel e Rees foi fundamental para entender quais atividades eram mais poluidoras. Veiga (2013, p. 88) exemplifica que, em 2008, o sequestro de carbono foi responsável por 54,4% do total da *Pegada Ecológica* mundial, enquanto para a agricultura o índice foi de 21,9%.

Diante deste quadro, é possível concordar com Marques (2015) que, baseado em uma série analítica multisetorial de dados⁶, afirma que o planeta esteja diante do colapso, de onde deriva, em sua análise, a tese de que o capitalismo seja antitético aos conceitos de sustentabilidade e de preservação ambiental, em todos os níveis (MARQUES, 2015).

Nunes, Rosa e Moraes (2015) consideram que pensar em sustentabilidade dentro de um sistema capitalista é, por si só, um paradoxo, pois nos padrões de urbanização que o mundo adotou desde a Revolução Industrial, não é possível manter intensos ciclos de crescimento econômico e urbano sem agredir o meio ambiente de alguma forma.

Sotto et al. (2019) definem sustentabilidade como sendo “um objetivo, um processo e uma disciplina de interesse global”, e que esta envolve-se intimamente com o conceito de equidade e com os objetivos em nível local. De acordo com os autores, a sustentabilidade urbana “mobiliza todas as disciplinas e campos do conhecimento, por seu impacto escalar e pelas análises e soluções complexas que demanda” (SOTTO et al., 2019, p. 62).

Para Nunes, Rosa e Moraes (2015), o conceito de sustentabilidade urbana é impreciso, não existindo uma definição capaz de conferir-lhe “o caráter sistêmico que merece”, ao mesmo tempo em que possa permitir “uma fácil compreensão dos abusos sobre a natureza” (ROSA; NUNES; MORAES, 2015, p. 15). Os autores também comentam que esta imprecisão pode contribuir para a apropriação

shortfalls. In this way, it can assist society in assessing the choices we need to make about our demands on nature.” (WACKERNAGEL; REES, 1996, p. 13.)

⁶ LUZ (2017) discutindo a estrutura de Marques, resume da seguinte forma: [...] “o texto apresenta em amplitude o conjunto das crises ambientais em convergência, vale dizer, como inter-relacionadas e indissociáveis, que creio importante enumerar em minúcia e exagero, para estampar sua extensão flagrante, ao paroxismo: a diminuição e degradação das florestas; águas, solos e insegurança alimentar; lixo, efluentes e intoxicação industrial; combustíveis fósseis; a regressão do carvão; mudanças climáticas; demografia e democracia; colapso da biodiversidade terrestre; colapso da biodiversidade no meio aquático. Postas a termo com considerações definidas como: antropoceno: rumo à hipobiosfera; o saldo qualitativo das crises ao colapso”.

indevida da expressão pelo mercado imobiliário, que tende a vender empreendimentos ditos sustentáveis, por se utilizarem de algum elemento “verde” – como tetos-jardim, reaproveitamento de água, ou assemelhados – quando, em realidade, estão a reforçar uma matriz urbanística insustentável.

Para Marques (2015), um sistema socioeconômico é sustentável se (e somente se) a atividade econômica não destruir a biodiversidade e não alterar as coordenadas ambientais numa velocidade superior a sua capacidade de restauração e adaptação; e, também, se a atividade econômica for capaz de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de fazer o mesmo⁷ (MARQUES, 2015, p. 39).

Por outro lado, Alier Martinez (1998), alerta para o entendimento de que um sistema deixa de ser sustentável quando excede a “capacidade de sustento”, conceito da ecologia que diz respeito à capacidade de um número determinado de indivíduos da mesma espécie de manter-se em um território indefinidamente sem provocar degradações nos recursos de base que levem a diminuição dessa mesma população no futuro.

Veiga (2013) afirma que “qualquer caminho para um mundo sustentável só poderá ser efetivo com um amplo número de ações globais”, uma vez que as mudanças climáticas, a erosão da biodiversidade ou a multiplicação de zonas oceânicas mortas devido ao excesso de nitrogênio são questões globais. Portanto, uma ‘governança global’ – expressão que começou a ser utilizada a partir do final da década de 1980 – faz-se necessária. É papel desta, basicamente, a criação de instituições e diretrizes que garantam que “um mundo formado por Estados-nação se governe sem que disponha de governo central” (VEIGA, 2013, p. 13). Conforme afirma o autor:

A degradação do meio ambiente nos países ricos deriva principalmente do modelo de desenvolvimento, enquanto os problemas do meio ambiente dos

⁷ Observamos a evolução do conceito apresentado por Marques perante a definição anterior dada pelo Relatório de Brundtland, em que se mencionava apenas a relação homem-natureza (i.e. a visão antropocêntrica), sem levar em consideração as demais espécies que também povoam o planeta: “A humanidade tem a capacidade de fazer um desenvolvimento sustentável para garantir que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades.” (BRUNDTLAND, 1987, tradução nossa).

países subdesenvolvidos são consequência do subdesenvolvimento e da pobreza. (VEIGA, 2013, p. 50-51).

Seguindo este raciocínio, pode-se afirmar que, para uma grande parte dos países “do Sul”⁸, o enfrentamento das questões ambientais tem mais um agravante: a desigualdade social causada por um modelo de crescimento econômico que privilegia, há décadas, soluções urbanas voltadas apenas para o interesse de uma pequena parcela da população (NUNES; ROSA; MORAES, 2015, p. 13).

Abramovay (2012, p. 15), perante esta mesma hipótese, afirma que o cenário contemporâneo nos mostra que a pobreza em países em desenvolvimento, embora tendo diminuído nas últimas décadas, apresenta parte expressiva dessas populações com acesso precário a itens de necessidade básicos – tais como saneamento e água potável – ao mesmo tempo em que a produção e a desigualdade no uso de energia, nas emissões, no consumo, na educação e na saúde aumentaram.

Nunes, Rosa e Moraes (2015) discutem os padrões de urbanização que o mundo adotou desde a Revolução Industrial, que, segundo os autores, mostraram-se e têm se mostrado problemáticos do ponto de vista ambiental. O modelo urbano apoiado no automóvel, na residência unifamiliar, no espraiamento urbano, no consumo irresponsável e na produção maciça de resíduos mostrou-se, ao longo do tempo, custoso para o meio ambiente. Segundo os autores, mesmo as experiências de cidades novas, ao longo das décadas passadas, não conseguiram constituir um modelo urbano realmente sustentável.

Como hipótese mais imediata, Marques (2015) aponta que:

“...embora a sustentabilidade ambiental exija uma sociedade alternativa ao capitalismo, isto não exclui gradualismos e mediações políticas próprias à realidade presente: toda ação do Estado, dos partidos, das ONGs, das empresas, das diversas instituições da sociedade civil e dos indivíduos em

⁸ Nos referimos, aqui, às noções de Sul Global e de “linha abissal” propostas por Boaventura de Souza Santos (2018). Citamos um trecho de Meneses (2018) a respeito: “A racionalidade científica eurocêntrica, ao se autoconsiderar mais desenvolvida, assume que não precisa aprender nada do Sul global. A característica fundamental do pensamento abissal é a impossibilidade da co-presença dos dois lados da linha, a impossibilidade de uma tradução entre realidades e saberes que as conformam. Esta posição de arrogância ignorante impede que a epistemologia de raiz eurocêntrica – a epistemologia do Norte – aprenda do mundo, dum campo fascinante de inovação, de alternativas e de criatividade que permitem produzir diagnósticos radicais sobre as sociedades contemporâneas.” (MENESES, apud SOUZA SANTOS, 2018, p. 28).

direção à sustentabilidade ambiental, *ainda que esta seja inatingível no âmbito do capitalismo*, é preciosa.” (MARQUES, 2015, p. 53).

Assim, com o objetivo responder à complexidade das questões ambientais urbanas impostas, políticas e projetos urbanos têm proposto conjuntos de ações para questões de degradação ambiental em diferentes frentes, tais como: mudanças no padrão modal de transporte, adotando para tanto alternativas mais sustentáveis do ponto de vista energético; incremento de áreas permeáveis e do uso de coberturas verdes; utilização de materiais de melhor rendimento energético que os convencionais, para que os edifícios poupem energia e massa, considerados desde a extração e fabricação de seus insumos ao descarte ou reaproveitamento. A adoção dessas ações proporcionaria melhor aproveitamento da infraestrutura urbana e expressaria, ao mesmo tempo, “a capacidade de adaptação das cidades às novas condições ambientais e metas de redução de emissões” (NUNES; ROSA; MORAES, 2015).

1.1 A Agenda 2030 como governança global para o desenvolvimento sustentável

Acreditamos, tal qual predicado por Marques (2015), que a primeira condição para enfrentar crises ambientais é colocá-las como o problema central e impreterível da humanidade.

A noção de sustentabilidade passa pela ideia de sermos capazes de reverter os atuais padrões econômicos e financeiros de produção, consumo, descarte rumo ao estabelecimento de uma nova matriz, dado que não é possível manter intensos ciclos de crescimento econômico sem agredir o meio ambiente (NUNES; ROSA; MORAES, 2015), o que implica nos sistemas urbanos e rurais. Encontrar soluções alternativas que diminuam os impactos em questões sensíveis, tais como resíduos, emissão de efluentes, contaminação e erosão do solo, ilhas de calor, perda de fontes de água doce, supressão de fauna e flora, tem sido um desafio planetário (NUNES; ROSA; MORAES, 2015).

Rees e Wackernagel (1996) afirmam, a partir do estudo da pegada ecológica que, para conseguir manter sua ordem e estrutura interna - e crescer, como predicado pelo capitalismo -, as cidades necessariamente têm que se apropriar de grandes quantidades de energia e material da ecosfera e dissipar um fluxo

equivalente de resíduos degradados de volta para ela. Essa apropriação material-energética tem sido feita a partir de locais cada vez mais distantes graças ao domínio técnico dos ciclos biogeoquímicos naturais e às trocas comerciais a nível mundial (REES; WACKERNAGEL, 1996). Os autores concluem que:

[...] cidades (ou a economia humana) podem operar de forma sustentável apenas dentro da capacidade de carga termodinâmica da ecosfera. Além de um certo ponto, o custo do crescimento econômico material será medido pelo aumento da entropia ou desordem no "meio ambiente". Nós estamos na expectativa que este ponto (em que o consumo por humanos exceda a disponibilidade natural de recursos) seja revelado através do esgotamento contínuo do capital natural - biodiversidade reduzida, colapso da pesca, poluição do ar/água/terra, desmatamento, desertificação [...] (REES; WACKERNAGEL, 1996, p. 548, tradução nossa)⁹.

Os autores apontam que a migração em massa de humanos para as cidades no século XX, combinada com o aumento dos padrões de vida e a propagação do consumismo, transformou as regiões industriais urbanas em nós de intenso consumo de energia e recursos materiais e que, quanto mais rica e mais conectada ao resto do mundo for a cidade, maior será a carga que ela pode impor à ecosfera por meio do comércio e de outras formas de alavancagem econômica (REES; WACKERNAGEL, 1996, p. 547). Afirmam que, ao mesmo tempo, nenhuma cidade ou região urbana pode alcançar a sustentabilidade sozinha:

Independentemente do uso da terra local e das políticas ambientais, um pré-requisito para cidades sustentáveis é o uso sustentável das terras cultiváveis globais. (REES; WACKERNAGEL, 1996, p. 547, tradução nossa)¹⁰.

Para Rees e Wackernagel (1996, p. 553) “não pode haver sustentabilidade ecológica sem um acordo internacional sobre a natureza da crise da sustentabilidade e as difíceis soluções que podem ser necessárias em todas as

⁹ Texto original: “... cities (or the human economy) can operate sustainably only within the thermodynamic load-bearing capacity of the ecosphere. Beyond a certain point, the cost of material economic growth will be measured by increasing entropy or disorder in the “environment.” We would expect this point (at which consumption by humans exceeds available natural income) to be revealed through the continuous depletion of natural capital—reduced biodiversity, fisheries collapse, air/water/land pollution, deforestation, desertification...” (WACKERNAGEL; REES, 1996, p. 548).

¹⁰ Texto original: “Regardless of local land use and environmental policies, a prerequisite for sustainable cities is sustainable use of the global hinterland.” (REES; WACKERNAGEL, 1996, p. 547).

escalas espaciais”¹¹. Veiga (2013, p. 11) afirma, em linha com o pensamento de Rees e Wackernagel (1996), que “qualquer caminho para um mundo sustentável só poderá ser efetivo com um amplo número de ações globais”.

De acordo com Porto-Gonçalves (2004), o atual período, marcado pela globalização neoliberal, é diferente dos períodos que o antecederam pela especificidade do desafio ambiental que o acompanha e que, também, o constitui – o que, segundo Leis (2004) nos obriga a pensar (ou repensar) o lugar do meio-ambiente dentro de qualquer teorização política contemporânea.

Tendo em vista que as agressões ao meio ambiente têm consequências globais, ainda que ocorram localmente, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu, em 1972, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)¹².

O PNUMA tem como objetivo coordenar as ações internacionais de promoção e conservação do meio-ambiente e o uso eficiente de recursos no contexto do desenvolvimento sustentável. O Programa vem estabelecendo, desde a década de 90, agendas globais de enfrentamento de questões sociais, econômicas e ambientais, com vistas a mitigar os impactos ambientais causados pelo ser humano a nível mundial.

A mais recente é a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, implementada em 2015. A partir da Agenda 2030 foram definidos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): metas globais estabelecidas no sentido de atingir o desenvolvimento sustentável - social, econômico e ambiental (NAÇÕES

¹¹ Texto original: “There can be no ecological sustainability without international agreement on the nature of the sustainability crisis and the difficult solutions that may be necessary at all spatial scales.” (REES; WACKERNAGEL, 1996, p. 553).

¹² A primeira conferência internacional sobre o meio ambiente foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, ocorrida em 1972 em Estocolmo, Suécia. A repercussão deste encontro levou à criação, em dezembro de 1972, do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, chefiada pela médica Gro Harlem Brundtland, publicou o relatório “Nosso Futuro Comum” (Our Common Future), que trouxe o conceito de desenvolvimento sustentável para a discussão pública. A partir das recomendações deste relatório, outras conferências se sucederam. Destacamos a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio 92), ocorrida no Rio de Janeiro em 1992; a Rio+10, realizada em Joanesburgo, na África do Sul, em 2002; a Rio+20, que ocorreu novamente no Rio de Janeiro, em 2012; e a Cúpula de Desenvolvimento Sustentável, realizada em 2015 em Nova York, na sede da ONU, onde se constituíram os 17 ODS (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, c2021).

UNIDAS BRASIL, 2015). Os países signatários teriam até 2030 para o cumprimento das 169 metas dos 17 Objetivos da Agenda (Figura 01).



Figura 01 – Diagrama de apresentação dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).
Fonte: www.agenda2030.com.br

Para a ONU,

[...] o desenvolvimento sustentável reconhece que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, o combate às desigualdades dentro dos e entre os países, a preservação do planeta, a criação do crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável e a promoção da inclusão social estão vinculados uns aos outros e são interdependentes. (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

Desse modo, os Objetivos propostos pela Agenda 2030 são interdependentes e indissociáveis.

Entendemos que é possível a utilização de técnicas de fitorremediação a fim de atingir, direta ou indiretamente, as metas traçadas para muitos dos ODS, para tanto, para este estudo, destacaremos diversos objetivos e metas que, a depender do universo de aplicação das possibilidades de fitorremediação e seus diferentes contextos, poderiam se articular ao escopo:

ODS 1 - ERRADICAÇÃO DA POBREZA: Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.

[...] 1.5 Até 2030, construir a resiliência dos pobres e daqueles em situação de vulnerabilidade, e reduzir a exposição e vulnerabilidade destes a eventos extremos relacionados com o clima e outros choques e desastres econômicos, sociais e ambientais.

[...] 1.b Criar marcos políticos sólidos, em níveis nacional, regional e internacional, com base em estratégias de desenvolvimento a favor dos pobres e sensíveis a gênero, para apoiar investimentos acelerados nas ações de erradicação da pobreza.

ODS 2 - FOME ZERO E AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.

[...] 2.4 Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas robustas, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. [...]

ODS 4 - EDUCAÇÃO DE QUALIDADE: Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.

[...] 4.7 Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não-violência, cidadania global, e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável. [...]

ODS 6 - ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO: Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos

6.1 Até 2030, alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível para todos.

6.2 Até 2030, alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos, e acabar com a defecação a céu aberto,

com especial atenção para as necessidades das mulheres e meninas e daqueles em situação de vulnerabilidade.

6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente.

[...] 6.6 Até 2020, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.

[...] 6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento. [...]

ODS 9 - INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA: Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação

9.1 Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e robusta, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos. [...]

ODS 11 - CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS: Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

[...] 11.3 Até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e a capacidade para o planejamento e a gestão participativa, integrada e sustentável dos assentamentos humanos, em todos os países.

11.4 Fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo.

[...] 11.6 Até 2030, reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.

11.7 Até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, em particular para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência.

11.a Apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais, reforçando o planejamento nacional e regional de desenvolvimento.

11.b Até 2020, aumentar substancialmente o número de cidades e assentamentos humanos adotando e implementando políticas e planos integrados para a inclusão, a eficiência dos recursos, mitigação e adaptação à mudança do clima, a resiliência a desastres; e desenvolver e implementar, de acordo com o Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, o gerenciamento holístico do risco de desastres em todos os níveis.

11.c Apoiar os países menos desenvolvidos, inclusive por meio de assistência técnica e financeira, para construções sustentáveis e robustas, utilizando materiais locais.

ODS 12 - CONSUMO E PRODUÇÃO SUSTENTÁVEIS: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.

[...] 12.2 Até 2030, alcançar gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais.

12.3 Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, em nível de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita.

12.4 Até 2020, alcançar o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente.

12.5 Até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

[...] 12.8 Até 2030, garantir que as pessoas, em todos os lugares, tenham informação relevante e conscientização sobre o desenvolvimento sustentável e estilos de vida em harmonia com a natureza. [...]

ODS 13 - AÇÃO CONTRA A MUDANÇA GLOBAL DO CLIMA: Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

[...] 13.3 Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce à mudança do clima.

[...] 13.b Promover mecanismos para a criação de capacidades para o planejamento relacionado à mudança do clima e à gestão eficaz, nos países menos desenvolvidos, inclusive com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e marginalizadas.

ODS 15 - VIDA TERRESTRE: Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda.

15.1 Até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial, florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais.

[...] 15.3 Até 2030, combater a desertificação, e restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo. [...]

ODS 16 - PAZ, JUSTIÇA E INSTITUIÇÕES EFICAZES: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.

[...] 16.7 Garantir a tomada de decisão responsiva, inclusiva, participativa e representativa em todos os níveis.

[...] 16.10 Assegurar o acesso público à informação e proteger as liberdades fundamentais, em conformidade com a legislação nacional e os acordos internacionais. [...]

ODS 17 - PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO: Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

[...] 17.6 Melhorar a cooperação regional e internacional Norte-Sul, Sul-Sul e triangular e o acesso à ciência, tecnologia e inovação, e aumentar o compartilhamento de conhecimentos em termos mutuamente acordados, inclusive por meio de uma melhor coordenação entre os mecanismos existentes, particularmente no nível das Nações Unidas, e por meio de um mecanismo global de facilitação de tecnologia global.

17.7 Promover o desenvolvimento, a transferência, a disseminação e a difusão de tecnologias ambientalmente corretas para os países em desenvolvimento, em condições favoráveis, inclusive em condições concessionais e preferenciais, conforme mutuamente acordado. (NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

Contudo, e apesar das diversas recomendações e agendas, a governança global não foi capaz, efetivamente, de impedir o avanço da degradação ambiental. Segundo Marques (2015), o multilateralismo não conseguiu diminuir nem o ritmo de degradação dos ecossistemas, nem a velocidade da depleção dos recursos naturais do planeta.

Veiga (2013, p. 11) argumenta que o desenvolvimento sustentável predicado pela ONU desde os anos 80 (BRUNDTLAND, 1987) não pode ser atingido como resultado da “mera coexistência de novas iniciativas de caráter ambiental e velhas ações de desenvolvimento”. Segundo o autor:

O rumo da governança global certamente já teria deixado de ser tão temerário se os fatos tivessem um papel mais importante na formação dos julgamentos das pessoas, principalmente quando são tomadoras de decisão. (VEIGA, 2013, p. 79)

A este respeito, Leis (2004) pontua que:

[...] os fatos mostram que a política internacional encontra-se atualmente em um forte impasse para tratar da crise ecológica global. Esta crise está associada à anarquia do sistema internacional e à complementar inexistência de autoridades com poderes reais para assumir a responsabilidade da gestão dos bens naturais comuns da humanidade. A política internacional encontra-se dominada por atores (políticos e econômicos) orientados por uma racionalidade individualista e competitiva, que dificilmente poderiam encontrar motivos para colocar a cooperação acima do antagonismo dos interesses particulares (LEIS, 2004, p. 12).

Para Marques (2015), foi a própria globalização do capitalismo que colocou na ordem do dia a exigência impreterível de um poder compartilhado e que, para tanto, uma Organização Mundial do Meio Ambiente é uma iniciativa fundamental. Contudo, o autor pontua que se tal Organização não for fruto de uma limitação coletiva do poder do Estado-Nação ela será, no atual cenário político-econômico, apenas mais um órgão burocrático incapaz de cumprir sua função. O autor explicita que:

É preciso, portanto, evoluir para uma governança global compartilhada, na qual o Estado-nação não seja mais a última instância do direito a autodeterminação, mas na qual cada nação tenha garantido o direito a manter suas tradições e perfis culturais próprios e, ao mesmo tempo, a pesar na balança das decisões internacionais. (MARQUES, 2015, p. 604).

Equilibrar a equação entre, de um lado, o crescimento econômico, a urbanização, a produção agrícola para o mercado urbano e, de outro, a sustentabilidade, tornou-se um grande problema (NUNES; ROSA; MORAES, 2015) para a maior parte dos países no século XXI. Num contexto como o do Brasil, marcado por um histórico padrão estrutural de desigualdades e privilégios sociais, esse paradoxo se torna tão mais evidente quanto excludente.

Acreditamos que atingir a sustentabilidade dentro do sistema capitalista seja um paradoxo: do ponto de vista urbano, quanto mais as cidades crescem e se desenvolvem nos padrões de urbanização que o mundo adotou desde a Revolução Industrial, maiores são os impactos ambientais que elas causam (MARQUES, 2015). A conta, aparentemente, não fecha, tanto perante o desafio de vida digna para o conjunto das pessoas – o que implica em suprimento universal e equitativo de infraestrutura e serviços públicos e sistemas de ciclos fechados – quanto perante os recursos naturais e a paisagem.

Por outro lado – e embora reconheça a relação entre a crise ambiental e a produção capitalista –, a ONU paralelamente tem predicado que seja possível e necessário mitigar os resultados desta crise através de procedimentos de baixo impacto, de resiliência e que apontem para estratégias de sustentabilidade. A partir desse direcionamento, alternativas visam encontrar soluções que diminuam os impactos em questões sensíveis, tais como: os resíduos, a emissão de efluentes, a impermeabilização, contaminação ou erosão dos solos, o fornecimento de energia, as ilhas de calor, a poluição do ar, das fontes de água doce e as perdas de fauna e flora. (NUNES; ROSA; MORAES, 2015).

Admitindo que, ainda que a sustentabilidade ambiental implique em mudanças estruturais a longo prazo em diversos aspectos socioeconômicos atuais perante a envergadura e amplitude dos problemas ambientais, a realidade presente pode estabelecer programas e ações de diversas escalas – da local à regional – envolvendo diferentes agentes, sejam estes setores do estado, organizações não

governamentais, instituições da sociedade civil, empresas, comunidades ou indivíduos isoladamente, agindo de forma gradual, localizada ou sistêmica.

Esta Pesquisa tem como hipótese que a adoção de medidas e procedimentos de baixo impacto, de resiliência e que apontem para estratégias de sustentabilidade em diversos sistemas e amplitude sejam capazes de, mesmo que paulatinamente, transformar pensamentos e paradigmas insustentáveis enraizados na sociedade atual.

CAPÍTULO 2 - SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA COMO RECOMENDAÇÃO INTERNACIONAL

Conforme enunciado no capítulo anterior, consideramos que atingir a sustentabilidade dentro do sistema capitalista seja um paradoxo; no entanto, consideramos também que, tal qual predicado por Marques (2015, p. 53), “isto não exclui gradualismos e mediações políticas próprias à realidade presente” –o que significa dizer que ações que busquem a sustentabilidade ambiental são importantes, apesar do embate antitético sustentabilidade-capitalismo.

Partindo deste raciocínio, o presente capítulo tem como objetivo realizar uma breve análise comparativa entre o que algumas instituições internacionais vêm discutindo acerca do uso de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e sobre como as definições, metas e parâmetros predicados por estas podem direcionar a atual discussão da relação homem-natureza a novos paradigmas, mais especificamente compreendendo os processos de fitorremediação.

Pretende-se, a partir dos objetivos e critérios de parametrização predicados pelas instituições apresentadas, articular alguns critérios de parametrização próprios, com vistas a circunstanciar a análise do estudo de caso de que trataremos no Capítulo 4 desta pesquisa.

Foram selecionadas, para discussão, três instituições internacionais: a União Internacional de Conservação da Natureza (UICN, ou IUCN – *International Union for Conservation of Nature*); a Comissão Europeia (CE, ou EC - *European Commission*); e o projeto *City Adapt*. Ressaltamos que a Organização das Nações Unidas (ONU, ou UN – *United Nations*), está envolvida, direta ou indiretamente, com todas estas iniciativas.

I. UNIÃO INTERNACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA (UICN)

A UICN é uma associação composta exclusivamente por governos e organizações da sociedade civil. Criada em 1948, fornece a organizações públicas, privadas e não governamentais, conhecimentos e ferramentas com o objetivo de auxiliar, simultaneamente, o progresso humano, o desenvolvimento econômico e a conservação da natureza (UNESCO, c1992-2021). A instituição tem como missão influenciar, encorajar e auxiliar a humanidade na conservação da integridade e

diversidade da natureza, bem como garantir que qualquer uso de recursos naturais seja equitativo e ecologicamente sustentável (IUCN, c2021).

A UICN define Soluções baseadas na Natureza (SbN) como: “ações para proteger, manejar sustentavelmente e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordem desafios sociais de forma efetiva e adaptável, simultaneamente provendo o bem-estar humano e benefícios à biodiversidade” (Cohen-Shacham et al., 2016, p. 2, tradução nossa)¹³. Esta é a definição de SbN atualmente adotada pela ONU (UNEP, 2021, p. IX).

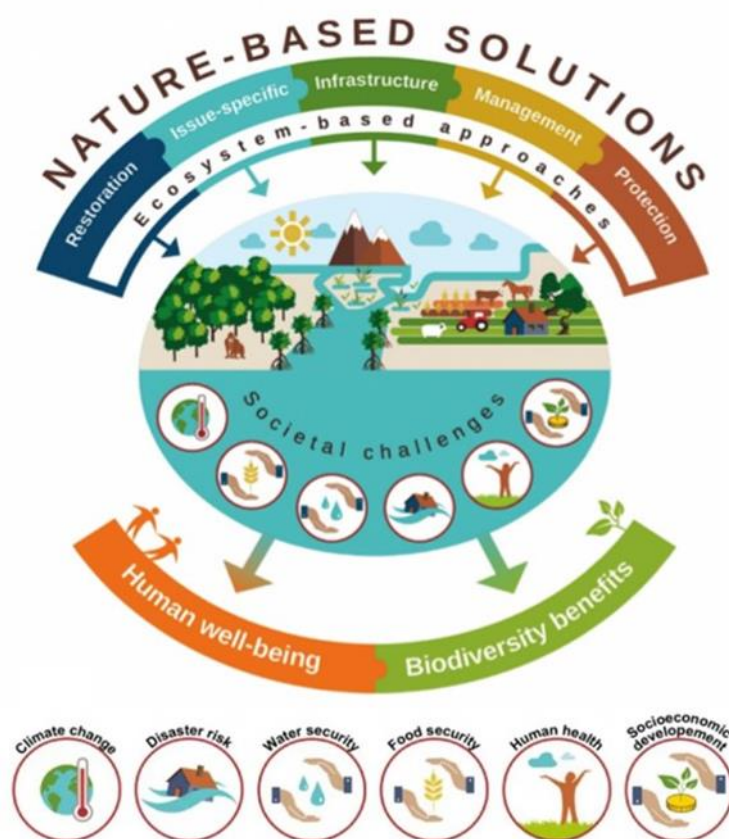


Figura 02 – Diagrama de apresentação das possíveis aplicações das SbN.
Fonte: Cohem-Sacham et. al., 2016.

A UICN predica que o objetivo principal das SbN é “apoiar a conquista dos objetivos de desenvolvimento da sociedade e salvaguardar o bem-estar humano em modos que reflitam valores culturais e sociais e aumentem a resiliência dos

¹³ Texto original: “actions to protect, sustainably manage and restore natural or modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits” (Cohen-Shacham et al., 2016, p. 2).

ecossistemas, sua capacidade de renovação e prestação de serviços”¹⁴. Assim, estes processos são orientados para segurança hídrica, alimentar, saúde humana, redução de riscos de desastres e mudanças climáticas, mediante restauração ecossistêmica em operações em rede. (WCC, 2016) – as SbN seriam projetadas, portanto, para enfrentar os principais desafios da sociedade humana (Figura 02).

Com o intuito de cumprir este objetivo maior, a instituição definiu oito princípios para guiar os projetos que pretendam utilizar-se das Soluções baseadas na Natureza:

1. Abranger as normas (e princípios) de conservação da natureza;
2. Possam ser implementadas sozinhas ou de forma integrada com outras soluções para desafios sociais (por exemplo, soluções tecnológicas e de engenharia);
3. Sejam determinadas por contextos naturais e culturais específicos do local que incluem conhecimentos tradicionais, locais e científicos;
4. Produzam benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa, de forma a promover a transparência e a ampla participação;
5. Mantenham a diversidade biológica e cultural, bem como a capacidade dos ecossistemas de evoluir ao longo do tempo;
6. Sejam aplicadas em escala de paisagem;
7. Reconheçam e abordem as compensações entre a produção de alguns benefícios econômicos imediatos para o desenvolvimento e as opções futuras para a produção de toda a gama de serviços ecossistêmicos; e
8. Sejam parte integrante do desenho geral de políticas e medidas ou ações para enfrentar um desafio específico. (Cohen-Shacham et al., 2016, p. 7, tradução nossa)¹⁵.

A UICN justifica a adoção destes princípios pois considera importante distinguir diferentes soluções e esforços de conservação ambiental do que se

¹⁴ Texto original: “to support the achievement of society’s development goals and safeguard human well-being in ways that reflect cultural and societal values and enhance the resilience of ecosystems, their capacity for renewal and the provision of services” (WCC, 2016, p. 1-2).

¹⁵ Texto original: “1. embrace nature conservation norms (and principles); 2. can be implemented alone or in an integrated manner with other solutions to societal challenges (e.g. technological and engineering solutions); 3. are determined by site-specific natural and cultural contexts that include traditional, local and scientific knowledge; 4. produce societal benefits in a fair and equitable way, in a manner that promotes transparency and broad participation; 5. maintain biological and cultural diversity and the ability of ecosystems to evolve over time; 6. are applied at a landscape scale; 7. recognise and address the trade-offs between the production of a few immediate economic benefits for development, and future options for the production of the full range of ecosystems services; and 8. are an integral part of the overall design of policies, and measures or actions, to address a specific challenge” (Cohen-Shacham et al., 2016, p. 7).

entende como SbN (princípio 1). A instituição também defende que a adoção das SbN dependerá do contexto específico de cada local, devendo ser projetadas caso a caso (princípios 3 e 4). Considera, ainda, que as SbN podem ser implementadas em conjunto com outros tipos de intervenção (princípio 2), desde que em concordância com as normas ambientais. Quanto à escala, a União Internacional considera passível de intervenção através de SbN apenas grandes escalas, desconsiderando intervenções pontuais que não façam parte de uma rede ou de um conjunto maior (princípio 6).

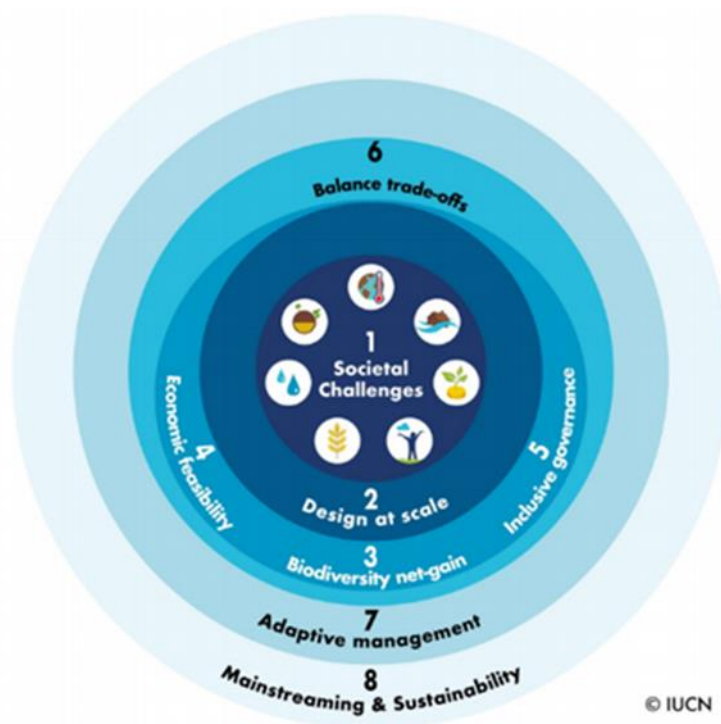


Figura 03 - Apresentação dos oito critérios do Padrão Global UICN: 1. Desafios sociais, 2. Projeto multiescalar, 3. Ganho de Biodiversidade, 4. Viabilidade econômica, 5. Governança inclusiva, 6. Balanceamento de compensações, 7. Gestão adaptativa, 8. Integração & Sustentabilidade.

Fonte: IUCN, 2020, tradução nossa.

A partir destes princípios, e com o objetivo de fornecer um entendimento comum sobre SbN, a UICN lançou, em 2020, um Padrão Global com a perspectiva de apoiar os agentes interessados na concepção e promoção das SbN e acelerar a aplicação de soluções comprovadas e viáveis, tanto para mitigação quanto para adaptação/compensação¹⁶ perante problemas ambientais. O Padrão é composto

¹⁶ De acordo com Zeferino (2018), medidas mitigadoras são aquelas estabelecidas antes da instalação de um determinado empreendimento, e visam à redução dos efeitos provenientes dos impactos ambientais negativos gerados por tal ação. Já as medidas compensatórias são aquelas aplicadas para compensar, de alguma forma, os prejuízos e danos ambientais efetivos advindos de uma ou mais atividades modificadoras do ambiente natural (ZEFERINO, 2018). Segundo Peiter

por 8 critérios e 28 indicadores (ver Figura 03 e Quadro 01) e inclui, além das orientações para sua aplicação, uma ferramenta de autoavaliação para todas as etapas do projeto.

Segundo a instituição, o Padrão Global foi projetado para traduzir o conceito de SbN em ações direcionadas para implementação das soluções, de forma a reforçar melhores práticas, abordar e corrigir deficiências, e permitir intervenções alinhadas com os princípios internacionalmente aceitos de SbN – princípios estes cunhados pela própria UICN a partir de práticas já estabelecidas como, por exemplo, a gestão integrada dos recursos hídricos e a Adaptação baseada no Ecossistema (AbE, ou EbA, *Ecosystem-based Adaptation*), conceitos estes também desenvolvidos pela UICN no final dos anos 90 (IUCN, 2020; WCC, 2016).

Quadro 01 – Critérios e Indicadores de SbN segundo Padrão Global da UICN

CRITÉRIO	INDICADORES
<p>1. O projeto de SbN aborda efetivamente desafios sociais.</p>	<p>1.1 Os desafios sociais mais urgentes para titulares de direitos e beneficiários são priorizados.</p> <p>1.2 Os desafios sociais abordados são claramente compreendidos e documentados.</p> <p>1.3 Os resultados de bem-estar humano decorrentes da SbN são identificados, avaliados e documentados periodicamente.</p>
<p>2. O projeto de SbN pode alcançar diferentes escalas.</p>	<p>2.1 O projeto da SbN reconhece e responde às interações entre a economia, a sociedade e os ecossistemas.</p> <p>2.2 O projeto da SbN está integrado com outras intervenções complementares e busca sinergias entre setores.</p> <p>2.3 O projeto da SbN incorpora a identificação e gestão de riscos além do local de intervenção.</p>
<p>3. O uso de SbN resulta em um ganho líquido para a biodiversidade e para a integridade do ecossistema.</p>	<p>3.1 As propostas de SbN respondem diretamente à avaliação baseada em evidências do estado atual de degradação e perda do ecossistema.</p> <p>3.2 Resultados claros e mensuráveis de conservação da biodiversidade são identificados, comparados e avaliados periodicamente.</p> <p>3.3 O monitoramento inclui avaliações periódicas de consequências adversas não intencionais na natureza decorrentes da SbN.</p> <p>3.4 Oportunidades para melhorar a integridade e conectividade do ecossistema são identificadas e incorporadas à estratégia da SbN.</p>

(2011), “adaptação deve ser compreendida como o ajuste dos sistemas sociais, econômicos e ambientais aos atuais e esperados efeitos do aquecimento global, prevenindo seus impactos de forma a diminuir a vulnerabilidade, especialmente das comunidades e regiões mais pobres, à mudança ou variabilidade climática.”

<p>4. O uso de SbN é economicamente viável.</p>	<p>4.1 Os benefícios e custos diretos e indiretos associados à SbN, i. e. quem paga e a quem esta beneficia, são identificados e documentados.</p> <p>4.2 Um estudo de custo-efetividade é fornecido para apoiar a escolha de SbN, incluindo o provável impacto de quaisquer subsídios e regulamentações.</p> <p>4.3 A eficácia do projeto de SbN é justificada perante soluções alternativas disponíveis, levando em consideração quaisquer externalidades associadas.</p> <p>4.4 O projeto da SbN considera um portfólio diverso de opções de captação de recursos – como o mercado, o setor público, organizações não-governamentais, etc.</p>
<p>5. O uso de SbN está apoiado por processos de governança e capacitação inclusivos e transparentes.</p>	<p>5.1 Um mecanismo definido e totalmente acordado de feedback e resolução de reclamações está disponível para todas as partes interessadas antes do início da implementação da SbN.</p> <p>5.2 A participação é baseada no respeito mútuo e na igualdade, independentemente do sexo, idade ou condição social, e defende o direito de povos indígenas.¹⁷</p> <p>5.3 As partes interessadas afetadas, direta e indiretamente, pela SbN foram identificadas e envolvidas em todos os processos da intervenção.</p> <p>5.4 Os processos de tomada de decisão documentam e respondem aos direitos e interesses de todas as partes interessadas participantes e afetadas.</p> <p>5.5 Onde a escala do projeto de SbN se estender além dos limites jurisdicionais, mecanismos serão estabelecidos para permitir a tomada de decisão conjunta das partes interessadas nas jurisdições afetadas.</p>
<p>6. O projeto de SbN equilibra equitativamente as compensações entre a realização de seus objetivos primários e a continuada provisão de múltiplos benefícios.</p>	<p>6.1 Os custos e benefícios potenciais das compensações associadas à intervenção da SbN são explicitamente reconhecidas e informadas às salvaguardas para que se tome quaisquer ações corretivas apropriadas.</p> <p>6.2 Os direitos, uso e acesso à terra e recursos, juntamente com as responsabilidades das diferentes partes interessadas, são reconhecidas e respeitadas.</p> <p>6.3 As salvaguardas estabelecidas são revisadas periodicamente para garantir que os limites de compensação mutuamente acordados sejam respeitados e não desestabilizem o projeto.</p>
<p>7. O projeto de SbN é gerenciado de forma adaptativa, com base em evidências.</p>	<p>7.1 Uma estratégia de SbN é estabelecida e usada como base para o monitoramento e avaliação regulares da intervenção.</p> <p>7.2 Um plano de monitoramento e avaliação é desenvolvido e implementado ao longo do ciclo de vida da intervenção.</p> <p>7.3 Uma estrutura para aprendizagem interativa que permite o gerenciamento adaptativo é aplicada em todo o ciclo de vida da intervenção.</p>
<p>8. As soluções de SbN são sustentáveis e integradas</p>	<p>8.1 O design, a implementação e as lições aprendidas da SbN são compartilhados para desencadear mudanças transformadoras.</p>

¹⁷ Ver FAO, 2017, p.11.

dentro um contexto jurisdicional apropriado.	<p>8.2 A SbN informa e melhora a facilitação de estruturas de política e regulamentação para apoiar sua adoção e popularização.</p> <p>8.3 Quando relevante, a SbN contribui para as metas nacionais e globais de bem-estar humano, mudanças climáticas, biodiversidade e direitos humanos, incluindo a Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas.</p>
----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: IUCN, 2020, tradução nossa.

Mediante um sistema de “semáforo de trânsito” (Figura 04), segundo a instituição, para cada critério, a ferramenta de autoavaliação proposta permite aos usuários identificar áreas de melhoria ao mesmo tempo em que contempla uma nota geral, em forma de conceito, para a intervenção. Este recurso foi desenvolvido para permitir aos usuários, a partir de uma tabela, calcular a porcentagem de correspondência de uma intervenção em relação aos critérios e indicadores de SbN pré-estabelecidos e identificar se a intervenção está de acordo com o Padrão Global para SbN proposto pela UICN (IUCN, 2020).

Em “*Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: a user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*” (IUCN, 2020), lançado pela UICN, a avaliação a partir dos critérios e indicadores é proposta como segue:

- I. Para cada um dos 28 indicadores, uma pontuação de 1 a 4 é atribuída dependendo de como a intervenção aborda o indicador em questão. A pontuação pode ser forte, adequada, parcialmente adequada ou insuficiente;
- II. O resultado do item I é utilizado para calcular o nível de aderência a cada um dos 8 critérios individuais, conferindo também uma pontuação forte, adequada, parcialmente adequada ou insuficiente (ver Figura 04);
- III. As pontuações dos indicadores são então normalizadas, para que cada critério tenha peso equivalente. Após a normalização, as pontuações do critério são combinadas para fornecer a correspondência percentual geral;
- IV. A porcentagem de correspondência pode então ser utilizada para descrever se a aderência é forte, adequada ou parcialmente adequada;
- V. Se uma intervenção pontuar como insuficiente perante qualquer critério, independentemente do percentual geral de correspondência, a intervenção em análise não adere ao Padrão Global (IUCN, 2020).

	≥ 75	Forte	A intervenção segue o Padrão Global da UICN para SbN
	≥ 50 & <50	Adequado	
	≥ 25 & <50	Parcial	
	<25	Insuficiente	A intervenção não segue o Padrão Global da UICN para SbN

Figura 04 – Porcentagens de aderência ao Padrão Global de SbN propostas pela UICN.

Fonte: IUCN, 2020, tradução nossa.

A UICN recomenda que a autoavaliação ocorra em diferentes estágios do projeto, para auxiliar a identificação de resultados, pontos fracos e pontos fortes, buscando sua melhora ou superação de problemas detectados (IUCN, 2020).

Apesar de indicado no guia mencionado (IUCN, 2020), a tabela completa com os itens de parametrização de autoavaliação ainda não foi publicada – contudo é possível solicitar, via e-mail, o envio de uma versão em desenvolvimento, embora sua utilização não seja recomendada pela UICN até o lançamento oficial¹⁸.

II. COMISSÃO EUROPEIA (CE)

A CE é uma das instituições envolvidas na tomada de decisões do bloco econômico da União Europeia (UE, ou EU – *European Union*)¹⁹. Cabe à CE a elaboração de propostas de nova legislação para o bloco, o controle de orçamento e a execução das decisões do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia (EU, 2020). Um dos objetivos da Comissão é alcançar sociedades mais sustentáveis e resilientes e, para tanto, o bloco tem investido em diferentes estratégias ambientais de forma a tornar a Europa mais resiliente às alterações climáticas. Uma dessas estratégias é a adoção de Soluções baseadas na Natureza (SbN) (EC, [s. d.]).

A CE define SbN como “soluções inspiradas e apoiadas na natureza, custo-eficazes e que, simultaneamente, proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a criar resiliência”²⁰ (HERZOG e ROZADO, 2019). A Comissão predica que a adoção das SbN pode melhorar os processos e as funções

¹⁸ Para o âmbito deste estudo acadêmico, foi possível a obtenção da tabela completa mencionada, que foi enviada pela UICN, mediante solicitação, para a autora, em 30 de julho.

¹⁹ O bloco foi criado em 1958 sob o nome de *European Economic Community* (EEC) e passou a se chamar *European Union* (i.e. União Europeia) a partir de 1993.

²⁰ No original, a Comissão Europeia define SbN como: “Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions”.

ambientais ao mesmo tempo em que traz benefícios para as pessoas – sendo uma forma de melhorar a qualidade de vida e o bem-estar da população, contribuindo, simultaneamente, para reforçar a coesão social e diminuir a desigualdade urbana. Complementarmente, auxiliam a concretizar objetivos presentes em agendas mundiais, tais como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 e a Nova Agenda Urbana (NAU) (HERZOG e ROZADO, 2019).

Faivre et al. (2017) apresentam quatro ações consideradas pela União Europeia (EU Research & Innovation – R&I) para promover as SbN como:

1. Construir uma base de evidências;
2. Constituir um repositório de exemplos de melhores práticas;
3. Criar uma comunidade de Soluções baseadas na Natureza;
4. Criar conscientização: eurobarômetro de pesquisas. (FAIVRE et. al., 2017, p. 512-514).

O Relatório do horizonte para 2020 da EU (EC, 2015) apresenta os alvos temáticos para a agenda das SbN como ações que tenham como direção:

1. Aperfeiçoar a urbanização sustentável;
2. Restaurar ecossistemas degradados;
3. Desenvolver adaptação e mitigação às mudanças climáticas e;
4. Melhorar o gerenciamento de risco e a resiliência. (EC, 2015, p.25-35).

Baseado nestes objetivos, recomendam sete SbN para ações a serem promovidas pela Comissão Europeia e estados-membro:

1. Regeneração urbana por meio de Soluções baseadas na Natureza
2. Soluções baseadas na natureza para incrementar bem-estar em áreas urbanas
3. Estabelecer Soluções baseadas na Natureza para resiliência costeira
4. Manejo multifuncional baseado na natureza de costas e restauração de ecossistemas
5. Soluções baseadas na Natureza para incrementar a sustentabilidade na utilização de matéria e energia
6. Soluções baseadas na Natureza para ampliar o valor de segurança de ecossistemas
7. Aumentar o sequestro de carbono por meio de Soluções baseadas na Natureza (EU, 2015, p. 25-35).

Como possibilidades de intervenção, o Relatório apresenta uma listagem preliminar que pode ser aplicada na construção de SbN, como segue: Regulação da qualidade do ar; Regulação do clima; Regulação do fluxo [escoamento] de

águas; Purificação da água e tratamento de esgotos; Regulação de doenças; Regulação de pragas; Polinização; Redução de riscos de desastres; Gestão de ruídos e Saúde.

Tendo como base as experiências da União Europeia, Herzog e Rozado (2019) sugerem um roteiro para SbN no Brasil com seis itens:

1. Integrar as SbN em todos os níveis políticos (federal, estadual e local) e em todos os setores (p. ex. diferentes ministérios)
2. Desenvolver I&I para testar localmente SbN adaptadas em diferentes regiões bioclimáticas brasileiras, em coordenação com as universidades e os municípios locais. Desenvolver a capacidade técnica local.
3. Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a base de conhecimentos validados. Comunicar a eficácia das SBN tanto aos decisores políticos como aos cidadãos.
4. Explorar modelos de financiamento e de negócio, envolver as empresas nas SBN e desenvolver I&I para aceitação por parte das empresas.
5. Explorar novos mecanismos de governança e cocriação criando comunidades de prática.
6. Fomentar ações de cooperação internacional (p. ex. dentro da CELAC; com a EU) no domínio das SBN e em processos orientados pela ONU. (HERZOG, ROZADO, 2019, p. 35).²¹

De acordo com o Relatório 01/2021 da *European Environment Agency*, intitulado “*Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction*” (EEA, 2021), faltam indicadores quantitativos e mensuráveis devidamente articulados a legislação constituída para monitorar e avaliar o progresso e a eficácia das iniciativas de SbN em todas as arenas políticas (SOMARAKIS, 2019; TRÉMOLET, 2019, apud EEA, 2021, p. 97).

A EEA (2020) apoia a iniciativa da UICN e sua proposta do Padrão Global para as SbN, entretanto aponta que, apesar da publicação deste Padrão, ainda não existem leis que tornem obrigatório incluir SbN em projetos para adaptação às mudanças climáticas e/ ou redução dos riscos de desastres em nível mundial. O Relatório da EEA (2021) reconhece, inclusive, as deficiências legais da própria UE nesse sentido, afirmando que, embora objetivos ambiciosos sejam delineados e

²¹ O termo I&I se refere a investigação e inovação e CELAC à Comunidade de Estados Latino-Americanos e Caribenhos (HERZOG, ROZADO, 2019, p. 1).

informações e orientações estejam sendo divulgadas, as políticas atuais não possuem a necessária articulação para resultar em ações efetivas (EEA, 2021). Especificamente sobre a situação europeia, o Relatório critica negativamente a autonomia da Agenda Urbana da UE (afirmando que os Estados Membros podem simplesmente escolher quais temas eleger) e sublinha que um cenário de políticas nacionais e locais favoráveis à adoção de SbN é fundamental, embora a falta de indicadores e requisitos da UE para integração de infraestruturas verdes e o monitoramento de sua implementação seja uma lacuna crítica (EEA, 2021).

Apesar disso, defendem a Agenda 2030 e o *European Green Deal*²² como documentos fundamentais para promover o aumento da conscientização da potência das SbN em diferentes setores, áreas temáticas e políticas, de modo a ampliar sua implementação (EEA, 2021).

III. PROJETO CITY ADAPT

Realizado em três cidades de três países da América Latina e Caribe – El Salvador, México e Jamaica – e em cinco cidades de quatro países asiáticos – Butão, Camboja, Myanmar e Laos –, o projeto *City Adapt* predica a promoção de resiliência climática em áreas urbanas através da implementação de Soluções baseadas na Natureza (SbN).

O objetivo do projeto é fortalecer as capacidades técnicas das populações e municípios envolvidos, auxiliando na análise de impactos e vulnerabilidades decorrentes das mudanças climáticas que possam ser solucionados por meio de SbN (CITY ADAPT, c2021).

O *City Adapt* terá duração de cinco anos (de 2017 a 2022) e é financiado pelo Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF – *Global Environment Facility*). Na América Latina e no Caribe, é executado pelo Escritório Regional para a América Latina e Caribe do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), em conjunto com as autoridades em questões ambientais de cada país, enquanto que na Ásia-Pacífico, é executado pelo Escritório Regional para a Ásia-Pacífico do

²² *European Green Deal*: Acordo firmando entre todos os 27 Estados-Membros da UE para transformar a Europa no primeiro continente “neutro para o clima” até 2050. O acordo visa reduzir as emissões de carbono, alcançar crescimento econômico não vinculado ao uso de recursos naturais e promover a igualdade socioeconômica. (EU, [s.d.]).

PNUMA em parceria com a ONU-Habitat e em coordenação com diferentes órgãos ambientais dos países-membros (CITY ADAPT, c2021).

O projeto utiliza tanto a definição de SbN da Comissão Europeia, como a definição dada pela UICN. Propõe três elementos e cinco critérios articulados para responder se determinado enfoque é SbN, em forma de perguntas:

Elemento 1: Ajuda as pessoas a se adaptar ao câmbio climático;

Critério 1: Reduz as vulnerabilidades sociais e ambientais. Aborda explicitamente o câmbio climático e a avaliação da vulnerabilidade climática, assim como os benefícios da adaptação;

Critério 2. Gera benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas. Reduz as vulnerabilidades das pessoas mediante o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos;

Elemento 2: Mediante um uso ativo da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos;

Critério 3. Restaura, mantém ou melhora a saúde ecossistêmica. Dá suporte, fomenta a conectividade e os múltiplos papéis dos ecossistemas;

Elemento 3: No contexto de uma estratégia de adaptação geral;

Critério 4: Recebe o respaldo de políticas em múltiplos níveis. Opera em distintos níveis (local, nacional, regional);

Critério 5: Apoia a governança equitativa e melhora as capacidades. Um enfoque centrado na comunidade, com perspectiva de gênero e requer a participação ativa. (CITYADAPT, c2021a).

Predicando que as SbN têm papel importante perante a escassez hídrica, os riscos e vulnerabilidades relacionados ao aumento da temperatura e as inundações, pela utilização de funções ecossistêmicas para adaptação aos riscos climáticos, e tendo como foco as cidades, o City Adapt (c2021a) consideram os serviços ecossistêmicos para manutenção das características naturais nas paisagens urbanas, como:

[...] a provisão de água de qualidade para consumo humano (graças à capacidade de regulação dos bosques); a drenagem da água (através de áreas permeáveis que as precipitações infiltram); a provisão de sombra e absorção do calor pelas folhagens. (CITYADAPT, c2021a).

Como metodologia de implantação de projetos de SbN, o City Adapt propõe duas versões da mesma metodologia. A primeira versão, que consta no seu *site*

em espanhol e em inglês, pode ser considerada como um piloto, possui cinco etapas (incluindo atividades transversais, realizadas simultaneamente), e tem como objetivo fortalecer o processo de planejamento, capacitar agentes e gerar as transformações necessárias para tornar a adaptação baseada no ecossistema²³ sustentável a médio e longo prazo (Figura 05) (CITYADAPT, c2021b).

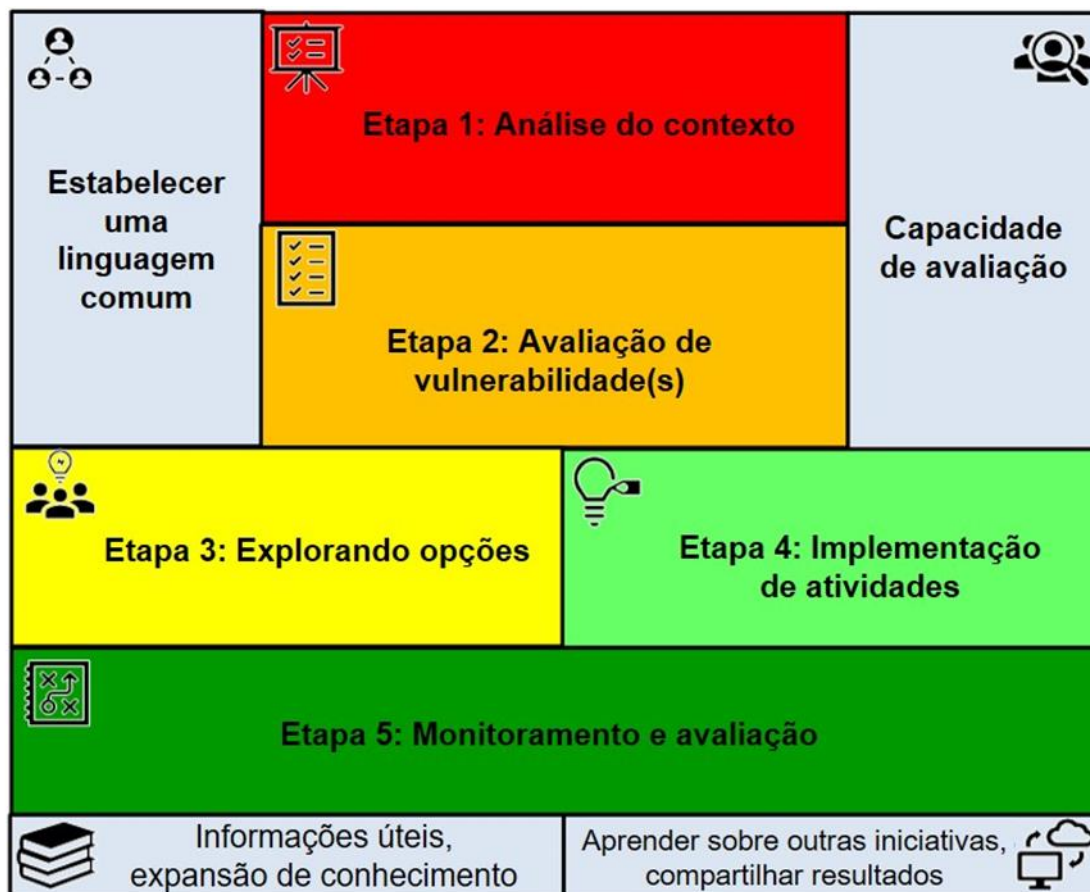


Figura 05 – Apresentação das cinco etapas metodológicas do City Adapt.
 Fonte: Adaptado de CITYADAPT, c2021b, tradução nossa.

Em 2021, como segunda versão, foi lançado o guia metodológico intitulado “*Soluciones basadas en la Naturaleza para ciudades de América Latina y el Caribe: guía metodológica*”, que revisa a metodologia anterior e traz exemplos de projetos já implantados pelo City Adapt na América. Nesta revisão, as cinco etapas anteriores e suas atividades transversais (Figura 05) foram transformadas em 5 Módulos e 11 etapas correspondentes, conforme descrito no Quadro 02.

O objetivo deste guia metodológico é descrito como “transformar o conhecimento em ações para construir resiliência e melhorar a adaptação aos

²³ De acordo com os autores, adaptação baseada no ecossistema, ou *Ecosystem-based adaptation*, é um tipo de SbN (CITYADAPT, 2021).

riscos nas áreas urbana e periurbana” (WINOGRAD et. al., 2021 p. 5). A proposta, segundo os autores, é que o guia sirva como ferramenta metodológica para integrar, de forma flexível e transparente, as esferas social, ambiental, institucional, informacional e técnica dentro de iniciativas, ações e projetos de SbN em planejamento urbano (WINOGRAD et. al., 2021 p. 5).

Quadro 02 – Módulos e Etapas da metodologia proposta pelo CityAdapt

Módulo	Etapa
1. Análise de vulnerabilidade e identificação de <i>hotspots</i> ²⁴ para soluções baseadas na natureza (SbN).	1a. Contexto dos meios de subsistência e dos serviços ecossistêmicos; 1b. Mapeamento de agentes; 1c. Avaliação de risco, análise de vulnerabilidade e identificação de <i>hotspots</i> .
2. Projeto da SbN.	2a. Oficina de exploração; 2b. Oficina de validação; 2c. Modelo técnico: escopo, planejamento e projeto técnico da SbN.
3. Implementação da SbN.	3a. Modelo de negócios: avaliar e documentar os custos e benefícios diretos e indiretos da SbN; 3b. Modelo financeiro; 3c. Incidência e sinergias da SbN com outras soluções, programas e/ ou políticas.
4. Monitoramento e avaliação da SbN.	4a. Monitoramento da SbN e indicadores de impacto; 4b. Comunicação, treinamento e replicação das SbN.

Fonte: WINOGRAD et. al., 2021, tradução nossa.

Os autores defendem que, para chegarmos ao desenvolvimento sustentável, é necessário equilibrar uma série de objetivos específicos que podem ser, por vezes, conflitantes – por exemplo, variedade de atores e agentes, interesses divergentes, recursos limitados –, mas que a participação da comunidade seja necessária para alcançar um desenvolvimento econômico equitativo e que facilite o acesso a alimentos, água e energia suficientes, bem como a oportunidades de recreação, planejamento e renovação das cidades (WINOGRAD et. al., 2021).

2.1 ANÁLISE COMPARATIVA

²⁴ *Hotspot*: ponto ou área saliente em razão de sua vulnerabilidade ou alta concentração de riscos e perigos devido à exposição e/ou sensibilidade climática. Esses pontos são especialmente importantes para se identificar quais as áreas, infraestruturas e serviços ecossistêmicos implicam na necessidade de ações de SbN e/ou em gestão de risco e manejo de recursos naturais (WINOGRAD et. al., 2021, p. 80, tradução nossa).

Considerando que uma definição unificada de SbN ainda está em curso no debate internacional, Cohen-Sacham (2016) compara as enunciadas pela UICN e pela Comissão Europeia, destacando suas principais diferenças, conforme consta no Quadro 03, abaixo.

Quadro 03 – Definições comparadas de SbN pela IUCN e pela CE

UICN	COMISSÃO EUROPEIA
<p>Ações para proteger, manejar sustentavelmente e restaurar ecossistemas naturais ou modificados que abordem desafios sociais de forma efetiva e adaptável, simultaneamente provendo o bem-estar humano e benefícios à biodiversidade.</p>	<p>Soluções inspiradas e apoiadas na natureza, custo-eficazes e que, simultaneamente, proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a criar resiliência.</p>

Fonte: COHEN-SACHAM, 2016; HERZOG E ROZADO, 2019; tradução nossa.

Ambas as definições trazem a espécie humana para o centro da discussão e poderíamos considerar, por isso, antropocêntricas. Ainda que se proponham a restaurar ecossistemas utilizando-se de ações inspiradas na natureza e, com isso, promovam sua proteção e manejo sustentável, tudo é realizado com o objetivo de atender às necessidades que o ser humano tenha perante tal ecossistema –o uso da palavra “simultaneamente” nas duas definições reforça, segundo nossa análise, este entendimento. Ainda não se vê nestes textos a discussão dos direitos da Natureza, tal qual pregado por Pontes Júnior e Barros (2016) e Gudynas (2019), citados no Capítulo 1 desta Pesquisa.

A definição da Comissão Europeia toca também no aspecto econômico das SbN perante soluções mais tradicionalmente utilizadas – as SbN precisam ser custo-eficazes, i. e., o mais eficientes possível pelo menor custo possível – o que denota uma preocupação pragmática e utilitária acerca da adoção de alternativas a soluções mais conservadoras. Defendemos que, ainda que o aspecto econômico da solução de SbN deva ser levado em consideração para a implantação das iniciativas, este não deveria ser um impeditivo em relação aos benefícios do projeto, tanto para o ecossistema quanto para a população, desde que comprovados.

Quanto à escala das intervenções, a União Internacional (UICN) considera passível de intervenção através de SbN apenas grandes escalas, desconsiderando as pontuais, que não façam parte de uma rede ou de um conjunto maior, diferentemente do predicado tanto pela EU quanto pelo *City Adapt*, que consideram a escala pontual local como SbN.

Apesar do protagonismo do ser humano, as três instituições analisadas trazem questões importantes para o atual debate em suas definições, metas e parâmetros para as SbN, tais como: que as soluções de SbN possam ser implementadas sozinhas ou de forma integrada com outras soluções para desafios sociais (p. ex. obras de engenharia); que as SbN produzam benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa, promovendo transparência e a ampla participação; que mantenham a diversidade biológica, bem como a capacidade dos ecossistemas de evoluir ao longo do tempo; que sejam parte integrante do desenho geral de políticas e medidas ou ações para enfrentar um desafio específico (p. ex. o aquecimento global); que possam incrementar o bem-estar em áreas urbanas; que possam se integrar em todos os níveis políticos (federal, estadual e local) e em todos os setores (p. ex. diferentes ministérios); e que restaurem, mantenham ou melhorem a saúde ecossistêmica, dando suporte e fomentando sua conectividade (Cohen-Shacham et al., 2016; EU, 2015; HERZOG, ROZADO, 2019; CITYADAPT, c2021a).

2.3 RETOMANDO A AGENDA 2030 E OS ODS

Conforme exposto no Capítulo 1, entendemos que seja possível a utilização de técnicas de fitorremediação – já aqui articuladas como SbN -, a fim de atingir, direta ou indiretamente, diferentes metas traçadas para muitos dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, propostos na Agenda 2030 da ONU. Contudo, para este estudo, destacaremos os seguintes objetivos e metas como possibilidade de aferição (Quadro 04, abaixo):

Quadro 04 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e metas correspondentes destacados para esta Pesquisa

<p>OBJETIVO 6 - ÁGUA POTÁVEL E SANEAMENTO</p> <p>Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos</p>	<p>META 6.3 Até 2030, melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura globalmente</p> <p>META 6.b Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da água e do saneamento</p>
<p>OBJETIVO 11 - CIDADES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS</p>	<p>META 11.7 Até 2030, proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, em particular para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência</p>

Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.	
OBJETIVO 17 – PARCERIAS E MEIOS DE IMPLEMENTAÇÃO Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável	META 7.17 Incentivar e promover parcerias públicas, público-privadas, privadas, e com a sociedade civil eficazes, a partir da experiência das estratégias de mobilização de recursos dessas parcerias, dados, monitoramento e prestação de contas META 17.14 Aumentar a coerência das políticas para o desenvolvimento sustentável

Fonte: adaptado de NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015, grifo nosso.

Estes objetivos e metas foram selecionados no sentido de compor alguns critérios de parametrização para aplicação com vistas a circunstanciar a análise crítica do estudo de caso de que trataremos no Capítulo 4 desta Pesquisa.

Consideramos que a adoção de medidas e procedimentos de baixo impacto, de resiliência e que apontem para estratégias de sustentabilidade em diversos sistemas e amplitudes sejam capazes de, mesmo que paulatinamente, transformar pensamentos e paradigmas insustentáveis enraizados na sociedade atual. A partir deste argumento e da reflexão sobre SbN realizada a partir das três instituições acima, bem como a eleição dos ODS e metas enunciados neste capítulo, chegamos a cinco parâmetros qualitativos e critérios correspondentes (Quadro 05), a serem considerados na análise do estudo de caso.

Quadro 05 – Parametrização proposta pela Pesquisa

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	ODS ARTICULÁVEIS
1. Qualificação da Paisagem	<p>1.1 Abordar diferentes escalas (local, regional, nacional, internacional)</p> <p>1.2 Promover a regeneração urbana por meio de SbN</p> <p>1.3 Utilizar-se de SbN para incrementar o bem-estar em áreas urbanas</p> <p>1.4 Restaurar, regenerar ou mitigar ecossistemas</p>	11
2. Incorporação de Processos Educativos	<p>2.1 Comunicação, treinamento e replicação das SbN</p> <p>2.2 Contribuir para a geração de conhecimentos acerca de SbN</p> <p>2.3 Comunicar a eficácia das SBN à população envolvida em todas as faixas etárias</p> <p>2.4 Associação a institutos ou serviços de educação em vários níveis</p>	6

<p>3. Fortalecimento Comunitário</p>	<p>3.1 Gerar benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas</p> <p>3.2 Participação de diferentes agentes nas tomadas de decisão; enfoque centrado na comunidade, com participação ativa da população envolvida</p> <p>3.3 Discussão processual para concepção e implantação de projetos, com transparência e com participação de diferentes setores e agentes, de forma a produzir benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa e responsabilidades compartilhadas</p>	<p>6 e 11</p>
<p>4. Indução de Princípios para Políticas Públicas</p>	<p>4.1 Reduzir vulnerabilidades das comunidades, promover a biodiversidade e utilização de serviços ecossistêmicos como processo replicável</p> <p>4.2 Promoção de SbN através de processos de comunicação, treinamento como metodologia replicável</p> <p>4.3 Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a geração de conhecimentos acerca SbN como princípios e ações replicáveis</p> <p>4.4 Comunicar a eficácia das SBN a diferentes agentes – mercado, poder público, educadores, organizações não governamentais, cidadãos como metodologia replicável de parcerias</p>	<p>17</p>
<p>5. Eficiência das Técnicas de Fitorremediação como SbN</p>	<p>5.1 Concluir se houve promoção de SbN através de processos de fitorremediação de modo eficiente</p>	<p>11</p>

Fonte: Elaborado pela autora.

Optou-se por aplicar à proposta de parametrização desta Pesquisa, conforme Quadro 05, o sistema de classificação de graus de eficiência dos indicadores associados a cores, em moldes semelhantes ao predicado pela União Internacional para Conservação da Natureza (UICN). À classificação crescente qualitativa de: insuficiente, parcial, adequado e forte correspondem as cores, conforme determinadas, quais sejam: vermelho, amarelo, verde claro e verde escuro, respectivamente. Apesar de utilizarmos as mesmas cores e nomenclatura elaboradas pela UICN, não serão atribuídas notas, em forma numérica, como a instituição propõe em seu modelo. Esta decisão nos parece compatível com a natureza dos indicadores formulados nesta pesquisa, como proposta embrionária de parametrização para aferição do estudo de caso. Trata-se de um primeiro diagrama conceitual, cujos resultados esperados são predominantemente qualitativos e não quantitativos.

Busca-se, a partir dos parâmetros apresentados, estabelecer uma metodologia para a discussão comparativa de aspectos qualitativos do estudo de caso de fitorremediação, como um piloto investigativo que possa informar a verificação do potencial de projetos e ações concretas realizadas, mediante critérios relacionados à qualificação da paisagem, incorporação de processos educativos socioambientais, fortalecimento comunitário e indução de princípios para políticas públicas, dirigidos à restauração e regeneração de espaços urbanos e mitigação ou superação de impactos ambientais, considerando a adoção de SbN, tendo como estudo de caso exemplaridades de fitorremediação.

CAPÍTULO 3 - FITORREMEDIAÇÃO COMO SOLUÇÃO BASEADA NA NATUREZA: AS PLANTAS COMO SOLUÇÃO DE INFRAESTRUTURA

O presente capítulo tem como objetivo discorrer brevemente acerca dos principais processos e técnicas de fitorremediação para manejo de áreas contaminadas, com o intuito de compreendê-los e circunstanciar a análise do estudo de caso, a ser realizada no próximo capítulo desta Pesquisa.

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019), é considerada como contaminada qualquer:

[...] área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria que contenha quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger. (CETESB, 2019, p. 260).

Áreas contaminadas podem gerar ou agravar uma série de problemas socioambientais, tais como: danos à saúde, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos; restrições de usos do solo; prejuízos ao patrimônio público e privado (com possível desvalorização das propriedades) e efeitos negativos ao meio ambiente (CETESB, 2019, p. 260). Entende-se que realizar o correto gerenciamento para evitar ou mitigar a contaminação de sistemas de forma a minimizar os riscos a que estão sujeitos o meio ambiente e a população, é recomendável e necessário. Por meio de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas – seja para evitar como reverter os impactos por elas causados -, é possível configurar instrumentos necessários à tomada de decisão quanto às formas de intervenção mais adequadas (CETESB, 2019).

Partindo deste cenário, a recuperação de áreas contaminadas por ação humana pode ser realizada de muitas formas: escavação, incineração, extração com auxílio de solventes, oxirredução; contudo, muitos destes processos implicam no deslocamento da matéria contaminada para centros de tratamento específicos, o que pode vir a causar contaminação secundária e aumentar os custos de remediação. Por conta deste risco, passou-se a dar preferência a métodos de tratamento *in situ*, isto é, que podem ser aplicados no próprio local de intervenção, uma vez que também causam menor perturbação ao ambiente com menos custos

de operação (MARIANO; OKUMURA, 2012). Dentre as diversas técnicas remediadoras *in situ* está a fitorremediação, objeto desta Pesquisa.

Segundo Andrade, Tavares e Mahler (2007), a origem destas técnicas é incerta e, por vezes, controversa. Os autores apontam que o mais provável seja que a prática tenha se desenvolvido a partir da observação de melhorias ocorridas naturalmente e decorrentes da presença de vegetações em locais previamente contaminados. A partir destas observações, e do estudo e seleção de espécies vegetais mais apropriadas para as práticas, desenvolveu-se o conjunto de técnicas que passou, apenas a partir de 1991, a ser conhecido como *phytorremediation*, ou fitorremediação²⁵ (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

De acordo com Eskander e Saleh (2015), as técnicas de fitorremediação envolvem o cultivo de plantas em uma matriz contaminada pelo período de crescimento necessário para remover contaminantes da matriz ou facilitar a imobilização ou degradação dos poluentes. As plantas utilizadas podem ser posteriormente colhidas, processadas e descartadas de maneira ambientalmente correta.

Assim, podemos definir fitorremediação como o conjunto de técnicas que utiliza plantas e seus microrganismos associados para remediar efeitos nocivos causados por elementos tóxicos e poluentes ao meio ambiente. Estas técnicas possuem potencial para tratamento eficaz de uma grande gama de poluentes orgânicos e inorgânicos e têm sido aplicadas em diversas frentes, tais como: tratamentos de sistemas hídricos, de efluentes de esgotos, descontaminação de solos e despoluição de ar (ANDRADE, TAVARES; MAHLER, 2007).

A fitorremediação está inserida no conjunto de técnicas denominado como Infraestrutura Verde e, por consequência, encontra-se inserida no conjunto de Soluções baseadas na Natureza (SbN) – uma vez que as SbN funcionam como um guarda-chuva conceitual que carrega em si todas as demais estratégias já consolidadas que, de alguma forma, se inspiraram, copiaram ou basearam-se em

²⁵ Os autores mencionam que os termos *botanical-bioremediation* e *green-remediation* são utilizados como sinônimos de *phytorremediation* nos países de língua inglesa e que a grafia *fitoremediação*, embora incorreta, também é aceita nos países de língua portuguesa (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, p.13-14).

processos naturais para problemáticas ambientais, tais como: infraestrutura verde, serviços ecossistêmicos; a adaptação baseada em ecossistemas; o capital natural e soluções de baixo impacto (FRAGA, 2020; MARQUES, 2020).

A fitorremediação também é considerada como uma estratégia de biorremediação, pois são utilizadas, além das plantas, enzimas e microrganismos associados a técnicas agrônômicas, com o objetivo maior de degradar, reter, imobilizar ou reduzir os contaminantes a níveis não tóxicos.

Dentre as substâncias tratáveis a partir das técnicas de fitorremediação podemos citar: metais (chumbo, zinco, cobre, níquel, mercúrio e selênio), compostos inorgânicos (nitrato e amônio), elementos químicos radioativos (urânio, cério e estrôncio), hidrocarbonetos derivados de petróleo (BTEX), pesticidas e herbicidas (atrazine, bentazona, compostos clorados e nitroaromáticos), explosivos (TNT, DNT), solventes clorados (TCE, PCE), resíduos orgânicos industriais (PCPs, HPAs) e chorume - contudo, a concentração de poluentes e toxinas deve estar dentro dos limites de tolerância das espécies vegetais utilizadas, de forma e não comprometer os resultados finais. Além disso, é necessário considerar a possibilidade de as plantas entrarem na cadeia alimentar da região (e quais riscos decorreriam deste fato) antes de empregar a tecnologia (MARIANO; OKUMURA, 2012; ESKANDER; SALEH, 2015).

De acordo com a literatura (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; MARIANO; OKUMURA, 2012; ESKANDER; SALEH, 2015), como vantagens e benefícios da aplicação das técnicas de fitorremediação tem-se os seguintes aspectos:

- São menos invasivas do que outras técnicas de remediação, pois podem ser aplicadas *in situ*, sem a necessidade de escavar e transportar a matéria contaminada;
- Utilizam-se de energia solar para realização do processo de descontaminação;
- Podem remediar diferentes contaminantes simultaneamente;
- Podem ser utilizadas no tratamento extensivo de grandes áreas contaminadas (onde outras técnicas se mostrariam muito mais custosas);

- É possível empregar os mesmos equipamentos, insumos e treinamento de mão-de-obra utilizados na agricultura e na silvicultura convencionais;
- Podem fornecer habitat para a fauna local e, assim, promover biodiversidade e auxiliar a acelerar a restauração de ecossistemas que foram anteriormente afetados pela atividade humana no local;
- Podem qualificar a paisagem de *brownfields*²⁶ e outros locais contaminados;
- Podem promover melhorias na qualidade do ar ou da água no entorno de influência do local de intervenção;
- A presença de vegetação pode ajudar a reduzir a erosão pelo vento ou por água e melhorar a porosidade e permeabilidade do solo;
- As árvores plantadas podem fornecer sombra a edifícios, auxiliando a diminuir o consumo de energia com equipamentos de resfriamento;
- As espécies vegetais podem ser monitoradas mais facilmente em relação a, por exemplo, microrganismos (utilizados na biorremediação);
- A biomassa das plantas onde ocorre a retenção de contaminante, pode ser utilizada para outros fins (p. e. fertilizante, ração animal, geração de energia, fabricação de papel, entre outros);
- Estudos indicam que a implementação de fitorremediação pode resultar em uma economia de custos de 50 a 80% em relação às tecnologias tradicionais.

Andrade, Tavares e Mahler (2007), Mariano e Okumura (2012) e Eskander e Saleh (2015) citam como limitações e desvantagens das técnicas de fitorremediação:

²⁶ Um *brownfield* é uma propriedade cuja expansão, remodelação e/ ou reutilização pode ser complicada pela presença ou potencial presença de uma ou mais substâncias perigosas, poluentes ou contaminantes (EPA, c2021). A definição do Reino Unido engloba também áreas que foram anteriormente utilizadas, mas que posteriormente ficaram desocupadas, abandonadas, mas não necessariamente contaminadas, embora reconheça que os locais assim denominados normalmente requerem algum trabalho regenerativo preparatório antes que se dê um novo uso a estes. O termo derivou de *greenfield*, denominação dada a uma área ainda não desenvolvida por atividade humana (POLITICS.CO.UK, c2021).

- O tempo necessário para atingir as metas de correção pode ser maior se comparado a outras tecnologias de tratamento, uma vez que é necessário aguardar que as plantas se desenvolvam o suficiente para tratar a contaminação;
- Concentrações muito altas de contaminantes podem não permitir que as plantas se desenvolvam e/ ou sobrevivam;
- Para que o processo de fitorremediação seja bem-sucedido, a contaminação deve ser rasa o suficiente para que as raízes das plantas possam alcançá-la e agir sobre os contaminantes;
- Caso opte-se por utilizar espécies não nativas para realizar a fitorremediação, as consequências de introduzi-las no ecossistema podem ser desconhecidas ou inesperadas, correndo o risco de causar desequilíbrio ecológico;
- As técnicas de fitoextração podem causar o acúmulo de contaminantes em tecidos vegetais, o que, caso ingeridos pela fauna, eventualmente resultam em problemas de exposição e desequilíbrio ecológico;
- As técnicas de fitovolatilização ao remover contaminantes da subsuperfície, em contrapartida podem causar contaminação atmosférica, caso os contaminantes sejam liberados sem tratamento;
- Os sistemas de remediação baseados em plantas não impedem completamente a lixiviação²⁷ de contaminantes para as águas subterrâneas.

É possível depreender que, de forma a garantir que o processo de fitorremediação seja efetivo, ao mesmo tempo em que não cause mais danos ao ecossistema que pretende remediar, seja necessário conduzir um cuidadoso estudo com objetivo de selecionar tanto as espécies vegetais quanto as técnicas mais indicadas para correção do local contaminado.

²⁷ Lixiviação é o nome dado a um processo erosivo provocado a partir da lavagem da camada superficial do solo pelo escoamento das águas superficiais. Ocorre, em geral, em solos que não possuem cobertura vegetal e causa a diminuição da sua fertilidade natural ao longo do tempo, caracterizando uma forma inicial de erosão (ECYCLE, c2021).

A respeito da seleção de espécies vegetais adequadas para fitorremediação, Mariano e Okumura (2012) chamam a atenção para a observação das seguintes características:

- Capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante.
- Retenção do contaminante nas raízes (no caso da fitoestabilização, como oposto à transferência para a parte aérea, evitando sua manipulação e disposição).
- Sistema radicular profundo e denso.
- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa.
- Capacidade transpiratória elevada, especialmente em árvores e plantas perenes.
- Fácil colheita, quando necessária a remoção da planta da área contaminada.
- Elevada taxa de exsudação radicular.
- Resistência a pragas e doenças.
- Fácil aquisição ou multiplicação de propágulos.
- Fácil controle ou erradicação.
- Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos.
- Ocorrência natural em áreas poluídas (importante na identificação, porém não é pré-requisito). (MARIANO; OKUMURA, 2012, p. 88-89)²⁸.

Os autores frisam a necessidade do estudo do potencial fitorremediador que cada espécie atinge para determinadas concentrações de diferentes contaminantes, já que nem todas as plantas conseguem germinar e/ ou desenvolver-se perante taxas de contaminação específicas. É interessante selecionar aquela(s) com maior tolerância(s) a concentrações mais altas do contaminante analisado, de forma a garantir a sobrevivência das espécies cultivadas e potencializar os resultados remediadores. Observadas as especificidades de cada situação, diversas espécies de plantas podem atuar como agentes fitorremediadores: gramíneas, leguminosas, hortaliças, árvores e diversas outras monocotiledôneas e dicotiledôneas (MARIANO; OKUMURA, 2012).

3.1 PROCESSOS DE FITORREMEDIAÇÃO

²⁸ Esclarece-se que os termos “exsudação” e “propágulos” se referem, respectivamente, a transpiração, e a estruturas vegetais a partir das quais é possível fazer a propagação das espécies (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

Na fitorremediação, a ação sobre os poluentes pode ocorrer de forma direta - pela captura e degradação dentro do próprio organismo vegetal -, ou de forma externa - através da liberação pelas raízes, de compostos que estimulem a atividade microbiana na rizosfera²⁹ (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; TAVARES, 2009; MARIANO; OKUMURA, 2012).

Segundo Tavares (2009), a partir desta classificação, dividem-se as técnicas fitorremediadoras diretas como: fitoextração, fitotransformação e fitovolatilização e indiretas como: fitoestabilização e fitoestimulação. A Figura 06, a seguir, apresenta um diagrama destas divisões:

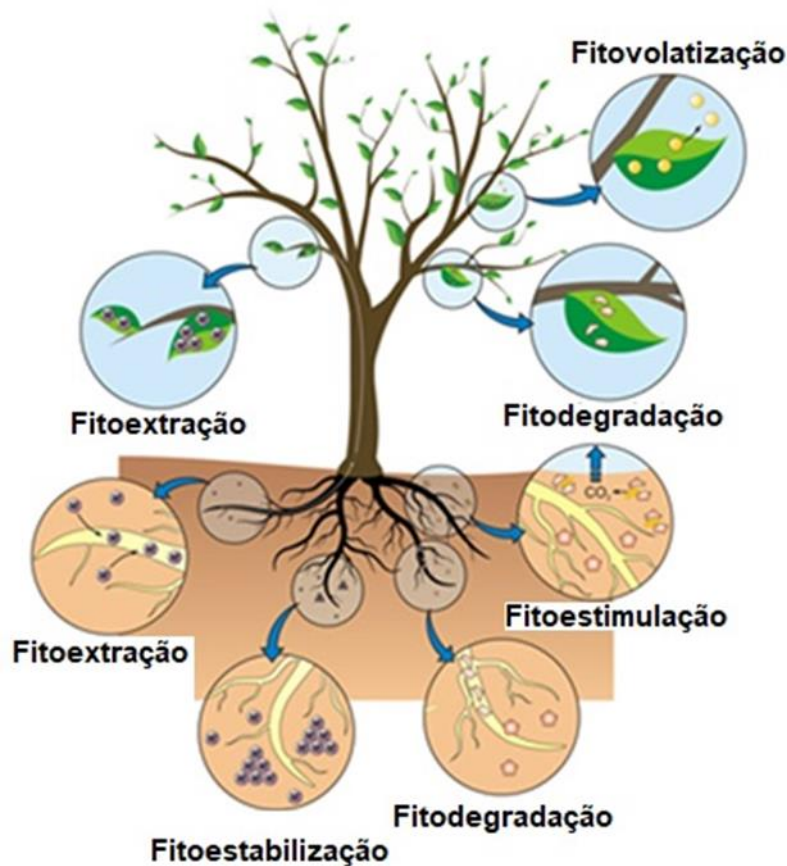


Figura 06 – Diagrama de formas de ação de fitorremediação.
Fonte: Medeiros, 2015.

3.1.1 FITOEXTRAÇÃO

²⁹ O termo rizosfera se refere à região do solo influenciada pelas raízes de uma planta, onde ocorrem atividades microbianas (MELO, s. d.).

Este mecanismo utiliza-se da capacidade vegetal de captação e/ ou absorção e translocação de contaminantes para seus tecidos. São empregadas nestas técnicas espécies vegetais específicas, que absorvem e hiper acumulam metal, contaminantes e/ ou nutrientes em excesso, seja nas raízes ou nos tecidos da parte aérea. A captação de poluentes ocorre pelo sistema radicular das plantas, onde, dependendo da espécie utilizada, se acumulam ou se transportam até as porções acima do solo – i. e. caule e folhas – onde ficarão armazenados em forma de nutrientes e desenvolvimento da biomassa (TAVARES, 2009; ESKANDER, SALEH, 2015). A porção aérea das plantas será posteriormente podada e, dependendo do caso, podem ser utilizadas na produção de fibras para mobiliário, coprocessamento para fabricação de cimento, fornecimento de adubo ou deposição em aterros (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Para ser considerada hiper acumuladora, a espécie vegetal precisa apresentar capacidade de acumular mais de 100 vezes do que uma planta comum, não acumuladora (ESKANDER, SALEH, 2015). Muitas destas espécies costumam desenvolver-se naturalmente em terrenos contaminados, mas é possível também as produzir ou melhorá-las geneticamente (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Andrade, Tavares e Mahler (2007) apontam as famílias *Brassicaceae*, *Euphorbiaceae*, *Asteraceae*, *Lamiaceae* e *Scrophulariaceae* como boas acumuladoras e cita como exemplos de espécies já utilizadas para este fim e integrantes destas famílias a *Brassica juncea* (mostarda-da-Índia), a *Brassica napus* (canola), o *Helianthus annuus* (girassol) e a *Medicago sativa* (alfafa).

De acordo com Eskander e Saleh (2015), existem dois tipos de fitoextração: a natural, onde as plantas naturalmente absorvem os contaminantes no solo sem o emprego de substâncias que auxiliem o processo; e a assistida ou induzida, em que um fluido de condicionamento contendo um quelante ou outro agente é adicionado ao solo para aumentar a solubilidade ou a mobilização de metal para que as plantas possam absorvê-los mais facilmente.

Tanto Andrade, Tavares e Mahler (2007) quanto Eskander e Saleh (2015) afirmam que esta técnica é mais utilizada para a remediação de metais do que de

compostos orgânicos, contudo, pode ser utilizada para o tratamento de metais, metalóides, radionuclídeos (i. e. elementos radioativos), ametais e contaminantes orgânicos em solos, sistemas hídricos e no ar. Dentre os metais passíveis de remoção com esta técnica podemos citar: prata (Ag), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn) (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

É comum que o ciclo de crescimento e colheita das plantas remediadoras seja repetido por várias safras, de modo a conseguir uma limpeza significativa da área afetada. Após ocorrido o processo de remediação, o solo limpo pode apoiar outra vegetação e/ ou atividade (ESKANDER, SALEH, 2015).

3.1.2 FITOTRANSFORMAÇÃO/ FITODEGRADAÇÃO

Esta técnica consiste em utilizar-se de espécies vegetais capazes de absorver e metabolizar os poluentes, degradando-os e transformando-os em substâncias não tóxicas que são, então, utilizadas no processo metabólico da espécie vegetal ou pelos microrganismos que vivem em associação com as raízes da planta (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; ESKANDER, SALEH, 2015).

Este processo é utilizado, principalmente, para o tratamento de contaminação por compostos orgânicos, tais como metanos, etanos, propanos, butanos e propanos, tricloroetileno (TCE), trinitrotolueno (TNT), dentre outras substâncias, inclusive xenobióticos³⁰ (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; ESKANDER, SALEH, 2015). No entanto, alguns autores apontam que se constatou que as plantas utilizadas para fitodegradação podem ser tóxicas para pequenos animais (como, por exemplo, caracóis) e, portanto, podem precisar ser isoladas de alguma forma a fim de não interferir com a fauna local (ESKANDER, SALEH, 2015).

3.1.3 FITOVOLATIZAÇÃO

³⁰ Xenobiótico é o termo utilizado para designar substâncias químicas estranhas ao organismo humano, que podem ou não ter efeito nocivo à saúde. Estes compostos estão inseridos no ambiente cotidiano da população através de diversas fontes: podem estar liberados no meio ambiente (agrotóxicos, inseticidas), podem ser adicionados em fármacos ou cosméticos, nos alimentos ou integrando suas embalagens, adicionados em utensílios, recipientes domésticos ou até mesmo pelo contato de natureza ocupacional, como era o caso do amianto antes da proibição de fabricação e uso (SETAN UNIRIO, 2021).

Consiste em utilizar o organismo da planta e/ ou seus microrganismos associados para volatilizar os contaminantes, isto é, transformá-los em gás. Este processo pode ocorrer a partir dos caules ou dos estômatos³¹ presentes nas folhas das plantas, ou a partir da biodegradação na rizosfera (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; ESKANDER, SALEH, 2015). Os poluentes podem ser liberados na atmosfera em sua forma original ou transformada, a depender da ação de processos metabólicos ocorridos no conjunto rizosfera-plantas (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

A técnica é utilizada para tratar solos contaminados por compostos voláteis orgânicos inorgânicos, tais como o mercúrio (Hg), o arsênico (As) e o selênio (Se), bem como por solventes clorados industriais, como o tricloroetileno, o tetracloroetileno e o percloroetileno (GRZEGÓRSKA et al., 2020).

Andrade, Tavares e Mahler (2007) apontam como vantagem da fitovolatilização a remoção de poluentes do ecossistema, contudo advertem que o procedimento deve ser feito após conduzidos cuidadosos estudos acerca do tipo de contaminantes presentes na área e quais espécies vegetais seriam mais adequadas para a remediação, uma vez que existe o risco de as plantas liberarem na atmosfera concentrações dos compostos ainda consideradas tóxicas.

3.1.3.1 CONTROLE HIDRÁULICO

Outra aplicação possível da técnica de fitovolatilização é a de auxiliar na contenção da infiltração de contaminantes no solo como, por exemplo, agrotóxicos utilizados na agricultura, impedindo que estes cheguem até o nível das águas subterrâneas e as contaminem (Figura 07). Isto se dá graças à grande massa radicular característica da maioria das espécies utilizadas na fitovolatilização (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007). As espécies que podem ser utilizadas neste processo são: *Populus sp.*, *Medicago sativa*, *Brassica juncea*, *Brassica napus*, *Hibiscus cannabinus*, *Festuca arundinacea* e *Arabidopsis thaliana* (MARIANO; OKUMURA, 2012).

³¹ Estômato é o termo utilizado para denominar as pequenas aberturas nas epidermes foliar e caulinar das espécies vegetais que permitem as trocas gasosas necessárias à vida das plantas (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

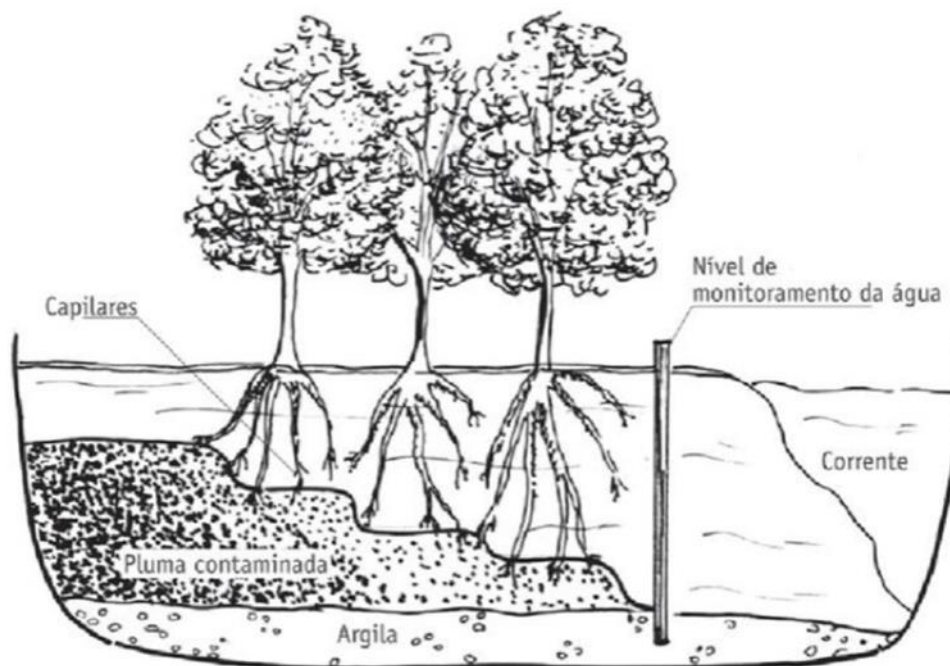


Figura 07 – Ilustração de funcionamento do controle hidráulico de pluma contaminada.
Fonte: ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007.

3.1.4 FITOESTABILIZAÇÃO

A técnica de fitoestabilização tem como principal mecanismo a estabilização e contenção dos poluentes por um prazo determinado, imobilizando-os no sistema solo-plantas (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; ESKANDER; SALEH, 2015). De acordo com Andrade, Tavares e Mahler (2007), a presença de vegetação evita que o contaminante seja carregado por ar ou por água, bem como protege o solo do processo de lixiviação.

As plantas utilizadas têm como característica a capacidade de imobilizar os poluentes por adsorção³², acumulação ou precipitação, e fornecer uma zona em torno de suas raízes onde os poluentes podem precipitar e estabilizar. Ao impedir o movimento dos poluentes, é possível evitar processos de erosão e deflação³³, bem como a exposição da fauna local ao contaminante (ESKANDER; SALEH, 2015). Segundo Andrade, Tavares e Mahler (2007):

³² Esclarece-se que o termo “adsorção” se refere à fixação de moléculas de uma determinada substância na superfície de outra substância (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

³³ Esclarece-se que o termo “deflação”, neste contexto, se refere ao carregamento de detritos pelo vento (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

A fitoestabilização química ocorre por meio de mudança química e/ ou microbiológica na zona das raízes e, ainda, pela alteração química do contaminante. Baseia-se na mudança da solubilidade e da mobilidade do metal e na dissolução de compostos orgânicos, por intermédio da mudança do pH do solo pela exsudação de substâncias pelas raízes ou mediante produção de CO₂. (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007, p. 21-22).

De acordo com a literatura consultada, a fitoestabilização tem sido utilizada com sucesso no tratamento de solos contaminados por metais e compostos inorgânicos, tendo como vantagem a possibilidade de utilização para restabelecimento de cobertura vegetal em locais onde outras espécies não conseguem sobreviver devido às altas concentrações de metais (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007, ESKANDER; SALEH, 2015; GRZEGÓRSKA et al., 2020).

Como desvantagem, os autores apontam para a possibilidade de reversão do estado dos contaminantes anteriormente imobilizados, devido a alguma mudança ocorrida no ambiente. Assim, é necessário manter um rigoroso monitoramento da área onde a técnica foi empregada (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007, ESKANDER; SALEH, 2015).

3.1.5 FITOESTIMULAÇÃO, RIZODEGRADAÇÃO, BIODEGRADAÇÃO NA RIZOSFERA, BIORREMEDIAÇÃO OU DEGRADAÇÃO ASSISTIDA POR PLANTAS

A relação simbiótica entre as plantas e os microrganismos presentes no solo é fato comum, uma vez que as espécies vegetais fornecem os nutrientes necessários para os micróbios prosperarem, enquanto os micróbios fornecem um ambiente de solo mais saudável, onde as raízes das plantas podem crescer (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; GRZEGÓRSKA et al., 2020). Assim, fitoestimulação, rizodegradação, biodegradação na rizosfera, biorremediação ou degradação assistida por plantas são as diversas denominações dadas à mesma técnica fitorremediadora, que se utiliza da cooperação entre espécies vegetais e de microrganismos para decomposição de poluentes devido à atividade microbiana que acontece na rizosfera das plantas (ESKANDER; SALEH, 2015; GRZEGÓRSKA et al., 2020).

Os poluentes podem ser decompostos tanto pela microbiota associada à rizosfera da planta, como pelos próprios produtos excretados pelas raízes no solo, que podem ser açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, ácidos graxos, esteroides, fatores de crescimento, nucleotídeos e enzimas. Os tipos de produtos liberados nestes processos influenciam na interação com os microrganismos presentes no solo, que servem como substrato para a própria microbiota da rizosfera, fazendo aumentar a quantidade, diversidade e atividade das populações microbianas que levam ao conseqüente acréscimo da taxa de degradação dos poluentes (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

Segundo Grzegórska et al. (2020), a técnica de fitoestimulação é eficiente para a decomposição de hidrocarbonetos, hidrocarbonetos poliaromáticos e percloratos, podendo ser uma forma eficaz para limpeza de solo contaminado por petróleo, diesel e compostos oleosos. Nesse sentido, Andrade, Tavares e Mahler (2007) afirmam que a degradação de hidrocarbonetos gera subprodutos que são, normalmente, menos tóxicos que o contaminante original: álcoois, ácidos, dióxido de carbono e água, muitos dos quais podem ser aproveitados nos processos metabólicos das espécies envolvidas, tanto microbianas como vegetais. Os autores afirmam também que, embora a técnica seja mais efetiva quando aplicada na remediação de contaminantes orgânicos e organometálicos, também é possível utilizá-la para a decomposição e tratamento de contaminação por metais, como selênio (Se) e mercúrio (Hg) (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007).

3.1.6 RIZOFILTRAÇÃO

Esta técnica é muito semelhante à da fitoextração, pois ambas seguem o mesmo percurso básico para remediação: removem os contaminantes a partir da captura e incorporação destes à biomassa vegetal. A diferença da fitoextração para a rizofiltração é o meio em que elas são utilizadas – solo e água, respectivamente. As plantas são colocadas em contato com os poluentes, que são absorvidos através dos sistemas radiculares dos vegetais e armazenados no próprio corpo da planta (biomassa), podendo ser acumulados nas raízes, ou transportados aos caules e folhas, onde são utilizados no metabolismo da espécie, acumulados ou liberados na atmosfera em formas menos tóxicas. É necessário colher e replantar

os espécimes vegetais até que níveis satisfatórios de remediação sejam alcançados (ESKANDER; SALEH, 2015).

São métodos de tratamento que podem ser realizados *in situ*, isto é, com o cultivo das espécies vegetais diretamente no corpo de água contaminado, e cuja implantação resulta na diminuição da infiltração de água e lixiviação de contaminantes, além de qualificarem a paisagem do local de implantação (ESKANDER; SALEH, 2015). Os processos que envolvem rizofiltração são mais voltados para concentração e precipitação de metais pesados do que contaminantes orgânicos, sendo empregados, principalmente, para o tratamento de águas superficiais ou subterrâneas, efluentes industriais e residenciais, drenagem ácida de minas, escoamento agrícola e águas residuais poluídas com metais pesados ou elementos radioativos, como rádio (Ra), urânio (U) e cézio (Cs) (ESKANDER; SALEH, 2015; GRZEGÓRSKA et al., 2020).

3.2 TÉCNICAS FITORREMEIADORAS

Apresentaremos, a seguir, uma seleção das principais técnicas que se utilizam de fitorremediação como Soluções baseadas na Natureza.

3.2.1 WETLANDS CONSTRUÍDOS, ALAGADOS CONSTRUÍDOS OU JARDINS FILTRANTES

Segundo Von Sperling e Sezerino (2018), os *wetlands*, como conjunto de técnicas, apresentam diversas nomenclaturas na literatura: *wetlands* construídos, sistemas alagados construídos, terras úmidas construídas, leitos plantados, leitos com macrófitas, filtros plantados com macrófitas, filtros com macrófitas, leitos cultivados, sistemas de zonas de raízes e jardins filtrantes. Não entraremos, portanto, no mérito das terminologias, e utilizaremos nesta Pesquisa o termo “*wetlands* construídos” que, segundo os autores, é um dos que tem sido mais utilizado em seminários e publicações nacionais. Von Sperling e Sezerino (2018) apontam que, no âmbito internacional, os termos mais usuais, em inglês, são *constructed wetlands* e *treatment wetlands*.

Os *wetlands* construídos são ecossistemas artificiais formados pelo conjunto de solos hidromórficos³⁴ e plantas, que incorporam tecnologias para acelerar o tratamento de efluentes ao mesmo tempo em que mimetizam sistemas encontrados na natureza, como lagoas, brejos, mangues ou canais rasos (MURAKAVA, 2021; MURAKAVA; LUZ, 2021).

Diferente dos alagados naturais, as *wetlands* construídas possuem controle hidráulico, uma variedade de substratos³⁵ dispostos em camadas e plantas especificamente selecionadas, que permitem criar modelos variados adaptados ao local de implantação e de acordo com os contaminantes a serem removidos (MURAKAVA, 2021). Estes ecossistemas artificialmente criados realizam a limpeza de águas residuárias e efluentes sanitários e industriais através de processos de filtração e de evapotranspiração, que ocorrem tanto junto à microbiota associada à rizosfera das plantas como na biomassa das espécies vegetais e no meio suporte do sistema, ou seja, o substrato onde estão plantadas (SILVA, 2019).

De acordo com Murakava (2021), grande parte dos esgotos, águas e solos contaminados possuem, além de material orgânico, compostos nitrogenados (N), fosforados (P), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), que são absorvidos pelas plantas como nutrientes para seu desenvolvimento. As espécies escolhidas para compor o sistema de *wetlands* construídos podem, também, desempenhar a função de remoção de metais pesados (por fitoextração), resíduos industriais e queda de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO)³⁶.

³⁴ Solos hidromórficos são aqueles que apresentam as seguintes características específicas: drenagem deficiente e saturação por água na maior parte do tempo (NASCIMENTO; LANI; ZÓFFOLI, 2013).

³⁵ Substrato é o material sobre o qual se desenvolvem um ou mais organismos vivos, ou sobre o qual estes estão fixados. Configura o meio nutriente que serve de base para o desenvolvimento de diversos organismos (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

³⁶ DBO, ou demanda bioquímica de oxigênio, e DQO, ou demanda química de oxigênio, são parâmetros de análise de águas depuradas aferindo a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) para oxidar poluentes. Desta forma, é possível saber o grau de poluentes (carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e fósforo) em um meio aquático. A DQO (por oxidação química) utiliza de compostos químicos para a análise de biodegradabilidade e, por isso, apresenta resultado mais rápido que a DBO, que se refere à oxidação bioquímica (POÇAS, 2015; VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997 apud MURAKAVA, 2021).

São utilizadas para compor os sistemas de *wetlands* construídos diferentes espécies de macrófitas, i.e. espécies vegetais adaptadas ao meio aquático, que habitam desde terrenos alagadiços, como marismas, até ambientes totalmente submersos (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010). Por sua adaptabilidade, as macrófitas podem ser encontradas nas margens e áreas rasas de rios, lagos, reservatórios e outros corpos d'água e, também, se desenvolver em grandes bancos a mais de 10 metros de profundidade, desde que em presença de luz (PORTAL DE ECOLOGIA AQUÁTICA, s.d.). Os grupos ecológicos comumente aceitos são:

- EMERSAS - plantas enraizadas no sedimento com folhas acima da lâmina d'água;
- FLUTUANTES - plantas que se desenvolvem flutuando livremente no espelho d'água;
- SUBMERSAS ENRAIZADAS - plantas enraizadas crescendo submersas;
- SUBMERSAS LIVRES - plantas com raízes pouco desenvolvidas, flutuando submersas em águas tranquilas;
- COM FOLHAS FLUTUANTES - plantas enraizadas com folhas flutuando acima da lâmina d'água (PORTAL DE ECOLOGIA AQUÁTICA, s.d.).

Murakava (2021) comenta que os *wetlands* construídos são, normalmente, a segunda ou terceira etapa de tratamento de esgotos domésticos ou industriais. A autora descreve, de forma geral, como ocorre o funcionamento destes sistemas:

A primeira etapa de depuração das águas/solos é realizada através de processos físicos em tanques sépticos ou tanques de sedimentação para retirada de parte da matéria orgânica e quebra de grandes moléculas, onde ocorrem processos de sedimentação, volatilização e filtração. Posteriormente são encaminhados para os filtros alagados onde acontecem reações químicas e biológicas, como a oxidação, precipitação, absorção, adsorção e redução de patógenos contaminantes. Através das bactérias que se localizam em seus rizomas, no caso de sistemas aeróbicos, ou nos

substratos colocados (pedra, areia, brita), no caso de sistemas anaeróbicos, os nutrientes são volatilizados ou selecionados e absorvidos pelas plantas em sistema radicular após a biodigestão das bactérias acopladas. (MURAKAVA, 2021, p. 48).

Como apresentam diferentes possibilidades de combinações entre fluxo hidráulico, substrato, plantas, área de implantação e locais de despejo, os *wetlands* construídos se configuram em diversos modelos, aplicados conforme as necessidades de tratamento (MURAKAVA, 2021).

No Brasil, o primeiro sistema de *wetlands* construídos foi implementado nos anos 1980 por Eneas Salati, que propôs sua construção próxima a um córrego poluído, na Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz” (ESALQ), em Piracicaba, SP. Com o êxito do experimento, outras pesquisas passaram a ser feitas na área, em busca de novas tecnologias, melhorias, aumento da eficiência e diminuição de custos de implantação (SALATI, 1984 apud SALATI, s.d.). Segundo Salati et al. (2009):

Várias técnicas de *wetlands* construídos foram desenvolvidas nestes últimos anos, as quais são utilizadas de acordo às características do efluente a ser tratado, da eficiência final desejada na remoção de nutrientes, contaminantes e outros poluentes, do interesse da utilização da biomassa produzida e do interesse paisagístico. (SALATI et al., 2009, p.3).

A respeito das diferentes técnicas de *wetlands* construídos em uso no país, Sezerino e Pelissari (2021) afirmam que existem diversas modalidades aplicáveis ao tratamento de águas residuárias e afirmam que:

Basicamente a classificação proposta para diferenciar as modalidades de *wetlands* construídos centra-se no escoamento do esgoto afluente no módulo, podendo dar-se de forma superficial, ou seja, o esgoto submetido ao tratamento fica exposto à atmosfera ou de forma que o escoamento se processe subsuperficialmente, sem que haja contato de líquido com atmosfera [...] (SEZERINO; PELISSARI, 2021, p. 12-13).

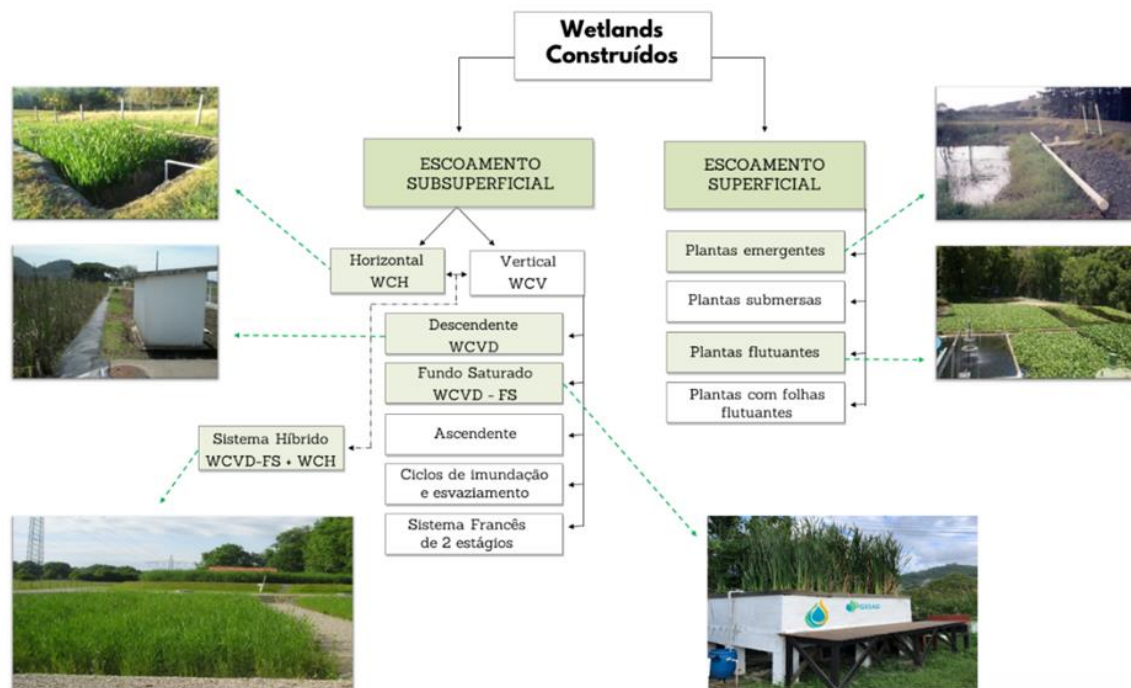


Figura 08 – Classificação dos *wetlands* construídos, com destaque às modalidades mais utilizadas no Brasil, de acordo com Sezerino e Pelissari. Fonte: SEZERINO; PELISSARI, 2021.

Cada um destes sistemas possui especificidades de implantação e funcionamento e trabalha com um tipo de fluxo hídrico, podendo ele ser superficial, subsuperficial ou vertical (SALATI, 2010; SALATI et al., 2009, apud SILVA, 2019).

Tanto Salati et al. (2009), cuja pesquisa acerca do tema foi pioneira no país, quanto Von Sperling e Sezerino (2018), pesquisadores que conduziram estudos junto à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e aos grupos Wetlands Brasil e Grupo de Estudo em Saneamento Descentralizado (GESAD) da Universidade Federal de Santa Catarina, elencaram os principais tipos de construção de *wetlands* artificiais. De acordo com Salati et al. (2009), os *wetlands* construídos podem ser classificados em quatro tipos básicos de sistemas, que se subdividem em mais três categorias:

- A. os que se utilizam de plantas aquáticas flutuantes;
- B. os que utilizam plantas aquáticas emergentes;
 - B1- sistema de fluxo superficial
 - B2- sistema de fluxo vertical
 - B3- sistema de fluxo horizontal subsuperficial
- C. os que utilizam plantas fixas submersas;

D. os que funcionam através de um conjunto de solos filtrantes conhecidos como Sistemas de Despoluição Hídrica com Solos (DHS).

Von Sperling e Sezerino (2018), levando em consideração as variantes mais tradicionais na literatura e mais utilizadas em nível mundial à época da publicação, propõem uma outra classificação de tipos de sistemas de *wetlands* construídos, também de acordo com os tipos mais utilizados no Brasil:

- E. de escoamento horizontal subsuperficial;
- F. de escoamento vertical;
- F1- sistema francês (de escoamento vertical).

Conforme ilustrado pela Figura 08, acima, sistematiza os tipos de *wetlands* classifica os sistemas de acordo com o tipo de escoamento. Verifica-se que Salati et al. (2009) elencam uma categoria de *wetland* de fluxo subsuperficial (representada, neste trabalho, pelo subitem B3), cuja técnica é bastante semelhante à elencada por von Sperling e Sezerino (2018) (representada, neste trabalho, pelo item E), o que denota o pioneirismo dos trabalhos de Salati.

Apresentaremos, a seguir, as diferentes classificações e definições dadas aos sistemas de *wetlands* construídos, segundo a literatura consultada destes autores, inicialmente a partir da abordagem de Salati et al. (2009).

A. WETLANDS CONSTRUÍDOS COM PLANTAS FLUTUANTES

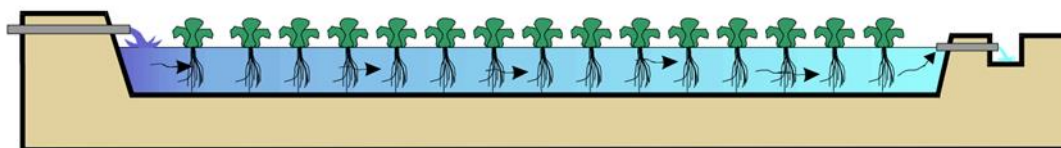


Figura 09 – Ilustração de sistema que utiliza plantas aquáticas flutuantes.
Fonte: SALATI et al., 2009.

Os sistemas que utilizam macrófitas flutuantes normalmente são compostos por canais longos, estreitos e rasos (com aproximadamente 70 centímetros de profundidade), nos quais as plantas aquáticas flutuam na superfície da água, conforme ilustrado acima, na Figura 09. Os canais que compõem o sistema podem conter apenas uma espécie de plantas ou uma combinação delas (SALATI et al., 2009).

A remediação dos contaminantes neste sistema ocorre por diversos fatores: a partir da adsorção de partículas pelo sistema radicular das plantas; pela absorção de nutrientes e metais pelas plantas; pela ação de microorganismos associados à rizosfera; e pelo transporte de oxigênio para a rizosfera (SALATI et al., 2009).

As principais vantagens dos *wetlands* construídos com plantas flutuantes são o baixo custo de implantação, a melhoria rápida dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos como seguros e a alta produção de biomassa, que pode ser utilizada na produção de ração animal e biofertilizantes. Como desvantagem cita-se a dificuldade de manejo causado por ventos fortes, que podem remover as plantas (tornando necessário o planejamento de barreiras flutuantes) e a possível hiper proliferação das espécies vegetais flutuantes, que podem causar bloqueios físicos nos corpos d'água, proliferação de vetores de doenças tropicais e até a eutrofização³⁷ do meio, caso a população não seja controlada (SALATI et al., 2009).

A espécie de macrófita flutuante mais estudada para a utilização neste sistema é a *Eichornia crassipes*, conhecida por diferentes nomes populares no Brasil, tais como aguapé, baroneza, mururé, pavoá, rainha do lago, uapé e uapê. O interesse nesta espécie é devido às suas características de robustez associadas a uma grande capacidade de crescimento — o aguapé consegue resistir a águas altamente poluídas com grande diversidade de nutrientes, pH, substâncias tóxicas, metais pesados e a grandes variações de temperatura (SALATI et al., 2009).

B. WETLANDS CONSTRUÍDOS COM PLANTAS EMERGENTES

De acordo com Salati (s.d., p. 10), “as macrófitas emergentes que possuem o sistema radicular fixo no substrato, representam as formas dominantes das *wetlands* naturais”, i. e., os sistemas naturais são normalmente compostos por

³⁷ Esclarece-se que o termo “eutrofização” se refere ao aumento excessivo da concentração de nutrientes (especialmente fósforo e nitrogênio) em ecossistemas aquáticos, que tem como consequência o crescimento exagerado de certos organismos, tais como algas e determinadas espécies de macrófitas (ESTEVES, 1988; DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010). De acordo com Esteves (1988, p. 204), a eutrofização é um processo dinâmico “no qual ocorrem profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas no meio e no nível de produção do sistema, podendo ser considerada uma forma de poluição.”

plantas que se desenvolvem tendo o sistema radicular preso ao sedimento e o caule e as folhas parcialmente submersos.

De maneira a mimetizar a natureza, as espécies utilizadas nos projetos deste tipo de *wetland* construído são morfologicamente adaptadas para se desenvolverem em sedimentos inundados, graças aos grandes volumes de espaços internos capazes de transportar oxigênio para o sistema radicular (SALATI, s.d.). Parte do oxigênio pode ainda sair do sistema radicular para a área em torno da rizosfera, criando condições de oxidação para os sedimentos e, portanto para decomposição de matéria orgânica, bem como para o crescimento de bactérias nitrificadoras. As espécies *Phragmites australis*, *Typha latifolia* e *Scirpus lacustris* são as mais comumente utilizadas nestes tipos *wetland* construído (SALATI et al., 2009).

Segundo Salati et al. (2009, p. 8), os sistemas que utilizam plantas aquáticas emergentes são subdivididos em três variações:

B1. sistema de fluxo superficial - em que a água escorre pela superfície do solo cultivado (Figura 10)

B2. sistema de fluxo vertical - em que a água é obrigada a passar pelo substrato cultivado (Figura 11)

B3. sistema de fluxo horizontal subsuperficial - em que a água é mantida no fluxo horizontal passando por um substrato inferior formado por pedras, onde são cultivadas as plantas emergentes (Figura 12)

B1. SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDOS COM PLANTAS EMERGENTES DE FLUXO SUPERFICIAL

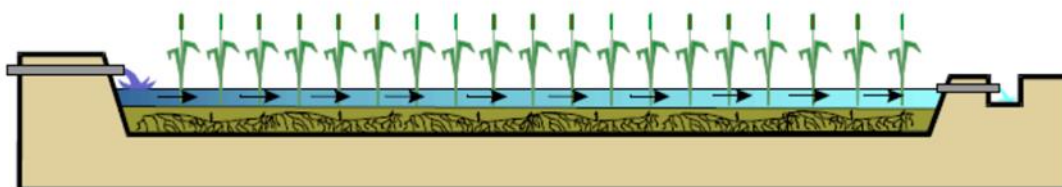


Figura 10 – Ilustração de sistema de *wetland* construído de fluxo superficial.
Fonte: SALATI et al., 2009.

Os *wetlands* contruídos com plantas emergentes de fluxo superficial é um dos mais antigos sistemas de *wetlands* construídas, são utilizados para tratamento terciário de efluentes, caracterizam-se por apresentar uma lâmina de água sobre as camadas de substrato (SALATI et al., 2009; MURAKAVA, 2021).

O projeto normalmente consiste em um canal com 3 a 5 metros de largura e 100 metros de comprimento, com uma lâmina de água de 10 a 40 centímetros sobre a superfície do solo. A purificação da água ocorre pela ação de microorganismos fixados na superfície do solo e na parte submersa do caule das plantas. No solo submerso podem ser cultivadas *Phragmites australis*, *Typha latifolia* ou *Scirpus lacustris*. (SALATI et al., 2009).

B2. SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUIDOS COM PLANTAS EMERGENTES DE FLUXO VERTICAL

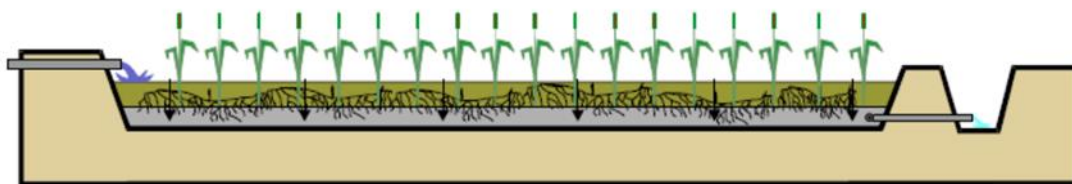


Figura 11 – Ilustração de sistema de *wetland* construído de fluxo vertical.
Fonte: SALATI et al., 2009.

Os *wetlands* construídos com plantas emergentes de fluxo vertical são utilizados quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação no sistema radicular. Esta configuração de *wetland* construído é indicada para realizar a remoção de sólidos suspensos, amônia e fósforo (BRIX & SCHIERUP, 1990 apud SALATI et al., 2009).

B3. SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUIDOS COM PLANTAS EMERGENTES DE FLUXO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL

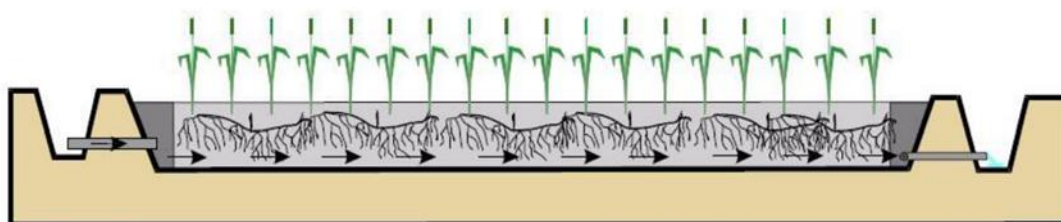


Figura 12 – Ilustração de sistema de *wetland* construído fluxo subsuperficial.
Fonte: SALATI et al., 2009.

Os *wetlands* construídos com plantas emergentes de fluxo horizontal subsuperficial são, em geral, configurados em forma de canais estreitos e longos, cujas dimensões podem variar de acordo com cada necessidade. Nesta configuração, o efluente é introduzido através de uma camada de material poroso com o intuito de induzir um fluxo horizontal em um lençol de diferentes tipos de substrato, no qual estão cultivadas as plantas (SALATI, s. d.). Ao despejar o efluente que passa por cascalho, areia ou brita, o dejetos é sucessivamente filtrado pelas camadas de substrato, onde ocorre o acúmulo de bactérias que realizam processos químicos e quebra de moléculas orgânicas (MURAKAVA, 2021). As plantas têm duas funções importantes no processo: fornecer oxigênio para os microorganismos presentes na rizosfera e aumentar e/ ou estabilizar a condutividade hidráulica do sistema (SALATI et al., 2009).

Segundo Salati et al. (2009), resultados obtidos em experiências com este sistema demonstram boa eficiência na remoção de sólidos suspensos e, dependendo do projeto e das condições de contaminação da água, observa-se também boa remoção de nitrogênio e fósforo.

C. SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDOS COM PLANTAS FIXAS SUBMERSAS

Os *wetlands* construídos com plantas fixas submersas é composto por canais estreitos e longos, com profundidade ////////////////////////////////////////////////////////////////////variável, e utiliza macrófitas submersas no fluído (fixadas ou não em substrato) e que, para que ocorra a fotossíntese, não podem ter suas folhas expostas diretamente ao sol (Figura 13) (SALATI et al., 2009; MURAKAVA, 2021).

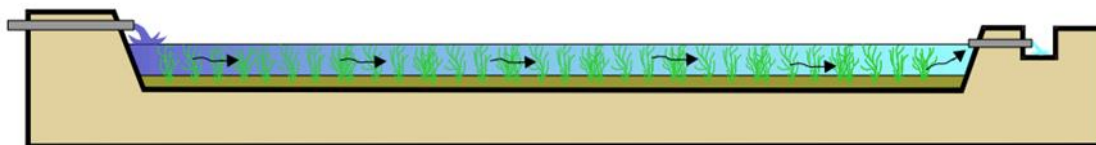


Figura 13 – Ilustração de sistema de *wetland* construído que utiliza plantas aquáticas submersas.
Fonte: SALATI et al., 2009.

Contudo, de acordo com Salati et al. (2009), as macrófitas só se desenvolvem adequadamente em águas bem oxigenadas, o que faz com que esta técnica seja mais empregada para o polimento de águas de esgotos após

tratamento prévio, sendo recomendada, portanto, para os estágios finais de sistemas de *wetlands* construídos.

A espécie mais empregada é a *Elodea Canadensis*, mas podem também ser utilizadas espécies como *Egeria densa*, *Elodea nuttallii*, *Ceratophyllum demersum* e *Hydrilla verticillata* (SALATI, 2010 apud MURAKAVA, 2021, p. 61).

D. SISTEMA DE DESPOLUIÇÃO HÍDRICA COM SOLOS (DHS)

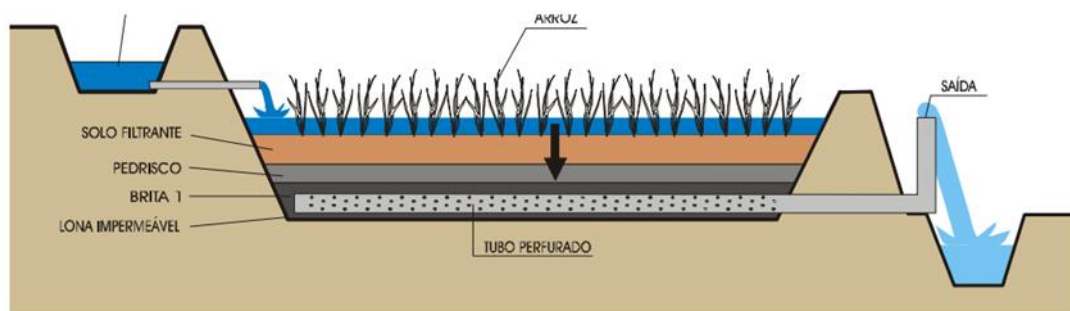


Figura 14 – Esquema *wetland* construído de tipo DHS com fluxo ascendente.
Fonte: SALATI et al., 2009.

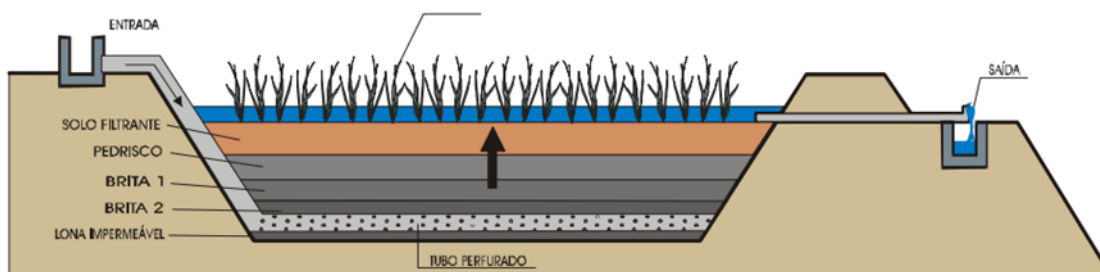


Figura 15 – Esquema *wetland* construído de tipo DHS com fluxo descendente.
Fonte: SALATI et al., 2009.

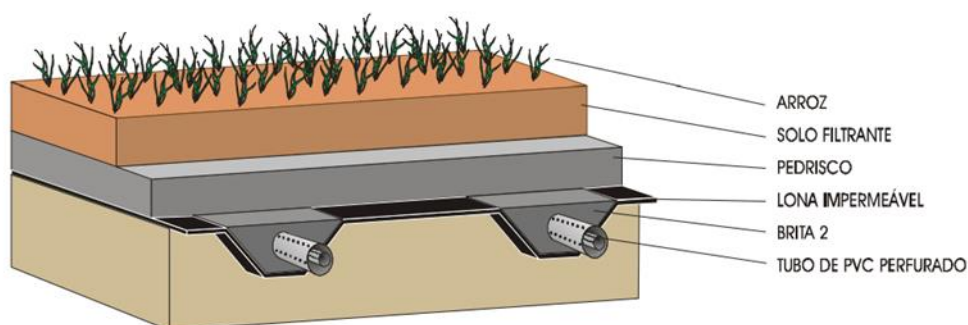


Figura 16 – Ilustração esquemática da estrutura de *wetland* construído de tipo DHS.
Fonte: SALATI et al., 2009.

O Sistema de Despoluição Hídrica com Solos (DHS), também conhecido como solo filtrante é utilizado no tratamento secundário e terciário de águas muito poluídas (SILVA, 2009; SILVA, 2010 apud MURAKAVA, 2021). Neste tipo de *wetland* construído, além dos efluentes passarem por um solo cultivado, passam também por um sistema de drenagem composto por diferentes substratos, que pode ser tanto de fluxo ascendente quanto de fluxo descendente, conforme ilustrado nas Figuras 14, 15 e 16. (SALATI et al., 2009).

O dimensionamento dos módulos, bem como a espessura de material filtrante, varia de acordo com o efluente a ser tratado e da eficiência que se deseja atingir. De acordo com Salati et al. (2009), a ação depuradora dos solos filtrantes se dá através de sua propriedade como filtro de tripla função: mecânico, físico-químico e biológico.

A escolha da utilização de fluxo ascendente é para evitar a proliferação de insetos e vetores de doenças, bem como o contato com o efluente a ser tratado, contendo maus odores (SILVA, 2009; SILVA, 2010 apud MURAKAVA, 2021).

E. WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL

Os *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial são semelhantes aos *wetlands* construídos com plantas emergentes de fluxo horizontal subsuperficial, conforme discutidos por Salati (s. d.) e descritos no item B3 desta Pesquisa. A partir da leitura de Sezerino e Pelissari (2021), temos que:

Os *wetlands* construídos de escoamento subsuperficial horizontal, implantados como unidade de tratamento secundário de esgoto doméstico pós-tanque séptico, foram as primeiras modalidades de *wetlands* que despontaram ao longo da década de 1990 como alternativas às edificações estabelecidas na zona rural [...] (SEZERINO; PELISSARI, 2021, p.10).

Essa modalidade, conforme ilustrada pela Figura 17, é composta por módulos escavados ou construídos sobre o solo, completamente impermeabilizados e preenchidos com materiais filtrantes cujos índices físicos — i.e., distribuição dos diâmetros dos grãos, uniformidade e porosidade — favorecem o escoamento do efluente e plantados com macrófitas emergentes. Este é coletado

e posteriormente ao tratamento é lançado em faces opostas do tanque, de forma a propiciar um escoamento longitudinal horizontal, favorecido por uma declividade de fundo (SEZERINO; PELISSARI, 2021).

De acordo com Sezerino e Pelissari (2021), como o sistema fica praticamente todo inundado pelos esgotos submetidos a tratamento, os módulos tornam-se ambientes anaeróbios e propiciam o desenvolvimento de uma comunidade bacteriana heterotrófica³⁸, a qual é a principal responsável pela remoção da matéria orgânica presente no meio, o que reduz a concentração de DBO no efluente tratado. A respeito do manejo e funcionamento do sistema, os autores comentam que:

Por se tratar, em sua essência, de um filtro, as concentrações de sólidos em suspensão são reduzidas no esgoto tratado, e proporções da ordem de 5 a 7% da carga de nitrogênio amoniacal afluente é fitoextraída pelas macrófitas presentes, a qual deve ser manejada conforme o ciclo de crescimento específico da espécie, destacando-se o corte da parte aérea e a retirada de espécies invasoras. (SEZERINO; PELISSARI, 2021, p.15).

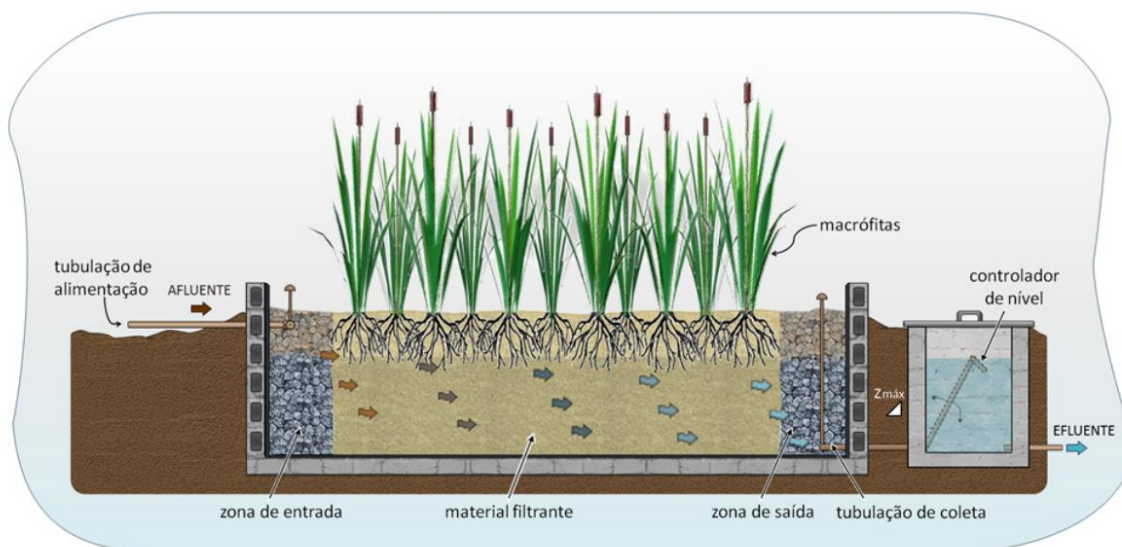


Figura 17 – Ilustração esquemática de um *wetland* construído de escoamento subsuperficial horizontal. Fonte: Sezerino; Pelissari, 2021.

São espécies elegíveis para esse tipo de *wetland* construído: *Typha spp* (taboa); *Cyperus papyrus* (papiro); *Zizania bonariensis* (junco); *Juncus spp* (junco); *Eleocharis spp*; *Alternanthera spp*; *Brachiaria spp*; *Cynodon spp* (capim

³⁸ Esclarece-se que o termo “heterotrófico” se refere aos organismos incapazes de sintetizar o próprio alimento e que, por consequência, precisam obter a energia de alguma fonte externa de compostos orgânicos. (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

Tifton 85); *Pennisetum purpureum* (capim-elefante); *Chrysopogon zizanioides* (capim Vetiver); *Canna generalis* (biri) (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

F. WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO VERTICAL

Os *wetlands* construídos de escoamento vertical são semelhantes a filtros de areia. São formados por uma camada de areia de altura superior a 50 cm que não permanece o tempo todo saturada — o que resulta em maior condutividade hidráulica e possibilita reações aeróbicas, responsáveis pelas reações de quebra de moléculas de amônia, mineralização de matéria orgânica, remoção de sólidos em suspensão total (SST) e queda de DBO e DQO (PHYTORRESTORE, 2018; WETLANDS BRASIL, 2018 apud MURAKAVA, 2021).

Von Sperling e Sezerino (2018) descrevem o funcionamento do sistema, aqui ilustrado pela Figura 18:

[...] o líquido a ser tratado é disposto uniformemente sobre toda a área superficial do módulo de tratamento, de forma intermitente, percolando em trajetória descendente por entre o sistema radicular das macrófitas e dos poros do material filtrante, o qual é usualmente composto por areia, até ser coletado no fundo por um sistema de drenagem[...] O meio permanece não saturado, isto é, os espaços vazios entre os grãos do meio suporte não estão preenchidos com líquido, mas com ar. Em decorrência, predominam condições aeróbias no leito filtrante. (VON SPERLING; SEZERINO, 2018, p. 23).

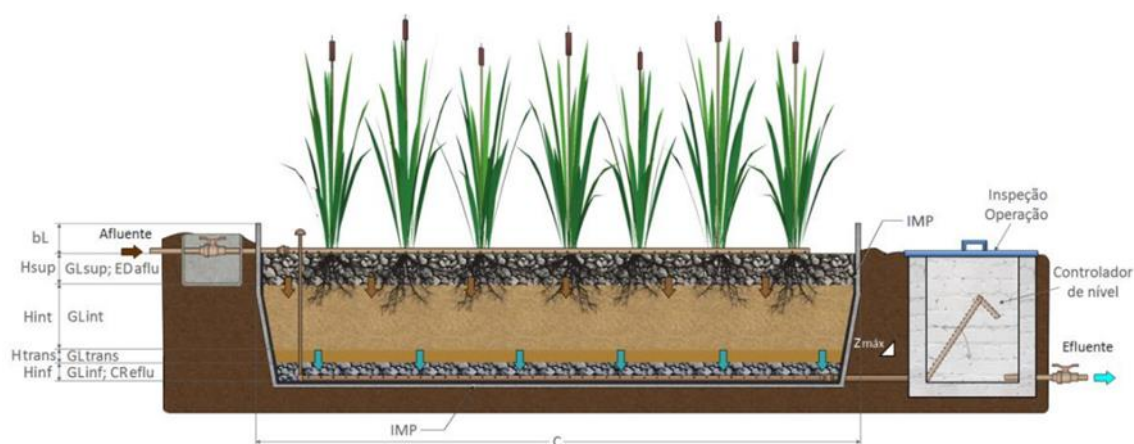


Figura 18 – Ilustração esquemática da estrutura de um *wetland* construído de escoamento vertical. Fonte: Von Sperling; Sezerino, 2018.

Estes modelos de *wetlands* construídos geralmente são utilizados em processos de tratamento secundários e têm grande desempenho no tratamento de esgotos domésticos bastante contaminados (SANTANA; PIO; ANTONY, 2013 apud MURAKAVA, 2021).

As raízes das plantas proporcionam a existência de espaços livres na camada de sedimento acumulado no topo do módulo de tratamento, por onde o líquido afluente pode penetrar. As espécies vegetais escolhidas para compor esta modalidade de *wetland* construído devem ser resistentes aos períodos de descanso da unidade, em que não há alimentação (VON SPERLING; SEZERINO, 2018; MURAKAVA, 2021).

F1. SISTEMA FRANCÊS DE WETLANDS CONSTRUÍDOS DE ESCOAMENTO VERTICAL (JARDINS FILTRANTES)

Os *wetlands* construídos de escoamento vertical de Sistema Francês são semelhantes aos sistemas de *wetlands* construídos aprimorados no Brasil pelo pioneirismo de Eneas Salati, desenvolvidos como sistema comercial pelo francês Thierry Jacquet³⁹, que o renomeou como jardim filtrante (SILVA, 2019). O sistema consiste em um ou mais lagos artificiais impermeáveis, preenchidos com camadas de pedras e areia, que recebem o plantio de macrófitas selecionadas a partir da região em que o projeto é implantado, levando em consideração o potencial das plantas em relação as variações climáticas, os tipos de poluentes a serem tratados e o consumo de oxigênio necessário para o funcionamento ideal do sistema (HYDRO, 2010; JARDINS FILTRANTES, 2014 apud SILVA, 2019).

O tratamento é realizado em duas etapas, sendo a primeira, em geral, com três tanques paralelos e a segunda com duas unidades, conforme pode ser visto na Figura 19 (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

³⁹ Thierry Jacquet é fundador da empresa Phytorestore Global. Para mais informações ver: <<https://phytorestore.com.br/>>. Acesso em: 14 out. 2021.



Figura 19 – Ilustração esquemática da estrutura de um jardim filtrante francês tradicional.
Fonte: Sezerino; Pelissari, 2021.

Sobre o funcionamento dos jardins filtrantes franceses, Murakava (2021) observa que, nesta configuração, é possível realizar o tratamento do esgoto bruto, não sendo necessário um tratamento primário no tanque séptico, como nos demais modelos, utilizando, para tanto, um fito-filtro (ou pragmidifiltro). A autora descreve a primeira etapa de tratamento:

[...] os efluentes são conduzidos por bombeamento ou sifonagem, em intervalos, para um filtro de brita, que retira os sólidos em suspensão totais (SST) e tem alta eficiência na remoção de DBO. Esta etapa possui 3 unidades de jardins paralelos em que são utilizados 1 leito por vez e possui uma alimentação com esgoto a cada 7 dias. (MURAKAVA, 2021, p. 51)

Após estes processos, os efluentes são levados para a segunda etapa que se caracteriza pelo tratamento para polimento e remoção de amônia e nitrogênio por processos de desnitrificação aeróbicos e anóxicos⁴⁰. Como grande parte dos processos que ocorrem neste modelo são aeróbicos não há geração de odor. Além disso, o sistema necessita de pouca manutenção: é requerida uma fiscalização de operação, duas vezes por semana, e da retirada da camada de lodo a cada 10 ou 15 anos (VON SPERLING; SEZERINO, 2018; MURAKAVA, 2021).

⁴⁰ Esclarece-se que o termo “anóxico” é um adjetivo empregado a algo que possui baixo teor de oxigenação (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

O oxigênio necessário para o funcionamento do sistema é fornecido pelas raízes das plantas macrófitas que o compõem. Dentre as espécies utilizadas nessa modalidade podemos citar: *Cynodon spp* (capim Tifton 85) e *Typha* (taboa). Caso o período sem alimentação não seja muito longo, as espécies a seguir podem também ser consideradas: *Cyperus papyrus* (papiro), *Zizanopsis bonariensis*, *Chrysopogon zizanioides* (capim Vetiver); *Eleocharis spp*, *Zantedeschia aethiopica* (copo de leite) e *Heliconia spp* (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

3.2.2 TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O tanque de evapotranspiração (TEvap) é uma técnica desenvolvida e difundida por permacultores para aplicação no tratamento domiciliar de águas negras em zonas urbanas e periurbanas (PAMPLONA; VENTURI, 2004 apud GALBIATI, 2009). Galbiati (2009) descreve a técnica da seguinte forma:

Consiste em um tanque impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com 4 espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. O sistema recebe o efluente dos vasos sanitários, que passa por processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evapotranspiração pelas plantas. Cada módulo é dimensionado para uma unidade familiar. (GALBIATI, 2009, p. 3)

O sistema TEvap (Figura 20) é constituído por: uma câmara de recepção e digestão (composta de pneus, meias canas de concreto pré-moldado perfurado ou tijolos furados) preenchido com entulho cerâmico até a altura de 50 cm, um filtro anaeróbico com uma camada de brita e outra, superior de areia grossa, sobre a qual aplica-se uma manta geotêxtil de drenagem e zona de raízes de solo de 60 cm de altura. A borda do tanque deve estar em altura no mínimo 10cm superior ao nível do solo externo e o substrato de solo plantado ser abaulado para escoamento de águas pluviais, coberto por folhas, de preferência. O TEvap, de fluxo subsuperficial ascendente, em um sistema único impermeabilizado, pode ser construído em argamassa armada, alvenaria ou geomembranas resistentes de PVC ou PEAD. Fazem parte do conjunto também ligações hidráulicas para recepção, inspeção e drenagem (em extremidade oposta à recepção), para encaminhamento de excedente para valas de infiltração (SILVA, 2019; GALBIATI, 2009).

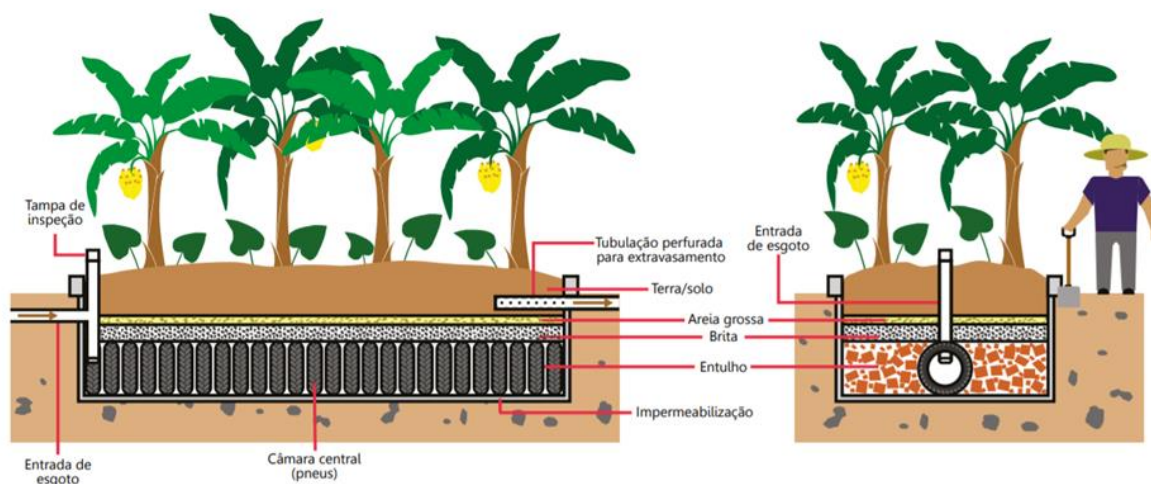


Figura 20 – Ilustração esquemática de um tanque de evapotranspiração.
Fonte: Tonetti et al., 2018.

De acordo com Galbiati (2009), os principais processos que ocorrem no TEvap são: precipitação e sedimentação de sólidos, degradação microbiana anaeróbia, decomposição aeróbia, movimentação da água por capilaridade, absorção de água e nutrientes pelas plantas e evapotranspiração do excesso de água. A autora, baseada em literatura da área, descreve que:

Os sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos apresentam baixa produção de lodo; apresentam baixo requerimento nutricional; permitem aplicação de elevadas cargas orgânicas; degradam certos compostos tóxicos (tais como compostos halogenados e azóicos recalcitrantes à degradação aeróbia); possuem habilidade em preservar a atividade do lodo por longos períodos sob ausência de alimentação e requerem baixo ou nenhum gasto de energia (CHERNICHARO, 2007 apud GALBIATI, 2009, p. 8).

A respeito da implantação do sistema, Tonetti et al. (2018, p. 80) fazem algumas considerações e recomendações, como sintetizamos a seguir:

- É um sistema versátil que pode ser utilizado em locais com solos arenosos ou argilosos, e/ ou com nível de lençol freático baixo;
- A fim de evitar o encharcamento do solo e do sistema por águas pluviais, deve ser construído um pequeno muro de contenção ao redor do tanque. Além disso, a camada de terra não deve ficar exposta, devendo estar sempre coberta por palhada e/ou folhas secas;

- O tanque deve ser instalado, preferencialmente, em locais com muita insolação e ventos, para a conveniente fotossíntese e processo de evapotranspiração pelas plantas;
- Por precaução, recomenda-se a instalação de uma tubulação de drenagem, que direcione o excedente já tratado para uma vala de infiltração ou outra estrutura semelhante, incluindo corpos hídricos;
- Os alimentos e folhas que crescem sobre o tanque não ficam contaminados por bactérias e outros micro-organismos e, portanto, são seguros para o consumo humano. No entanto não é recomendado o consumo de raízes (ex: inhame ou gengibre) ou frutos colhidos do chão.

As espécies adaptáveis para cultivo em Tanques de Evapotranspiração são: *Musa sp.* (banana); *Colacasia sp.* (inhame ou taioba); *Carica papaya* (mamão), *Zantedeschia aethiopica* (copo-de-leite); *Impatiens walleriana* (maria-sem-vergonha); *Hedychium coronarium* (lírio-do-brejo); *Heliconia spp.* (caetê-banana) e *Zizania bonariensis* (junco) (VENTURI, 2004; MANDAI, 2006 apud GALBIATI, 2009). Hortaliças como couve e tomateiros também podem ser introduzidas, evitando-se hortaliças rasteiras ou plantas das quais são consumidas as raízes cruas (GALBIATI, 2009).

Após a exposição realizada com o objetivo de discutir brevemente acerca dos principais processos e técnicas de fitorremediação para manejo de áreas contaminadas e compreensão dos processos apresentados, proceder-se-á ao estudo de caso do Parque Gas Works, cuja apresentação e análise crítica será realizada no próximo capítulo desta Pesquisa. O estudo de caso considera o debate entre processos pioneiros de biorremediação de solos contaminados, como estudo comparado a posteriores proposições teóricas a partir da evolução das técnicas de fitorremediação.

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE CASO: Parque Gas Works

Conforme enunciado na Introdução deste trabalho, o intuito desta pesquisa é investigar alternativas de fitorremediação a partir de um estudo de caso. Para tanto procedeu-se à constituição de critérios de parametrização a partir de determinadas referências, orientadas por diferentes recomendações de Soluções baseadas na Natureza e também pautadas pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, conforme foi apresentado no Capítulo 2. No Capítulo 3 procedeu-se à descrição comentada dos principais processos e técnicas de fitorremediação para manejo de áreas contaminadas em suas diferentes abrangências, com o objetivo de circunstanciar a análise do estudo de caso do parque Gas Works, que será objeto do presente Capítulo. A partir da apresentação e análise deste estudo, buscaremos discutir aspectos deste estudo de caso com o objetivo de contribuir para a discussão em curso acerca da sistematização de parâmetros aplicáveis de Soluções baseadas na Natureza – e, no caso específico deste trabalho, de um projeto envolvendo fitorremediação – perante a mitigação ou superação de impactos ambientais.

Segundo Eisenhardt (1989) e Yin (2009), o estudo de caso é um método de pesquisa que utiliza dados com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto, e caracteriza-se por ser uma investigação detalhada de poucos ou, por vezes, de um único objeto.

Para Gil (2009), se inserem entre os propósitos dos estudos de caso: a exploração de situações da vida real cujos limites não estão definidos de maneira clara; a descrição da situação a partir do contexto em que está sendo realizada uma determinada investigação; e a formulação de hipóteses ou teorias – assim, a utilização da metodologia do estudo de caso é adequada quando se pretende investigar o como e o porquê de um conjunto de eventos ou fenômenos (YIN, 2005).

A eleição do parque Gas Works se deu por sua relação de pioneirismo dentro do campo da fitorremediação de solos, que se refere ao escopo da pesquisa, bem como por representar um caso situado em um contexto consolidado e de inserção no tecido urbano de Seattle, EUA, desde 1976. Mais recentemente houve proposta teórica (MACKAY, 2016) para ampliar a capacidade do sistema de fitorremediação

deste parque, o que nos possibilitou uma leitura ancorada em um arco de tempo interessante perante a evolução técnica.

4.1. PARQUE GAS WORKS, SEATTLE (EUA)

4.1.1 História

O *Gas Works* é um dos primeiros exemplos da transformação de locais pós-industriais em parque por meio de remediação e recuperação. Projetado por Richard Haag Associates, o parque público urbano, localizado em Seattle, Estados Unidos da América (EUA), foi implantado no local da antiga planta-sede da Seattle Gas Light Company, após a realização de um extenso processo de biofitorremediação no solo da antiga indústria e nas margens do Lago *Union*, lindeiro (WAY, 2013).

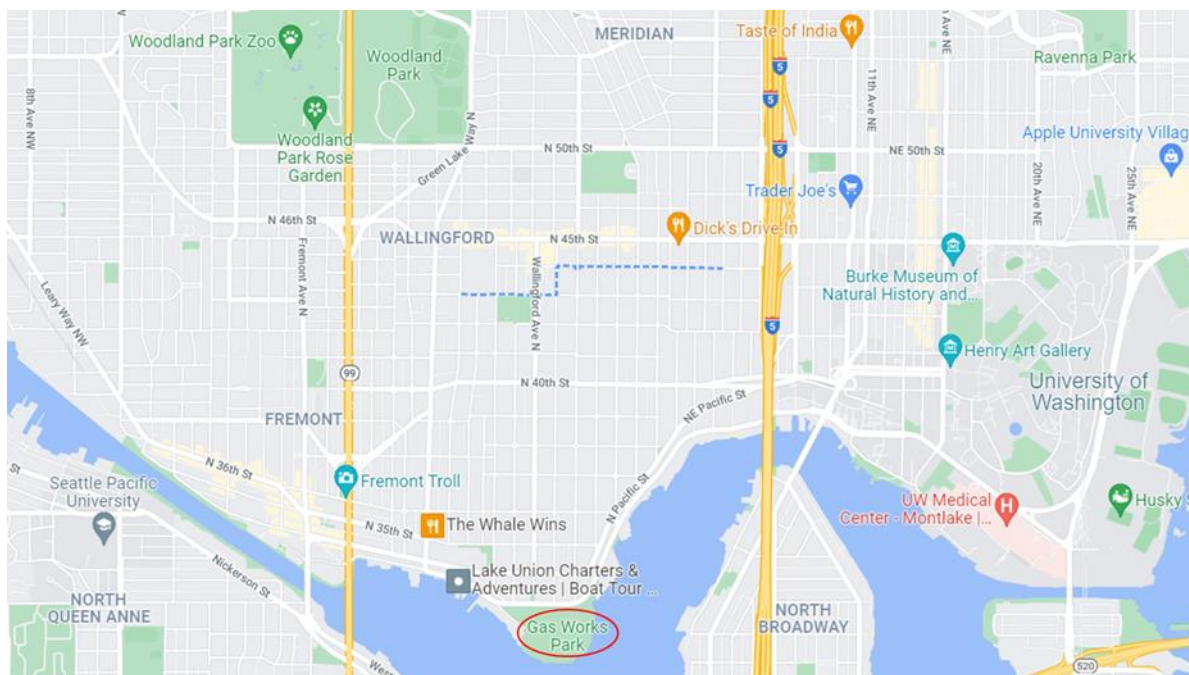


Figura 21 – Localização do Parque Gas Works (assinalado em vermelho), Seattle, EUA.
Fonte: Google Maps, c2021.

O Parque se localiza no bairro de Wallingford no qual muitos dos trabalhadores da Seattle Gas Light Company fixaram residência, durante seu funcionamento. Desde o fechamento da indústria, o bairro se alterou drasticamente, e é hoje o lar de mais de 12.000 pessoas, a maioria das quais de classe média-alta, com altos índices de educação e brancas (MACKAY, 2016). Além de Wallingford, ficam próximos o bairro Fremont e o Distrito da Universidade de Washington, conforme é possível verificar à Figura 21.

Segundo Satherley (2016), o local onde hoje está o Parque Gas Works foi recomendado como ideal para instalação de um parque público, no início dos anos 1900, pelo pioneiro paisagista Frederick Law Olmsted⁴¹, que ressaltou suas vocações para contemplação, passeios de barco e para instalação de um *playground*. A autora salienta que, na primeira metade do século XX, toda a orla de Lago Union foi rapidamente apropriada para uso comercial e industrial, e a área foi adquirida, na mesma época, pela Seattle Gas Light Company –, uma indústria de produção de gás, que ali instalou sua planta-sede (Figura 22).

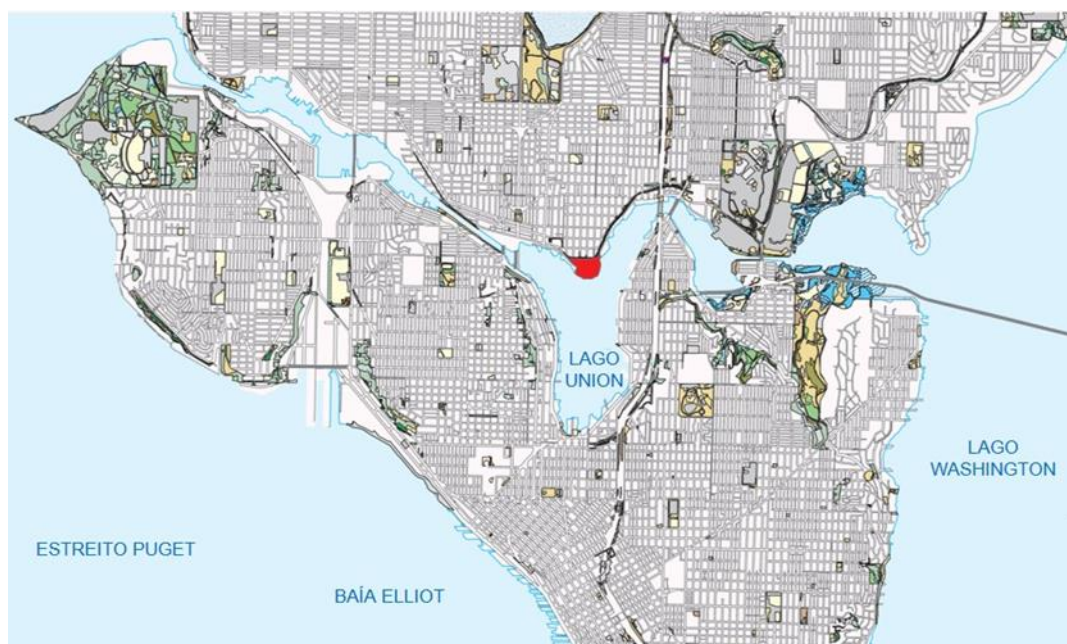


Figura 22 – Mapa de localização do Parque Gas Works (assinalado em vermelho) em relação à hidrografia e tecido urbano de Seattle. Fonte: Way, 2013, trabalhada pela autora.

De acordo com Mackay (2016), a localização central onde hoje está o parque (Figura 23), permitiu uma história de uso intenso de produção industrial, ao longo dos anos. Segundo a autora:

A sede da antiga planta de gaseificação de carvão e óleo estava localizada centralmente dentro da cidade para importar e exportar produtos facilmente. Em 1916, o Lago Union foi oficialmente conectado ao Lago Washington, a leste, e ao Estreito Puget, a oeste, com a conclusão do Canal de Navios. O

⁴¹ Frederick Law Olmsted (1822-1903) é reconhecido como o pai da arquitetura paisagística norte-americana. Tornou-se mundialmente conhecido por sua participação em alguns dos mais importantes parques urbanos dos Estados Unidos, como o Central Park, em Nova York (1857), e o Golden Gate Park, em San Francisco (1870), além de inúmeros projetos de estruturação de sistemas multiescalares de espaços livres como em Boston. (SOUZA; FRANCO, 2020; SCHENK, 2008).

Canal de Navios e as Eclusas Hiram M. Chittenden, que foram inauguradas em 1934, conectaram os dois lagos ao Estreito Puget, visando fornecer transporte para residentes e para a indústria. Esta conexão permitiu que muitos tipos de indústrias se desenvolvessem às margens do Lago Union que, por sua vez, fornecia transporte, energia e locais para depósitos de resíduos. A Seattle Gas Light Company adquiriu o terreno no início de 1900 e concluiu a construção da fábrica de gás manufacturado [...], no local, em 1907.⁴² (MACKAY, 2016, p. 38, tradução nossa).



Figura 23 – Foto aérea da Seattle Gas Light Company, em 1935, em pleno funcionamento.
Fonte: Golden, 2019.

A Seattle Gas Light Company convertia carvão e óleo em gás para iluminação e aquecimento das casas dos primeiros residentes da cidade de Seattle. Os processos de conversão para gás envolviam o aquecimento dos materiais base (carvão e óleo) a temperaturas extremamente altas, utilizavam uma grande quantidade de água e produziam fumaça nociva, óleo e alcatrão como subprodutos

⁴² Texto original: “The site of the former coal and oil gasification plant was centrally located within the city in order to import and export products easily. In 1916 Lake Union was officially connected to Lake Washington to the east and the Puget Sound to the west by the completion of the Ship Canal. The Ship Canal and the Hiram M. Chittenden Locks, which opened in 1934, connected the two lakes with Puget Sound in order to provide transportation for residents and industry. This passage allowed many kinds of industry to develop on the shore of Lake Union, which in turn provided transportation, power and dumping grounds. The Seattle Gas Light Company purchased the site in the early 1900’s, and completed construction of the Manufactured Gas Plant (MGP) on site in 1907.” (MACKAY, 2016, p. 38).

(MACKAY, 2016). Parte do alcatrão gerado foi reutilizado no local pela American Tar Company, inaugurada em 1920, como insumo para a fabricação de telhas e outros produtos. A construção do gasoduto Trans Mountain, em 1954, acabou por tornar a fábrica de gás obsoleta. A produção de gás na planta cessou em 1956 (MACKAY, 2016).

Em setembro de 1962, o governo da cidade de Seattle iniciou a compra o terreno da antiga indústria visando transformá-lo em um parque público para a cidade. A compra foi realizada em pagamentos anuais durante 10 anos (de 1963 a 1973), ao fim dos quais a empresa de gás desocuparia o terreno (SATHERLEY, 2016). Segundo Satherley (2016), um vereador comentou à época que os funcionários da empresa de gás simpatizavam com a ideia de transformar a propriedade em um parque público. A autora comenta que:

A Comissão de Planejamento Urbano [de Seattle] iniciou a reclassificação do zoneamento das margens do Lago Union de principalmente industrial/comercial para uso residencial e recreativo. Seu objetivo era ‘transformar o Lago Union de algo desagradável a algo atraente’, afirmando que muitas paisagens à beira d’água deveriam se tornar publicamente acessíveis para utilização cênica e recreativa. Neste momento, o acesso público às margens do Lago Union tinha praticamente desaparecido, e um desenvolvimento inicial do parque no local da Fábrica de Gás possibilitaria 415,14 metros (1362 pés) de nova fachada para o lago, acessível ao público. Isso marcou um ponto de inflexão nas atitudes da municipalidade em relação às suas frentes d’água e na compreensão dos benefícios do acesso a tais paisagens para o bem-estar humano. (SATHERLEY, 2016, p. 113-114, tradução nossa⁴³).

4.1.2 Projeto – o plano piloto de Haag

Em 1971, o escritório Richard Haag and Associates foi oficialmente contratado pelo Seattle Park Board para desenvolver um plano piloto (Figura 24) para o novo parque. Inspirado pela história local e por seus artefatos industriais,

⁴³ Texto original: “The City Planning Commission set about rezoning the shorelands of Lake Union from primarily industrial/commercial to residential and recreational use classifications. Their aim was to ‘transform Lake Union from an eyesore to an eye-catcher’, asserting that many waterfront landscapes should become publicly accessible for their scenic and recreational utility. At this time, public access to the shores of Lake Union had all but vanished, and an initial park development on the gas works site would yield 415.14m (1362ft) of new publicly accessible lake frontage. This marked a turning point in the City’s attitudes to its waterfronts, and understanding of the benefits of access to such landscapes for human wellbeing.” (SATHERLEY, 2016, p. 113-114).

Richard Haag⁴⁴ propôs um desenho inovador que manteria muito das estruturas existentes do parque (MACKAY, 2016).

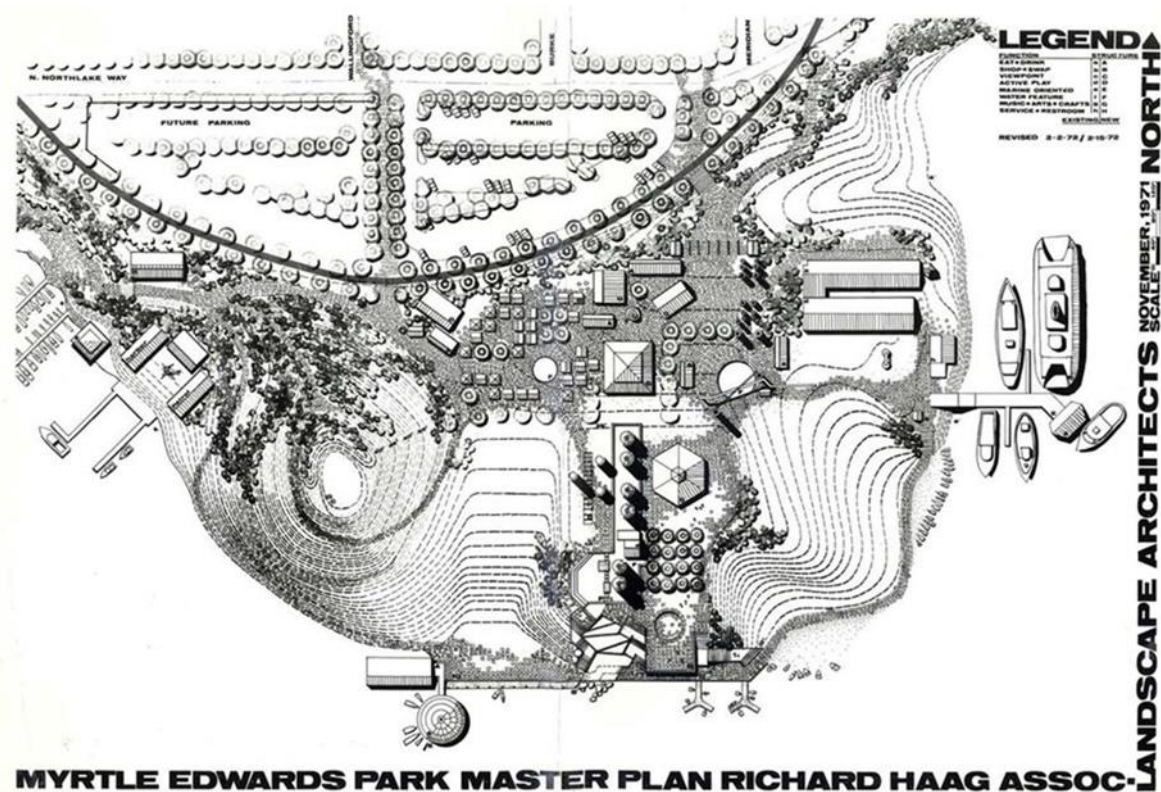


Figura 24 – Plano piloto do Gas Works Park, desenvolvido e apresentado por Richard Haag and Associates em 1971. Fonte: MACKAY, 2016.

Embora ex-funcionários da Seattle Gas Light Company e cidadãos tenham expressado que preferiam que o que restou da planta industrial fosse removido (Figura 25), os projetistas seguiram com o plano de manter alguns dos elementos do aparato industrial e limpar o terreno poluído por anos de produção industrial, que deixaram solo, águas subterrâneas e sedimentos próximos à costa embebidos em manchas de óleo e alcatrão (WAY, 2013; MACKAY, 2016).

⁴⁴ Richard Haag (1923-2018) foi um arquiteto paisagista, professor, *designer* e ativista norte-americano. Participou, em 1958, junto ao Departamento de Arquitetura da University of Washington (UW), em Seattle, do desenvolvimento e implementação do programa do curso de Arquitetura Paisagística, para o qual também lecionou. Seu envolvimento com cientistas em suas experimentações com remediação e recuperação de paisagens inaugurou um novo olhar no campo investigativo acerca da reutilização adaptativa de locais pós-industriais (WAY, 2013).



Figura 25 – Foto da Seattle Gas Light Company, em 1966, já desativada.
Fonte: Dorpat; Sherard, 2015.

Satherley (2016) observa em sua tese que, a partir dos anos de 1970, a função dos parques começa a ser compreendida de modo diferente: o que antes era visto como um local de contemplação passiva e fuga da vida nas cidades, passa a ser compreendido como um local que favoreça o lazer ativo e grandes encontros sociais. Esta mudança de comportamento se articulou a uma demanda por novos espaços em Seattle, cujos parques existentes já haviam atingido saturação de uso, com apenas dois atendendo à nova demanda por recreação pública ativa (SATHERLEY, 2016). Segundo a autora, Haag percebeu que a antiga planta de gás, com sua localização central e herança industrial, ofereceriam a Seattle a oportunidade de proporcionar à população esse novo tipo de parque. A respeito da visão projetual de Haag, Mackay (2016) comenta que:

Para tornar sua visão uma realidade, Haag precisava que o público adotasse o que ele chamou de 'novo olhar para o velho'. Seu pensamento era que, se ele pudesse fazer com que a cidade e o público vissem o potencial de criação de um tipo totalmente novo de parque, então talvez eles entendessem a importância de reaproveitar suas estruturas existentes,

permitindo a Haag projetar o parque em confluência com o passado do local. Embora eventualmente vencida em 1974, quando a construção do Parque começou, a batalha pelo Gas Works foi complexa e continua a envolver conflitos [...] (MACKAY, 2016, p. 40, tradução nossa).⁴⁵



Figura 26 – Situação do Gas Works Park, em 1971, antes do início das intervenções de Haag.
Fonte: Diltz, 2015.

Embora os agentes públicos e a população de Seattle inicialmente exigissem que as estruturas da planta industrial fossem retiradas para que um parque de desenho mais tradicional pudesse ser criado no local, Haag acabou por convencer a comunidade a reter elementos do aparato industrial (Figura 26). Contudo, este processo não foi exatamente participativo, já que Haag acreditava que o papel primordial de desenho era do arquiteto paisagista. Os diálogos do arquiteto com a população se davam predominantemente no sentido de persuadir indivíduos e grupos preocupados de que seu projeto atenderia ao objetivo comum de um belo parque público (WAY, 2013). Segundo Way (2013):

Ele não projetou em resposta à comunidade, mas sim os convenceu do poder de seu projeto. E este projeto foi baseado na crença de que a preservação das estruturas industriais enferrujadas seria um trunfo, uma

⁴⁵ Texto original: “In order to make his vision a reality, Haag needed the public to adopt what he termed ‘new eyes for old’. His thinking was, if he could get the city and the public to see the potential of creating a totally new kind of park, then perhaps they could understand the importance of reusing its existing structures, allowing Haag to design the park in confluence with its past. Although eventually won in 1974, when park construction began, the battle for Gas Works Park was hard fought and continues to embroil occasional conflict [...]” (MACKAY, 2016, p. 40).

contribuição artística para Seattle, e serviria para moldar um novo tipo de parque público urbano. (WAY, 2013, p. 11, tradução nossa).⁴⁶

Durante o período de concepção do plano piloto, Richard Haag montou um escritório em uma das ferrarias abandonadas da antiga indústria, o que o possibilitou formar conexões com diferentes grupos comunitários, desde residentes de barcos flutuantes, grupos escolares e entusiastas de pipas a líderes empresariais de Seattle. Perguntando a cada grupo o que eles imaginavam que o parque poderia oferecer à comunidade, o arquiteto ouviu ideias acerca de programas e atividades que diferentes grupos consideravam importante para incluir no plano do novo parque (WAY, 2013).

Segundo Way (2013), algumas dessas sugestões foram de fato incorporadas ao projeto, mas Haag fazia sempre questão de demonstrar como as ideias de equipamentos trazidas pela população — museus, *playgrounds* e outros — poderiam ser integradas aos artefatos industriais que já faziam parte do local. Segundo a autora, Haag sempre lembrava a seu público que estas estruturas foram responsáveis por grande parte do crescimento bem-sucedido de Seattle na primeira metade do século vinte, e que preservá-las significaria reconhecer essa história e permitir que fizessem parte da memória local. Com o tempo, muitos membros da comunidade começaram a ter uma percepção mais ampla deste potencial e aceitaram adotar a visão de Haag para o parque.

De acordo com Way (2013), a topografia da cidade de Seattle é constituída, principalmente, por colinas e vales. A autora explicita que, enquanto esta configuração oferece vistas icônicas das montanhas e dos corpos d'água, o terreno montanhoso é propenso a deslizamentos de terra e dificulta a construção de sistemas de transporte.

Utilizando a topografia da cidade como ponto de partida, Haag remodelou o terreno do Gas Works, criando colinas e planícies que se assemelhassem a uma Seattle em miniatura (WAY, 2013). O paisagista considerou as estruturas industriais selecionadas pela equipe – e reposicionadas no terreno do parque – como

⁴⁶ Texto original: “He did not design in response to the community, but rather he convinced them of the power of his design. And this design was based in the belief that the retention of the rusted industrial structures would be an asset, an artistic contribution to Seattle, and would serve to shape a new kind of urban public park.” (WAY, 2013, p.11).

esculturas prontas, que serviriam para enquadrar vistas dentro da paisagem, além de oferecer apoio a usos recreativos ativos (SATHERLEY, 2016). De acordo com Satherley (2016), avaliações de toxicidade e segurança determinaram muitas das escolhas feitas em relação ao uso da terra e, em particular, da demolição total, parcial ou da preservação das construções. Ao final destas, apenas 5% da estrutura fabril original permaneceu no parque.

Segundo Satherley (2016), Haag queria abrir uma parte do parque logo após o início das obras, no verão de 1971, com o objetivo de proporcionar às pessoas a oportunidade de interagir com a paisagem que estava sendo construída. A autora comenta que o plano piloto propunha uma série de diretrizes para usos no curto prazo, de forma a facilitar *shows*, jogos e piqueniques, enquanto a demolição e a limpeza da infraestrutura fabril estavam em andamento. Este objetivo de uso ativo durante a construção não foi contemplado até 1973, quando um terreno gramado de meio acre (cerca de 2 hectares), incluindo o recém semeado Great Mound, foi aberto para permitir o acesso público à orla.

Em 1974, foi aprovada uma mudança no National Environmental Policy Act (NEPA), que exigiu que fosse realizada uma declaração de impacto ambiental das intervenções realizadas no Gas Works – que foi apresentada e aprovada no mesmo ano. Em 1975, a seção nordeste foi inaugurada, seguida pelo estacionamento e banheiros em 1976. Em 1977, a cidade anunciou que não teria fundos para desenvolver o restaurante flutuante e o museu marítimo proposto no plano piloto, e que uma área de recreação infantil ao ar livre, um calçadão à beira-mar e a limpeza e cercamento das torres seriam os estágios finais do desenvolvimento do parque. O Gas Works foi totalmente aberto ao público no início de 1978 (SATHERLEY, 2016).

4.1.3 O parque Gas Works hoje– lidando com a contaminação

O parque completo ocupa uma área de 20 acres (cerca de 8 hectares) e é composto pelas seguintes estruturas: uma área elevada de 15 metros de altura denominada Great Mound ou, popularmente, Kite Hill; as antigas torres de gaseificação ao centro; um celeiro de jogos com uma área para brincadeiras anexa, prados para piqueniques e estar; um anfiteatro ao ar livre e a orla do Lago Union, tudo rodeado por caminhos para pedestres, conforme ilustra a Figura 27. A

topografia se caracteriza por declive gradual a partir da Northlake Way até a margem do Lago Union. Nesta avenida se localiza o estacionamento. A Northlake Way, a norte do parque, é uma importante rota arterial beira rio no sentido leste-oeste. A oeste se localiza a via Interstate 5 e, a leste, a Aurora Avenue North (SR 99). A trilha Burke-Gilman — uma trilha regional utilizada por pedestres e ciclistas —, adentra o parque após cruzar a Northlake Way (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997).

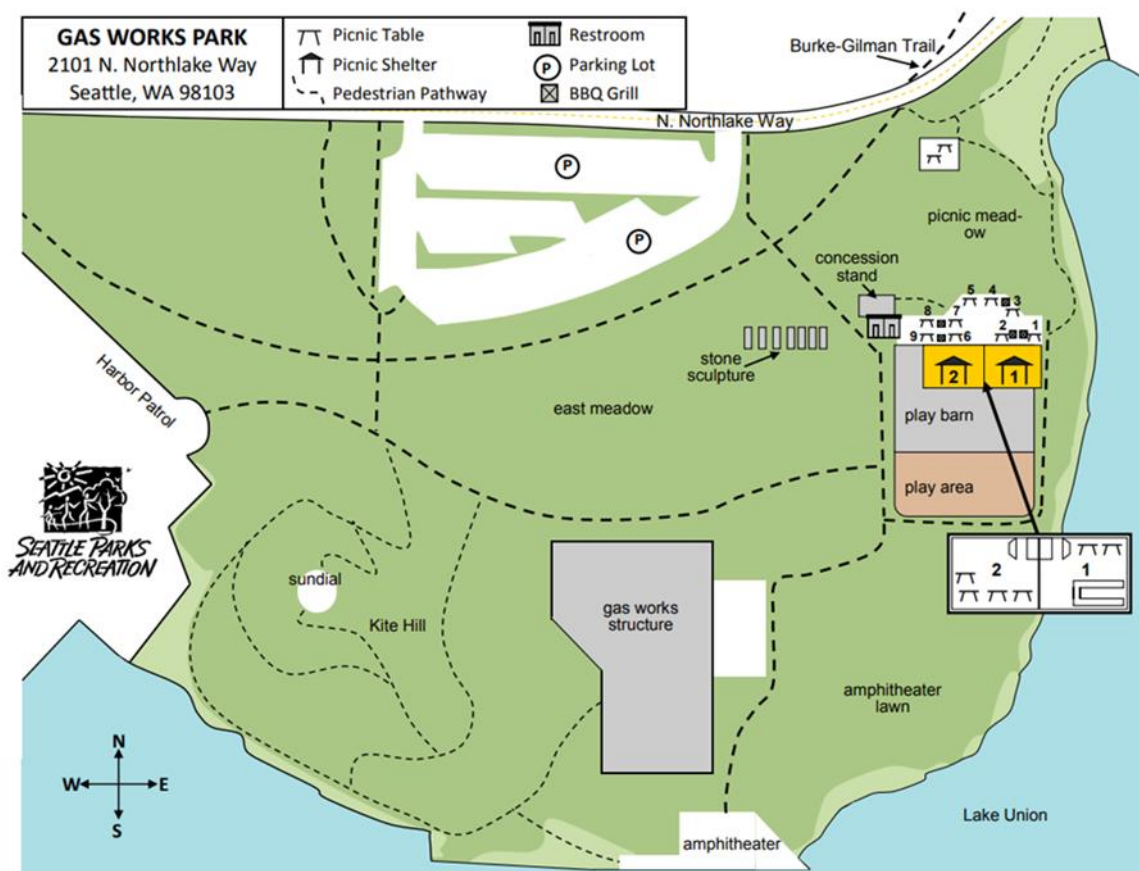


Figura 27 – Mapa de visitação do Parque Gas Works.
Fonte: Seattle Parks and Recreation, s. d.

Conforme mencionado, para a implantação dos espaços de uso público, Haag teve que lidar com solos e águas subterrâneas contaminados pelos processos industriais ocorridos anteriormente na área, que saturaram o solo com alcatrão e hidrocarbonetos aromáticos. Para tanto, propo manter o solo contaminado no local e tratar as toxinas *in situ* (WAY, 2013). O processo de remediação adotado pelo paisagista, em conjunto com uma equipe multidisciplinar ficaria, mais tarde, conhecido como biorremediação (também conhecido como fitoestimulação ou degradação assistida por plantas, conforme tratado no Capítulo

3 deste trabalho), e consistia em revolver a terra local, de forma a introduzir oxigênio abaixo da superfície e estimular a atividade das bactérias aeróbicas presentes no solo para que estas digerissem os hidrocarbonetos (WAY, 2013). Com o objetivo de auxiliar na digestão microbiana, foram misturados ao solo lodo de esgoto, serragem, serrapilheira⁴⁷ e outros materiais orgânicos. Em menos de um ano, já havia grama cobrindo o solo (MACKAY, 2016; SATHERLEY, 2016).

O plano original seria criar morrotes com terra e entulho, espalhar essa nova mistura de solo por tudo e cobrir todo o terreno com uma camada de solo limpo e grama (MACKAY, 2016); contudo, a técnica não surtiu efeito em algumas áreas mais contaminadas. O solo mais poluído foi colocado junto aos escombros de construção que não poderiam ser reaproveitados, em uma grande pilha, para formar a base do Kite Hill (Figura 28). A área de Kite Hill foi coberta com 18 polegadas (cerca de 46 centímetros) de argila compactada, com o objetivo de isolar os contaminantes, e a inclinação deste grande morrote foi calculada para que a água das chuvas fluísse mais rapidamente sobre ele, evitando sua infiltração no local, dirigindo-se ao lago (WAY, 2013).



Figura 28 – Foto aérea do Parque Gas Works.
Fonte: Friends of Gas Works Park, s. d.

⁴⁷ Esclarece-se que o termo “serrapilheira” se refere à camada de folhas, galhos, frutos, etc., que cobre o solo das matas (DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA, 2010).

O nível de contaminação do solo, combinado à falta de recurso para substituí-lo totalmente, impediu que a paisagem do parque Gas Works se assemelhasse a um jardim, a principal imagem cognitiva de parque presente na mente da população local. Para que fosse possível plantar árvores, toneladas de terra contaminada teriam que ser removidas e substituídas por solo adequado, processo financeiramente inviável para uma área como a do parque Gas Works (SATHERLEY, 2016). Haag descreveu a situação da vegetação do local como:

[...] as ervas daninhas são desencorajadas pela falta de material orgânico, compactação severa e poluição química [do solo] resultado de processos industriais anteriores. Também contribuindo para o ambiente pobre para horticultura estão a drenagem deficiente, a poluição do ar e os ventos fortes. Esses fatores, combinados com o custo exorbitante de reconstruir o solo típico do local, exclui plantações maciças semelhantes a florestas. (RICHARD HAAG ASSOCIATES INC., s. d. apud SATHERLEY, 2016, p. 163, tradução nossa).⁴⁸

Em 1974, jornais locais relataram cerca de 30 mil pés de tomate crescendo no solo do parque – que foram testados e considerados seguros para consumo. No entanto, as técnicas de biofitorremediação empregadas não foram suficientes para garantir que o solo fosse capaz de suportar vegetação mais substancial que forração e arbustos baixos. O renque de árvores que separa o parque do estacionamento foi plantado sobre solo limpo, trazido de outro local (WAY, 2013; SATHERLEY, 2016).

Desde sua inauguração oficial, em 1976, o parque passou por várias avaliações ambientais, para a análise de riscos potenciais à saúde, advindos do contato com o solo local e com as águas do Lago Union. Em abril de 1984, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) coletou amostras de solo e água no terreno e vários contaminantes foram identificados, sendo hidrocarbonetos polinucleares aromáticos (HPAs)⁴⁹ e compostos derivados de petróleo os principais. O parque foi

⁴⁸ Texto original: “Even the weeds are discouraged by the lack of organic soils, severe compaction and chemical pollution resulting from the former industrial processes. Also contributing to the poor horticultural environment are poor drainage, air pollution, and the strong winds. These factors combined with the exorbitant cost of rebuilding a typical soil horizon site, exclude massive forest-like plantings.” (RICHARD HAAG ASSOCIATES INC., s. d. apud SATHERLEY, 2016, p. 163).

⁴⁹ Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são uma classe de mais de cem substâncias químicas que ocorrem naturalmente no carvão, petróleo bruto e gasolina e que são gerados em diversos processos industriais e na combustão incompleta de matéria orgânica. (FIT CETESB, 2018).

fechado para aprofundamento das análises de risco e, após um comitê municipal de especialistas ambientais concluir que o único risco significativo para a saúde resultaria de comer, beber ou respirar materiais contaminados por um longo período, foi reaberto (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997).

Após este episódio, a municipalidade tomou algumas medidas com o objetivo de proteger e conscientizar os frequentadores, incluindo cercar as torres de gaseificação e instalar placas de sinalização para alertar os usuários acerca dos riscos de contato com o solo do parque. Nadar ou pescar no Lago Union foi proibido (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997). O fechamento de 1984 marcou o início de uma longa série de monitoramento, testes, mitigação e interação burocrática relativas a estes problemas do local (MACKAY, 2016).

De acordo com Mackay (2016), testes realizados no parque ao longo dos anos concluíram que a contaminação persiste abaixo do solo do parque Gas Works em diferentes estágios de remediação. Segundo a autora, a ameaça que os contaminantes restantes podem representar é relativa e determinada pela concentração do contaminante (medido em miligramas por quilograma – mg/kg) no solo ou na água, sua profundidade e proximidade com a água. Enquanto alguns compostos encontrados podem representar apenas riscos, se inalados em sua forma gasosa, outros são reconhecidamente tóxicos, cancerígenos e mutagênicos; no entanto, estudos apontaram que estes contaminantes somente apresentam risco mortal ou cancerígeno se ingeridos ou introduzidos na corrente sanguínea dos indivíduos em níveis suficientemente elevados (MACKAY, 2016, p. 56).

Os contaminantes encontrados em concentrações mais altas são, principalmente, uma mistura de compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), bem como a forma metálica do arsênio. Alguns poluentes identificados nos levantamentos – como chumbo, cádmio e cianeto – possuem concentrações abaixo dos níveis estabelecidos pela EPA, como tóxicos ou estavam profundamente enterrados, sendo considerados estáveis. A respeito da utilização de biofitorremediação para o tratamento de HPAs, Andrade, Tavares e Mahler (2007) afirmam que a degradação destas substâncias — realizada pelos microrganismos e pelas espécies vegetais *in situ* —, gera subprodutos que são, normalmente, menos tóxicos que o contaminante original: álcoois, ácidos, dióxido

de carbono e água, muitos dos quais podem ser aproveitados nos processos metabólicos das espécies envolvidas, tanto microbianas como vegetais.

Mackay (2016) afirma que os principais métodos de mitigação utilizados, de modo recorrente, no parque consistem em três procedimentos, tais quais: cobrir, sempre que necessário, o solo com uma camada de manta geotêxtil, solo sadio e grama em áreas onde a poluição emergir, sendo que a grama age como um indicador natural da saúde do solo; escavação e remoção de alcatrão que esteja próximo à superfície, seguido de nivelamento do solo limpo; em uma ocasião determinada, entre 2006 e 2012, no setor nordeste e ao longo da porção leste litoral, um sistema de pulverização de ar (*air-sparging*)⁵⁰ foi instalado e utilizado para mitigar uma pluma de benzeno que aflorou nestas áreas do parque. A Figura 29, elaborada por Mackay (2016) em sua tese, ilustra os diferentes contaminantes e suas localizações no terreno do Gas Works, de acordo com levantamentos realizados até 2015.

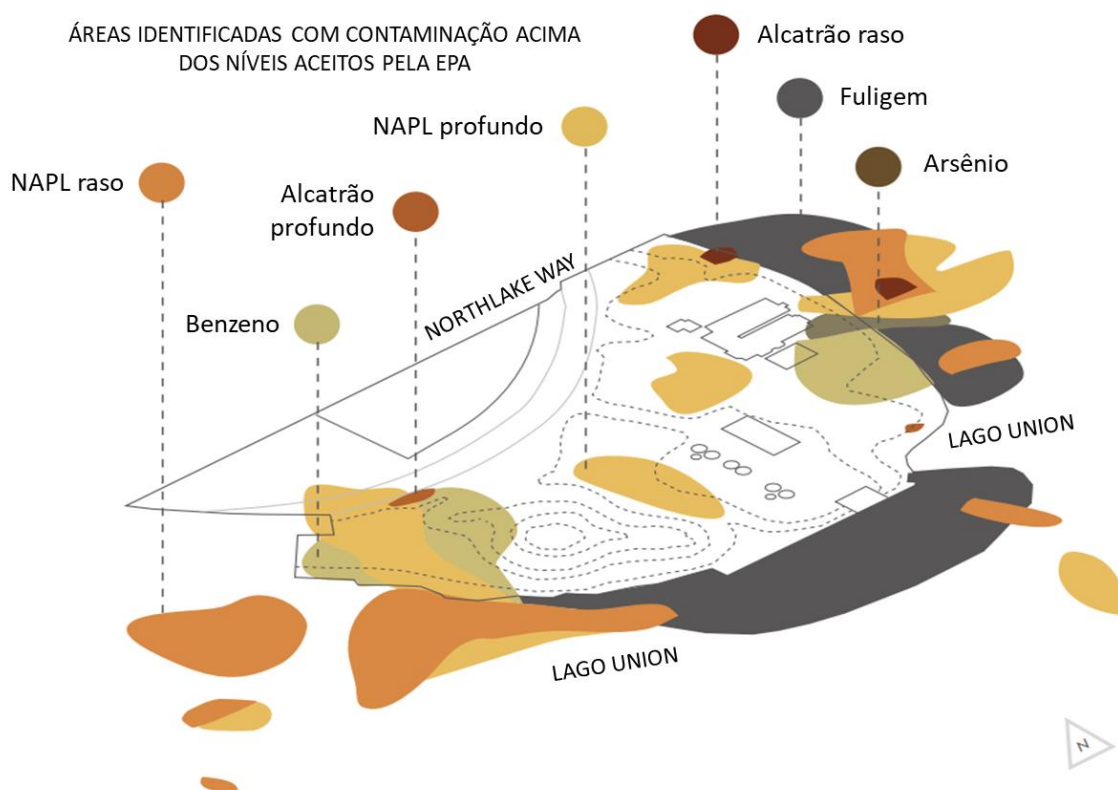


Figura 29 – Diferentes contaminantes e suas localizações no terreno do Gas Works.
Fonte: Mackay, 2016, trabalhada pela autora.

⁵⁰ A pulverização de ar, ou *air-sparging*, é uma técnica *in situ* que consiste em bombear ar pressurizado no solo a fim de volatilizar contaminantes, causando a dispersão destes no ar (MACKAY, 2016).

Durante os anos 2000, as avaliações e limpezas continuaram com ações semelhantes de adição de solo limpo, instalação de poços d'água subterrânea para extrair sedimentos da água. Um novo sistema de irrigação foi implantado e um novo fechamento do parque ocorreu entre 2014 e 2015, para renovação do acesso ao Great Mound e tratamento das águas subterrâneas do parque (SAWYER, 2020).

Em 1999, o parque Gas Works foi elevado à categoria de Historical Landmark pela municipalidade de Seattle e, de acordo com Satherley (2016), esta designação é responsável por diversos desafios relacionados à sua gestão, sobretudo no que diz respeito a alterações formais, que precisam ser submetidas à análise e aprovação do Conselho de Preservação de Marcos de Seattle (Landmarks Preservation Board).

4.1.4 Proposta alternativa de fitorremediação no parque Gas Works

A concepção projetual e a construção do parque iniciou, na década de 1970, a discussão sobre a reutilização adaptativa de locais pós-industriais (WAY, 2013) e sua contribuição para esta mudança de paradigma é inquestionável. Contudo, poluentes continuam a aflorar dos solos cobertos por argila, e sedimentos tóxicos são lentamente lixiviados para o lago Union, o que cria a necessidade de processos contínuos de mitigação (MACKAY, 2016).

De acordo com Weir (2015), além dos esforços iniciais de biorremediação e pulverização de ar no início do processo de reabilitação do terreno, a estratégia de remediação de escolha no Gas Works Park tem sido cobrir o solo com argila ou uma camada de solo limpo, consideradas como estratégias de remediação temporárias. Segundo a autora:

[...] tem havido vários esforços para 'recobrir' o solo do parque Gas Works, já que a camada [de solo limpo] anteriormente colocada por vezes afina devido ao tráfego constante de pedestres. Uma solução mais permanente e eficaz seria benéfica e poderia reduzir ou eliminar a necessidade de futuros projetos de cobertura de solo. (WEIR, 2015, p. 4, tradução nossa).

51

⁵¹ Texto original: “[...] there have been multiple efforts to ‘re-cap’ the soil at Gas Works Park, as the existing cap occasionally thins due to heavy foot traffic. A more permanent and more effective solution would be beneficial and may reduce or eliminate the need for future capping projects.” (WEIR, 2015, p. 4)

Mackay (2016) defende que mais pode ser feito em termos de melhorar a eficiência e potencializar os efeitos das propostas de remediação no local – principalmente dado que os processos realizados até hoje são mais mitigadores que propriamente remediadores. De acordo com a autora:

Ao projetar e construir o parque Gas Works, Richard Haag avançou consideravelmente na filosofia de reutilização pós-industrial, incluindo uma abordagem interdisciplinar para uma paisagem que começou, em muitas maneiras, a autocura. No entanto, a fim de continuar o processo iniciado por Haag, mais remediação é necessária. Embelezando formas existentes, utilizando vegetação acima do solo para sinalizar a remediação abaixo do solo, o parque pode embarcar na próxima fase de sua remediação [...] (MACKAY, 2016, p. 16, tradução nossa).⁵²

Salienta-se que a autora afirma que o próximo passo do projeto do Gas Works seria fazer com que o desenho da vegetação fitorremediadora respeitasse e valorizasse as formas que Haag projetou para o parque, de forma a permitir que as plantas agissem nas áreas de maior contaminação, sem prejudicar a aparência icônica e o uso da paisagem. Para tanto, Mackay (2016, p. 67-95) propõe a seguinte metodologia:

- I. Identificar os contaminantes presentes no terreno e as espécies que melhor os decompõem – as espécies poderiam ser herbáceas, arbustivas, aquáticas ou arbóreas;
- II. Agrupar as espécies vegetais em estratégias de plantio (*plant strategies*) que, baseados em diferentes técnicas fitorremediadoras, formariam conjuntos capazes de alcançar o máximo de eficiência remediadora para os diferentes poluentes presentes no solo local;
- III. Distribuir os conjuntos vegetais de acordo com a necessidade de remediação de cada porção do terreno, usando como base um sistema de interpolação triangulada com os poços de monitoramento presentes no parque, e levando em consideração a topografia e visuais já existentes;
- IV. Monitoramento e manutenção das espécies e processos.

⁵² Texto original: “In designing and constructing Gas Works Park, Richard Haag advanced the philosophy of post-industrial reuse considerably, including an interdisciplinary approach towards a landscape that has begun, in many ways, to heal itself. However, in order to continue the process initiated by Haag, more remediation is needed. Embellishing existing forms, using vegetation above-ground to signal remediation below-ground, Gas Works Park could embark on the next phase of its remediation...” (MACKAY, 2016, p. 16).

As técnicas de fitorremediação propostas por Mackay (2016, p. 77) a serem utilizadas foram: fitoestabilização, fitoextração, fitovolatilização, rizodegradação e controle hidráulico. Cada um desses mecanismos se aplicaria a um ou mais tipos e profundidades de contaminação e poderiam ser utilizados simultaneamente ou individualmente.

A respeito destas técnicas, a autora faz as seguintes observações, conforme sistematizamos a seguir:

- Foram selecionadas três espécies para fitoextração de metais pesados, especificamente arsênio, do solo;
- Devido à possibilidade de adsorção de arsênio no solo e na água, duas espécies de gramíneas com raízes profundas e resistentes foram escolhidas para aumentar a fitoestabilização oferecida pelas espécies de fitoextração;
- Para realizar o controle hidráulico – isto é, a interceptação de poluentes antes que estes cheguem até as águas subterrâneas ou ao lago Union –, foram definidas espécies que possuem raízes profundas, altas taxas de evapotranspiração e capacidades de degradação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs);
- Os *wetlands* propostos combinam várias espécies conhecidas por possuírem sistemas de raízes superficiais e densas, que aumentam a circulação de oxigênio para as comunidades microbianas associadas perto da costa do parque. Estes sistemas radiculares são excelentes para filtrar sedimentos e capturar partículas, estabilizar contaminantes inorgânicos e auxiliar na promoção de saúde microbiana.

O plano de implementação proposto por Mackay (2016) é composto por quatro fases, conforme ilustram as Figuras 30 e 31:

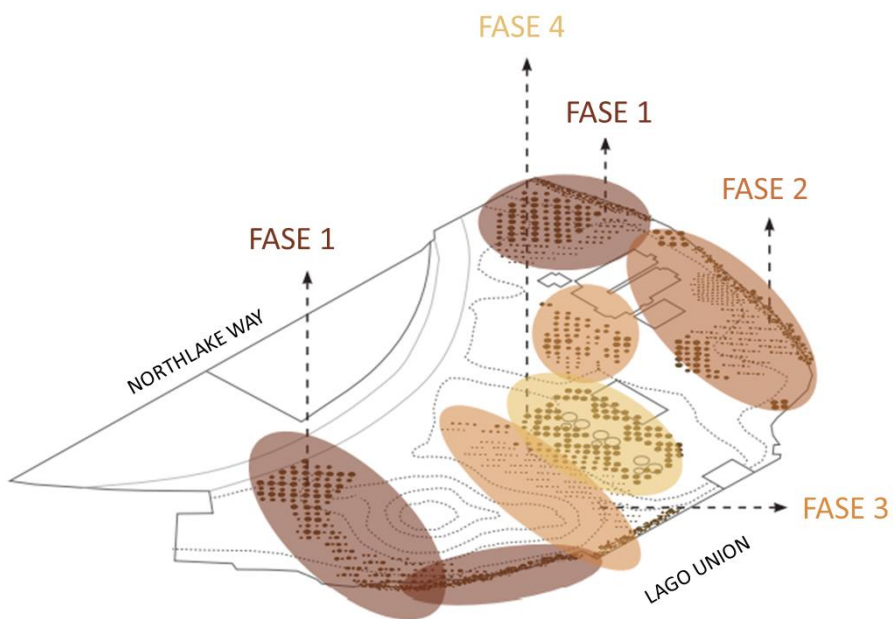


Figura 30 – Proposta de Mackay para fitorremediação do parque Gas Works.
 Fonte: Mackay, 2016, p. 102, trabalhada pela autora.

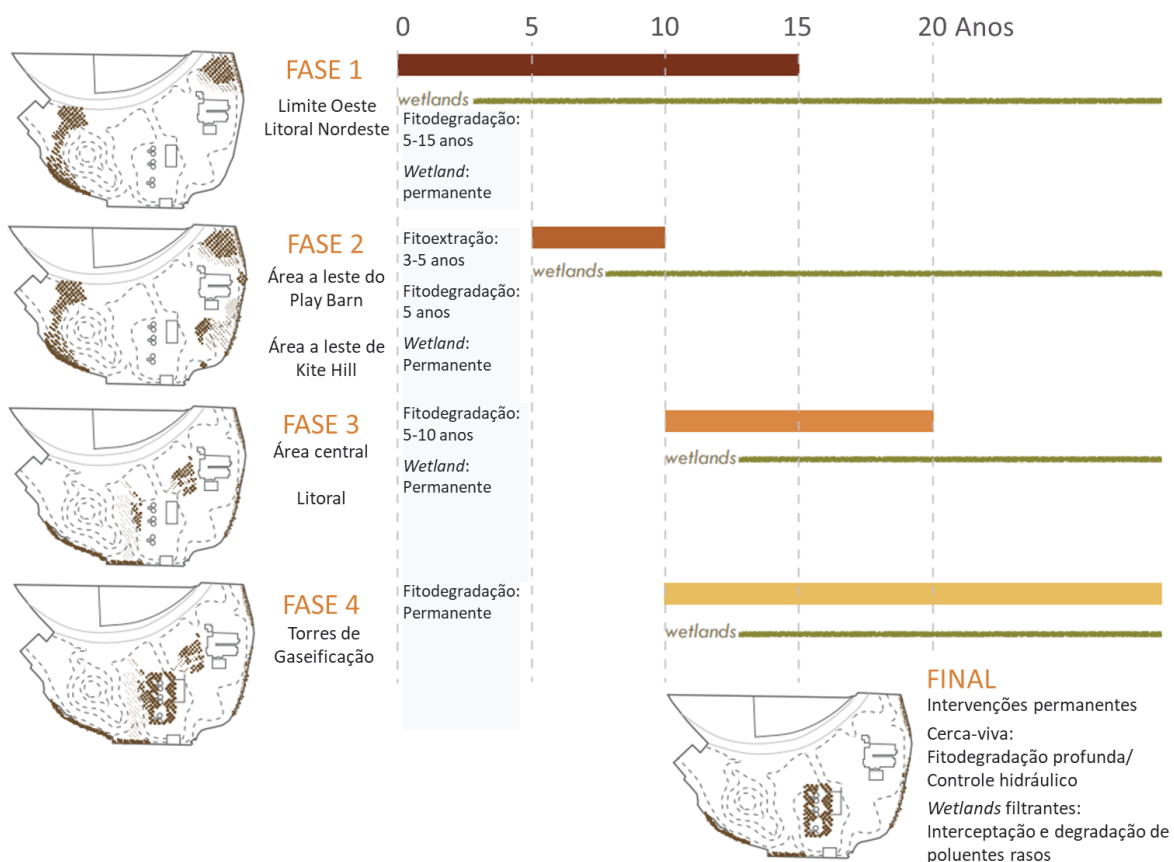


Figura 31 – Proposta de Mackay para fitorremediação do parque Gas Works.
 Fonte: Mackay, 2016, p. 103, trabalhada pela autora.

Mackay (2016) defende que a divisão e o estabelecimento de fases e áreas prioritárias para fitorremediação é uma consideração necessária tanto para os processos em si, quanto para a experiência dos usuários. Algumas das massas vegetais funcionariam como serviços permanentes – atuando na filtragem e interceptação de poluentes –, enquanto a maior parte das intervenções seriam temporárias, com duração estimada de 5 a 20 anos.

Segundo Mackay (2016) dividir as propostas de fitorremediação em fases setorizadas permitiria aprender com os primeiros plantios e adaptar intervenções posteriores, aferindo quais conjuntos vegetais funcionaram melhor para as situações pré-existentes no local. A autora observa, no entanto, que, apesar de escalas de tempo terem sido propostas para cada fase, estas são tão somente uma estimativa pois, apenas o monitoramento constante dos efeitos dos plantios determinaria quanto tempo cada estratégia precisaria permanecer ativa para que ocorresse a remediação total do parque.

4.2 APLICAÇÃO DA PARAMETRIZAÇÃO PROPOSTA E AFERIÇÃO DE RESULTADOS

Utilizaremos, a seguir, a parametrização proposta, conforme apresentada no Capítulo 2, para embasar a análise crítica do estudo de caso e aferir seus resultados, como processo de investigação da metodologia proposta. Com respeito ao parque Gas Works, recorreremos ao Quadro 05, realizado ao final do capítulo mencionado (p. 59). Conforme estabelecido, será aplicado o sistema de classificação de graus de eficiência dos indicadores propostos pela parametrização associados a cores, em moldes semelhantes à proposta da União Internacional para Conservação da Natureza (UICN), que fornece as bases para análise crítica e valoração do estudo de caso. A classificação adotada é a que segue: insuficiente (vermelho), parcial (amarelo), adequado (verde claro) e forte (verde escuro). Apesar de utilizarmos as mesmas cores e nomenclatura predicadas pela UICN, não serão atribuídas notas em forma numérica, como a instituição propõe em seu modelo, uma vez que os resultados esperados são predominantemente qualitativos e não quantitativos. Como anteriormente exposto, esta decisão nos parece compatível com a natureza dos indicadores formulados nesta pesquisa, como proposta embrionária de parametrização para aferição do estudo de caso. Conforme descrito

anteriormente, no Capítulo 2, resume-se novamente os parâmetros qualitativos definidos:

1. Qualificação da Paisagem
2. Incorporação de Processos Educativos
3. Fortalecimento Comunitário
4. Indução de Princípios para Políticas Públicas
5. Eficiência das Técnicas de Fitorremediação como SbN

Para realizar o processo metodológico de análise crítica do estudo de caso e exposição dos seus resultados, o Quadro 05, base, conforme estruturado no Capítulo 2 (p. 59), foi desdobrado em cinco quadros específicos, correspondentes a cada parâmetro qualitativo adotado. Os cinco Parâmetros Qualitativos, por sua vez contemplam uma série de critérios correspondentes, conforme exposto, a seguir, nos Quadros 06 a 10.

Quadro 06 – Parâmetro Qualitativo 1. Qualificação da Paisagem.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
1. Qualificação da paisagem	1.1 Abordar diferentes escalas (local, regional, nacional, internacional)	Cor	Grau de eficiência
	1.2 Promover a regeneração urbana por meio de SbN	Cor	Grau de eficiência
	1.3 Utilizar-se de SbN para incrementar o bem-estar em áreas urbanas	Cor	Grau de eficiência
	1.4 Restaurar, regenerar ou mitigar ecossistemas	Cor	Grau de eficiência

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 07 – Parâmetro Qualitativo 2. Incorporação de Processos Educativos.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
2. Incorporação de Processos Educativos	2.1 Comunicação, treinamento e replicação das SbN	Cor	Grau de eficiência
	2.2 Contribuir para a geração de conhecimentos acerca de SbN	Cor	Grau de eficiência

	2.3 Comunicar a eficácia das SBN à população envolvida em todas as faixas etárias	Cor	Grau de eficiência
	2.4 Associação a institutos ou serviços de educação em vários níveis	Cor	Grau de eficiência

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 08 – Parâmetro Qualitativo 3. Fortalecimento Comunitário.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
3. Fortalecimento Comunitário	3.1 Gerar benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas	Cor	Grau de eficiência
	3.2 Participação de diferentes agentes nas tomadas de decisão; enfoque centrado na comunidade, com participação ativa da população envolvida	Cor	Grau de eficiência
	3.3 Discussão processual para concepção e implantação de projetos, com transparência e com participação de diferentes setores e agentes, de forma a produzir benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa e responsabilidades compartilhadas	Cor	Grau de eficiência

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 09 – Parâmetro Qualitativo 4. Indução de Princípios para Políticas Públicas.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
4. Indução de Princípios para Políticas Públicas	4.1 Reduzir vulnerabilidades das comunidades, promover a biodiversidade e utilização de serviços ecossistêmicos como processo replicável	Cor	Grau de eficiência
	4.2 Promoção de SbN através de processos de comunicação, treinamento como metodologia replicável	Cor	Grau de eficiência
	4.3 Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a geração de conhecimentos acerca SbN como princípios e ações replicáveis	Cor	Grau de eficiência
	4.4 Comunicar a eficácia das SBN a diferentes agentes – mercado, poder público, educadores, organizações não governamentais, cidadãos como metodologia replicável de parcerias	Cor	Grau de eficiência

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 10 – Parâmetro Qualitativo 5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN	5.1 Concluir se houve promoção de SbN através de processos de fitorremediação de modo eficiente	Cor	Grau de eficiência

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.1 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO QUALITATIVO 1. QUALIFICAÇÃO DA PAISAGEM

O primeiro Parâmetro Qualitativo — 1. Qualificação da Paisagem — foi aferido mediante os quatro critérios correspondentes, com respeito à sua aplicação no estudo de caso do parque Gas Works, conforme será descrito a seguir.

1.1 Abordar diferentes escalas (local, regional, nacional, internacional)

A importância do parque Gas Works com respeito à escala regional em que está inserido não é tão significativa, já que Seattle é equipada com diversos espaços livres, alguns com área bastante mais expressiva — como o Washington Park Arboretum UW Botanical Gardens, o Discovery Park e o Woodland Park Zoo — do que o parque Gas Works, e distribuídos regularmente pela malha urbana (Figura 32). Em nossa avaliação, sua escala de utilização cotidiana é predominantemente local. No entanto, o parque contempla, de certo modo, influência mundial pois, é considerado como um exemplo importante de intervenção paisagística em uma área pós-industrial — que acabou abrindo portas para projetos como os parques Duisburg Nord, de Latz + Partners, na Alemanha e Houtan de Turenscape, de Kongjian Yu, na China (WAY, 2013; SATHERLEY, 2016; MACKAY, 2016). Atribuímos a classificação ‘parcial’, correspondente à cor ‘amarela’ para este critério.



Figura 32 – O parque Gas Works (assinalado em vermelho) e as áreas verdes de Seattle.
 Fonte: Seattle Department of Transportation, s. d., trabalhada pela autora.

1.2 Promover a regeneração urbana por meio de SbN

O projeto do parque Gas Works é um exemplo pioneiro de regeneração urbana por meio de Solução baseada na Natureza, pois a premissa de Haag, seu idealizador, foi utilizar-se da capacidade decompositora natural de micro-organismos para realizar a quebra das moléculas dos poluentes, dando início ao processo de remediação do solo local.

Conforme abordado anteriormente, a proposta de remediação de Haag constituiu um processo experimental da técnica, que ficou conhecida como biorremediação (também nomeada como: fitoestimulação, rizodegradação, biodegradação na rizosfera ou degradação assistida por plantas, conforme abordamos no Capítulo 3, deste trabalho). A utilização desta técnica possibilitou

limpeza suficiente do solo para permitir a implantação de um espaço público de grandes proporções – o parque possui cerca de 8 hectares. Entretanto, a recorrência de tratamento, dada sua insuficiência ao longo do tempo, fez com que Mackay (2016) propusesse alternativas mais efetivas para fitorremediação do solo. Desse modo, consideramos correto atribuir a classificação ‘parcial’, mediante a cor ‘amarela’ para o parque conforme se encontra atualmente, a partir do projeto desenvolvido por Haag e a cor ‘verde escura’ para a proposta teorizada por Mackay, o que evidentemente, se fosse alvo de parametrização quantitativa deveria ser mensurado in loco mediante a real aplicação das técnicas.

1.3 Utilizar-se de SbN para incrementar o bem-estar em áreas urbanas

O parque Gas Works, como enunciado, foi construído em uma época em que surgia uma nova demanda por recreação pública ativa na qual os parques existentes em Seattle já haviam atingido saturação de uso (SATHERLEY, 2016). De acordo com o Plano de Participação Pública, publicado em 1997, o parque é utilizado tanto pela população de Willingford — o bairro em que está instalado —, quanto por residentes dos demais bairros que compõem a área metropolitana de Seattle e turistas. A conexão do parque à trilha Burke-Gilman (Figura XX), permite que as pessoas caminhem, corram ou pedalem bicicletas de suas casas até o parque, facilitando o acesso a um maior número de usuários de fora da vizinhança imediata (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997).

Mackay (2016) afirma que a maioria da população usuária tem ciência da contaminação do solo e dos esforços empreendidos para sua mitigação e, mesmo assim, continua a utilizar o local intensamente para uma variedade de atividades (Figura 33).

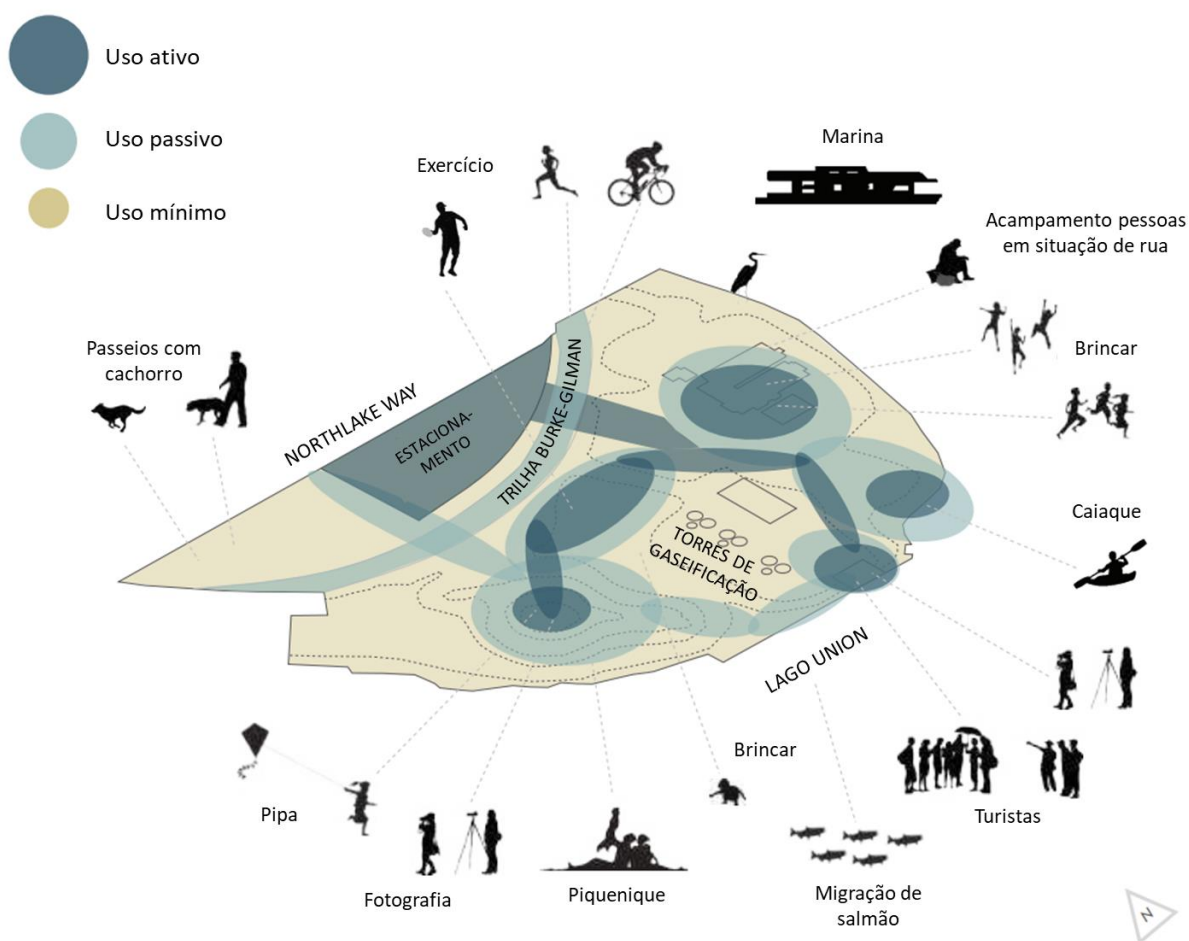


Figura 33 – Ilustração de tipos de uso que ocorrem no parque Gas Works.
Fonte: Mackay, 2016, trabalhada pela autora.

É possível afirmar que a instalação do parque no terreno da antiga fábrica permitiu incrementar o bem-estar da população local ao mesmo tempo em que trabalhos de pesquisa e mitigação do estado do solo e da área costeira do parque são executados, mesmo que isso signifique fechamentos parciais ocasionais de algumas áreas do parque. Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘adequado’, mediante a cor ‘verde clara’ para este critério.

Caso a proposta de fitorremediação de Mackay (2016) seja implementada, seria possível transformar a situação atual de mitigação em um cenário de remediação, o que eliminaria, a longo prazo, qualquer risco para a saúde dos usuários do parque. Para esta hipótese, considera-se correto atribuir também a valoração ‘forte’, mediante a cor ‘verde escura’ para este critério.

1.4 Restaurar, regenerar ou mitigar ecossistemas

Segundo Way (2013), o parque Gas Works foi o primeiro exemplo norte-americano de paisagem pós-industrial transformada em espaço público sem que

fosse feita a troca total do solo contaminado – que teria sido depositado em um aterro, o que apenas mudaria a contaminação de lugar.

A partir deste projeto implantado, iniciou-se a discussão sobre a reutilização adaptativa de locais pós-industriais (WAY, 2013) e a contribuição do Gas Works para esta mudança de paradigma é inquestionável; contudo, a designação, em 1999, como *Landmark* da cidade de Seattle dificulta alterações no projeto original (Satherley, 2016).

Hoje, os processos de manutenção realizados no parque são mais voltados para a mitigação da situação do solo e manutenção da paisagem criada por Haag do que propriamente para sua remediação, o que gerou escapes ocasionais de contaminação ao longo dos anos. A proposta de fitorremediação de Mackay (2016) é mais potente no sentido de eliminar a contaminação a longo prazo, mas teria que ser submetida à análise e aprovação do Conselho de Preservação de Marcos de Seattle (Landmarks Preservation Board) para ser implantada, já que altera a paisagem proposta originalmente por Haag.

Tendo em vista este quadro, considera-se correto atribuir para este critério duas valorações: ‘parcial’, correspondente à cor ‘amarela’ para o parque como está atualmente, e ‘forte’, correspondente à cor ‘verde escura’, caso a proposta de Mackay (2016) fosse implementada.

Como resultados, de acordo com as análises críticas expostas, chegou-se à seguinte classificação qualitativa do Parque Gas Works perante o Parâmetro Qualitativo 1 — Qualificação da Paisagem (Quadro 11):

Quadro 11 – Parâmetro Qualitativo 1. Qualificação da Paisagem no Parque Gas Works.

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
1. Qualificação da paisagem	1.1 Abordar diferentes escalas (local, regional, nacional, internacional)		Parcial
	1.2 Promover a regeneração urbana por meio de SbN		Proposta Haag: Parcial
			Proposta Mackay: Forte
			Proposta Haag:

	1.3 Utilizar-se de SbN para incrementar o bem-estar em áreas urbanas		Adequado
			Proposta Mackay: Forte
	1.4 Restaurar, regenerar ou mitigar ecossistemas		Proposta Haag: Parcial
			Proposta Mackay: Forte

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.2 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO QUALITATIVO 2. INCORPORAÇÃO DE PROCESSOS EDUCATIVOS

O segundo Parâmetro Qualitativo — 2. Incorporação de Processos Educativos — foi aferido mediante os quatro critérios correspondentes, com respeito à sua aplicação no estudo de caso do parque Gas Works, conforme descreve-se a seguir.

2.1 Comunicação, treinamento e replicação das SbN

Relatórios a respeito dos processos de manutenção executados no parque Gas Works são publicados pelo Departamento de Ecologia de Washington e estão disponíveis para consulta *online* no *site* da instituição, bem como são enviados por *e-mail* a quem se cadastrar para recebê-los (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997, 2005). O último relatório disponibilizado no *site* é de março de 2019 (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, s. d.). Contudo, observa-se que os processos de manutenção atualmente realizados no parque, tais como o isolamento de contaminantes sob manta geotêxtil e substituições parciais de solo, não se classificam como SbN.

Nas entrevistas realizadas para o Plano de Participação Pública de 2005, alguns usuários expressaram preocupação com o fato de o público ser leigo no processo de depuração, e afirmaram que os dados técnicos são muito difíceis de compreender (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2005).

O trabalho de Weir (2015), que buscou entender as reações do público perante a ideia de utilizar-se de fitorremediação no parque Gas Works, mostrou que os entrevistados expressaram entusiasmo pela inclusão de um componente com

reverberação educacional no local, e se mostraram interessados em acompanhar os estudos e a implementação dos processos. De acordo com a autora, atrelar informações acerca das estratégias de fitorremediação em curso às discussões sobre a história do parque foi uma ideia popular entre os grupos entrevistados em seu trabalho, o que denota a importância de comunicar aspectos da história do local para os visitantes (WEIR, 2015).

As alternativas de fitorremediação propostas por Mackay (2016) se enquadram como SbN, mas teriam que ser melhor explanadas aos usuários – a autora afirma que a comunicação dos resultados das intervenções fitorremediadoras aos usuários do parque é necessária, mas não cita como ocorreria. Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘parcial, mediante a cor ‘amarela’, para este critério.

2.2 Contribuir para a geração de conhecimentos acerca de SbN

De acordo com Mackay (2016, p. 45), desde os anos 1980, quando uma série de investigações pós-ocupação começaram a ser realizadas no parque, mais de 30 artigos científicos publicados documentaram várias estratégias de monitoramento e seus resultados. A autora aponta a Universidade de Washington – onde o paisagista Richard Haag lecionou – como um dos agentes atuantes no parque nos campos de pesquisa e monitoramento e defende o papel da academia afirmando que:

O papel que estudantes, pesquisadores e acadêmicos em geral desempenham em discussões acerca de espaços controversos, como o parque Gas Works, é o de criar diálogos funcionais e consciência geral com o objetivo de gerar eventual ação [nesses locais]. (MACKAY, 2016, p. 123, tradução nossa).⁵³

Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘forte’, correspondente à cor ‘verde escura’ para este critério.

2.3 Comunicar a eficácia das SBN à população envolvida em todas as faixas etárias

⁵³ Texto original: “The role students, researchers, and academia in general, play in discussions of contentious spaces, like Gas Works Park, is to create a functional dialogue and general awareness aimed towards eventual action.” (MACKAY, 2016, p. 123).

Reuniões e consultas populares são realizadas periodicamente pela direção do parque e contam com a participação de várias associações da comunidade civil (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997) e relatórios a respeito dos processos de manutenção executados no parque Gas Works são publicados pelo Departamento de Ecologia de Washington, conforme mencionado no item 2.1.

O último Plano de Participação Pública, publicado pelo Departamento de Ecologia de Washington em 2005, apontou que a maior parte dos membros da comunidade entrevistados expressou preocupação com a limpeza do solo do local. A parcela dos usuários entrevistados à época estava ciente da contaminação no solo do Gas Works, mas não sabia da contaminação nos sedimentos do Lago Union, lindeiro ao parque (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2005). Reitera-se que os processos de manutenção atualmente realizados no parque não se classificam como SbN, enquanto as alternativas de fitorremediação propostas por Mackay (2016) se enquadram como SbN, mas carecem de um plano mais detalhado acerca de como os resultados destes processos seriam comunicados aos agentes envolvidos com o parque, caso implantadas.

A população infanto-juvenil não é mencionada no último Plano de Participação Pública (2005) mas, na versão de 1997, alguns entrevistados relataram preocupação quanto às possibilidades de contaminação de crianças e animais domésticos que utilizam o parque fora do Play Barn e da Play Area — áreas dedicadas ao uso para recreação infantil e onde o solo contaminado está isolado por uma camada de areia limpa (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997; 2005).

Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘insuficiente’, correspondente à cor ‘vermelha’, para este critério.

2.4 Associação a institutos ou serviços de educação em vários níveis

Além dos relatórios desenvolvidos e publicados pelo Departamento de Ecologia de Washington – mencionados no item 2.1 – e dos trabalhos acadêmicos desenvolvidos a respeito do parque – mencionados no item 2.2 –, material de consulta a respeito da história de descontaminação do local e acerca dos trabalhos

que estão sendo desenvolvidos no parque está disponível em diversas bibliotecas públicas de Seattle (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2005).

Conforme exposto no item 2.2, artigos científicos já publicados documentaram várias estratégias de monitoramento e seus resultados, e a Universidade de Washington é um dos agentes atuantes no parque (MACKAY, 2016). Não foram identificados programas ou iniciativas pedagógicas associados aos ciclos básicos de educação. Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘parcial’, mediante a cor ‘amarela’, para este critério.

Como resultados, de acordo com as análises críticas expostas, chegou-se à seguinte classificação qualitativa do Parque Gas Works perante o Parâmetro Qualitativo 2. — Incorporação de Processos Educativos (Quadro 12):

Quadro 12 – Parâmetro Qualitativo 2. Incorporação de processos educativos no Parque Gas Works

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
2. Incorporação de Processos Educativos	2.1 Comunicação, treinamento e replicação das SbN		Parcial
	2.2 Contribuir para a geração de conhecimentos acerca de SbN		Forte
	2.3 Comunicar a eficácia das SBN à população envolvida em todas as faixas etárias		Insuficiente
	2.4 Associação a institutos ou serviços de educação em vários níveis		Parcial

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.3 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO QUALITATIVO 3. FORTALECIMENTO COMUNITÁRIO

O terceiro Parâmetro Qualitativo — 3. Fortalecimento Comunitário — foi aferido mediante os três critérios correspondentes, com respeito à sua aplicação no estudo de caso do parque Gas Works, conforme descreve-se a seguir.

3.1 Gerar benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas

O Gas Works foi o primeiro exemplo norte-americano de paisagem pós-industrial transformada em espaço público sem que fosse feita a troca total do solo contaminado, como já mencionado, a partir do que iniciou-se a discussão, em

diversas áreas, acerca da reabilitação, remediação e reutilização adaptativa de locais pós-industriais (WAY, 2013).

Conforme a disponibilidade de solo, água e outros recursos se reduzem globalmente, enfrentamos a proliferação de paisagens cujos recursos naturais foram contaminados por atividades humanas. Ao mesmo tempo em que estes locais representam uma ameaça física, fomentam uma discussão cultural acerca da forma como as ações humanas do passado moldaram o presente e como ações presentes irão moldar o futuro, face à crise climática global e à rápida urbanização (MACKAY, 2016).

Não há dados consistentes disponíveis sobre efeitos benéficos perante a crise climática com respeito ao Parque Gas Works. No entanto, mesmo tendo em vista sua escala relativamente pouco expressiva, é possível afirmar que a condição de contaminação do solo e da água e o lançamento de gases na atmosfera, não devidamente solucionada, indica uma situação negativa com respeito ao aquecimento global, sublinhando-se que o exemplo do parque não é único, mas análogo a muitos territórios industriais contaminados que se transformaram em parques.

Considera-se, portanto, que a situação atual do parque Gas Works possa ser classificada como 'insuficiente', cuja cor correspondente é a 'vermelha' e, caso as técnicas propostas por Mackay fossem implementadas e levadas a bom termo na descontaminação do solo e da água, seria correto atribuir a classificação 'forte', cuja correspondente é a cor 'verde escuro'.

3.2 Participação de diferentes agentes nas tomadas de decisão; enfoque centrado na comunidade, com participação ativa da população envolvida

Após compromissos firmados em 1984 entre o Departamento de Ecologia do Estado de Washington, a cidade de Seattle e a Puget Sound Energy (anteriormente Seattle Gas Light Company), reuniões e consultas populares são realizadas periodicamente pela direção do parque, e contam com a participação de várias associações da comunidade civil – tais como Wallingford Community Council, Fremont Chamber of Commerce, Seattle King County Health Department, Friends of Gas Works Park, dentre outros (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997).

Mackay (2016) afirma que os grupos de usuários do parque são heterogêneos, com variedade grande de idades e locais de residência, embora predominantemente sejam de classe média-alta, com altos índices de educação e brancos. Algumas áreas do parque, como o Play Barn e as áreas de churrasco, foram apropriadas como abrigo por pessoas em situação de rua, cuja presença representa um consistente contingente do grupo de usuários diários do parque (MACKAY, 2016). Nenhum dos dois Planos de Participação Pública (1997, 2005) trata deste grupo em específico. Desse modo, consideramos correto atribuir a valoração 'parcial', mediante a cor 'amarela', para este critério.

3.3 Discussão processual para concepção e implantação de projetos, com transparência e com participação de diferentes setores e agentes, de forma a produzir benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa e responsabilidades compartilhadas

A respeito do compromisso de manutenção e continuidade dos trabalhos de remediação, Mackay (2016) aponta que:

[...] a Agência de Proteção Ambiental (EPA) concordou em deixar o parque fora da Lista de Prioridades Nacionais⁵⁴ se o Departamento de Ecologia do Estado de Washington, a cidade de Seattle e a Puget Sound Energy (anteriormente Seattle Gas Light Company) cumprissem um contrato que atendesse aos requisitos de monitoramento e mitigação necessários. (MACKAY, 2016, p. 40, tradução nossa).⁵⁵

Conforme citado no item 3.2, após os compromissos firmados entre os agentes públicos e a Puget Sound Energy, periodicamente reuniões e consultas populares são realizadas pela direção do parque, contando com a participação de várias associações da comunidade civil (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997).

⁵⁴ A Lista de Prioridades Nacionais, ou *National Priorities List* (NPL), é uma rol de itens elaborado pela EPA que elenca locais sabidamente contaminados em todos os Estados Unidos e seus territórios e destina-se, principalmente, a orientar a instituição na determinação de quais locais justificam investigações mais aprofundadas (EPA, [s. d.]). A NPL é uma ferramenta de informação e monitoramento que permite à EPA cobrar ações (corretivas, compensatórias, etc.) das partes envolvidas, com o objetivo final de eliminar a contaminação nos locais listados.

⁵⁵ Texto original: “[...] the Environmental Protection Agency agreed to keep the site off of the Superfund National Priorities List if Washington State Department of Ecology, the City of Seattle and Puget Sound Energy (formerly Seattle Gas Light Company) agreed to a contract that complied with monitoring and mitigation requirements.” (MACKAY, 2016, p. 40).

A versão mais atual do Plano de Participação Pública, de 2005, elenca os principais mecanismos utilizados pelo Departamento de Ecologia do Estado de Washington para ouvir os grupos organizados e a população em geral, tais como: caixas de sugestões públicas instaladas no parque, para sugestões realizadas de forma escrita, durante períodos específicos e pré-determinados; reuniões e audiências públicas; lista de mala direta com relatórios técnicos sobre o progresso das atividades de manutenção do parque; e material de consulta a respeito da história do local e dos trabalhos que estão sendo desenvolvidos no parque, disponível em bibliotecas públicas de Seattle (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 2005).

Desse modo, ainda que o processo inicial do projeto não tenha sido participativo, a manutenção atual do parque procura informar e ouvir os usuários regularmente. Conforme mencionado no item 3.2, algumas áreas do parque, como o Play Barn e as áreas de churrasco, são utilizadas como abrigo por pessoas em situação de rua (MACKAY, 2016) e nenhum dos dois Planos de Participação Pública (1997, 2005) trata deste grupo em específico. Assim, considera-se correto atribuir a valoração 'parcial', correspondente à cor 'amarela', para este critério.

Como resultados, de acordo com as análises críticas expostas, chegou-se à seguinte classificação qualitativa do Parque Gas Works perante o Parâmetro Qualitativo 3. — Fortalecimento Comunitário (Quadro 13):

Quadro 13 – Parâmetro Qualitativo 3. Fortalecimento Comunitário no Parque Gas Works

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO
3. Fortalecimento Comunitário	3.1 Gerar benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas	Proposta Haag: Insuficiente
		Proposta Mackay: Forte
	3.2 Participação de diferentes agentes nas tomadas de decisão; enfoque centrado na comunidade, com participação ativa da população envolvida	Parcial
	3.3 Discussão processual para concepção e implantação de projetos, com transparência e com participação de diferentes setores e agentes, de forma a produzir benefícios para a	Parcial

	sociedade de forma justa e equitativa e responsabilidades compartilhadas		
--	--------------------------------------------------------------------------	--	--

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.4 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO QUALITATIVO 4. INCORPORAÇÃO DE PROCESSOS EDUCATIVOS

O quarto Parâmetro Qualitativo — 4. Incorporação de Processos Educativos — foi aferido mediante os quatro critérios correspondentes, com respeito à sua aplicação no estudo de caso do parque Gas Works, conforme descreve-se a seguir.

4.1 Reduzir vulnerabilidades das comunidades, promover a biodiversidade e utilização de serviços ecossistêmicos como processo replicável

Através de técnicas de biorremediação, o terreno do parque foi suficientemente limpo e gramado, e tornou-se utilizável novamente (WAY, 2013). A população ainda está sujeita a entrar em contato com poluentes, contudo o único risco significativo para sua saúde resultaria de comer, beber ou respirar materiais contaminados por um longo período. Tanto o solo do parque quanto as margens lindeiras ao lago Union ainda possuem alguma contaminação, o que pode impactar o desenvolvimento de determinadas espécies animais. Segundo Mackay (2016):

A proximidade de poluentes à água em muitas áreas do parque é a ameaça mais imediata, pois representa riscos tanto para humanos como para a ecologia lacustre do lago Union, incluindo salmões jovens [que passam pelo local no período de migração]. Foi constatado que estes poluentes podem mover-se de maneira relativamente fácil quando suspensos em água, o que os torna uma ameaça aos corpos d'água conectados ao lago Union [...] (MACKAY, 2016, p. 62, tradução nossa).⁵⁶

A implementação da proposta de fitorremediação de Mackay (2016) eliminaria, a longo prazo, a contaminação do solo e das margens do lago, o que, por consequência, também eliminaria os riscos que a contaminação atualmente oferece para a saúde dos usuários do parque. Desse modo, consideramos correto atribuir para este critério duas valorações: ‘parcial’, correspondente à cor ‘amarela’,

⁵⁶ Texto original: “The proximity of harmful pollutants to water in many areas of the park represents the most immediate threat as it poses risks for humans and the lacustrine ecology of Lake Union, including juvenile salmon. These pollutants have also been shown to travel relatively easily, suspended in water, making them a threat to water bodies connected to Lake Union [...]” (MACKAY, 2016, p. 62).

para o parque na situação atual, e 'forte', correspondente à cor 'verde escura', caso a proposta de Mackay (2016) fosse implementada.

4.2 Promoção de SbN através de processos de comunicação, treinamento como metodologia replicável

Conforme já mencionado, a experiência do parque Gas Works foi pioneira e deu início a discussões e pesquisas acerca da recuperação e reutilização de áreas pós-industriais, mudando a forma de relacionamento com estes locais. O projeto do parque Gas Works é mundialmente utilizado como exemplo de intervenção paisagística em uma área pós-industrial, e foi replicado ou utilizado como referência para outros projetos de remediação – como os parques Duisburg Nord, de Latz + Partners, na Alemanha e Houtan de Turenscape, de Kongjian Yu, na China (WAY, 2013; SATHERLEY, 2016; MACKAY, 2016)

A mudança de paradigma causada por esta nova visão acerca do uso de antigas áreas industriais levou, nas últimas três décadas, teóricos da paisagem, *designers* e cientistas a estudar a contaminação presente nestes locais de forma mais crítica em termos de remediação efetiva, e as técnicas de fitorremediação e de monitoramento evoluíram desde a época em que o parque Gas Works foi construído. Conforme exposto nos itens 2.2 e 2.4, diversos textos científicos a respeito do parque foram publicados e a Universidade de Washington é um dos agentes atualmente atuantes no parque (MACKAY, 2016). Desse modo, consideramos correto atribuir a valoração 'adequado', mediante a cor 'verde claro', para este critério.

4.3 Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a geração de conhecimentos acerca SbN como princípios e ações replicáveis

Após os compromissos firmados entre Ecologia do Estado de Washington, a cidade de Seattle e a Puget Sound Energy, conforme já mencionado, a Agência de Proteção Ambiental (EPA) concordou em deixar o Parque Gas Works fora da lista de Superfundo de Prioridades Nacionais e as sanções associadas, se um contrato que atendesse aos requisitos de monitoramento e mitigação necessários fosse cumprido por estes agentes. (MACKAY, 2016). De acordo com Satherley (2013), o Departamento de Parques Municipais de Seattle monitora o solo do parque regularmente. Mackay (2016) afirma que, desde a década de 1980 até os

dias atuais, uma série de perfurações para sondagem e poços de monitoramento foram executados para a realização de testes no solo e nas águas subterrâneas do parque (Figura 34).

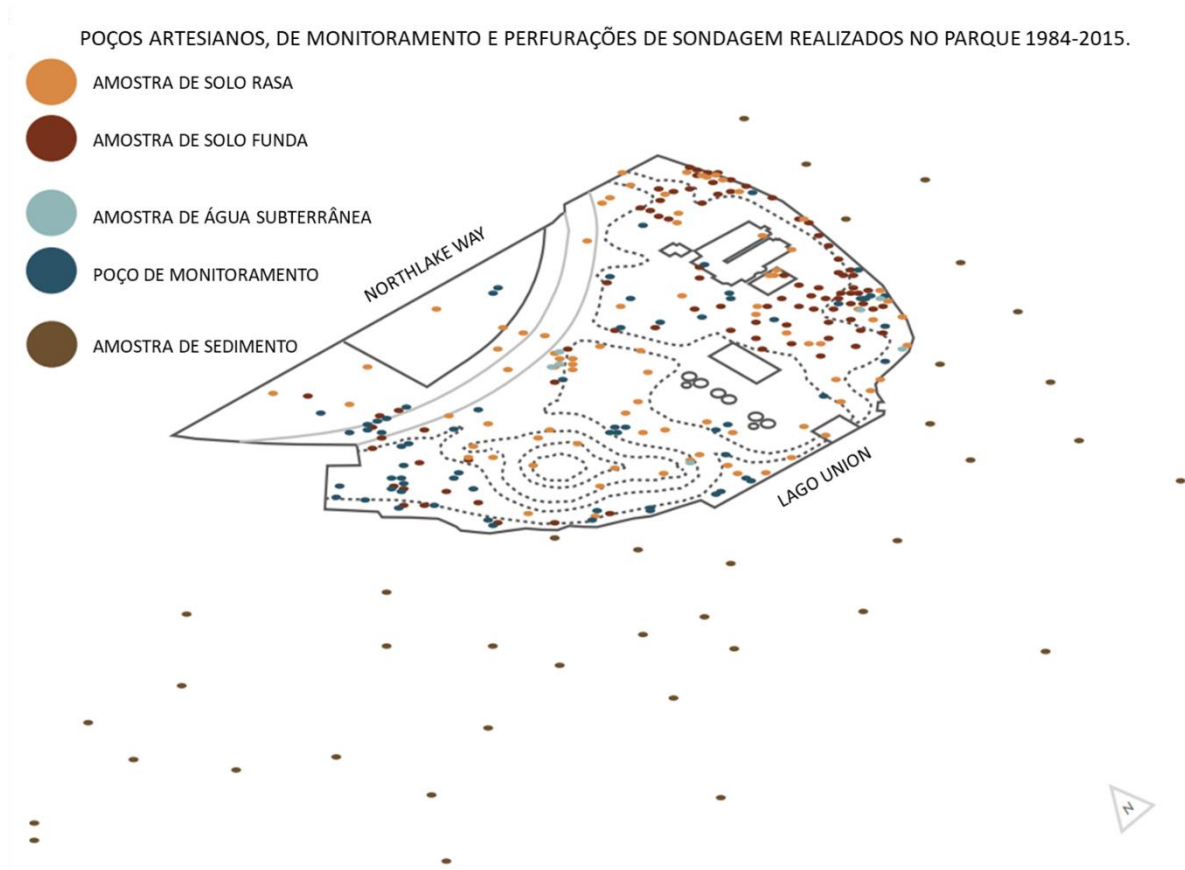


Figura 34 – Localização dos poços artesianos, de monitoramento e perfurações de sondagem realizados no parque entre 1984 e 2015. Fonte: Mackay, 2016, trabalhada pela autora.

Inicialmente, os processos de manutenção ambiental eram realizados pela Puget Sound Energy e pela prefeitura de Seattle, responsáveis pelo parque. Contudo, um Acordo de Compensação firmado pelas partes, em outubro de 2012, tornou apenas Puget Sound Energy responsável por dirigir as investigações e ações de manutenção e remediação restantes (GEOENGINEERS, 2013). Um Plano de Ação foi solicitado pela prefeitura em 2013, para identificar a extensão da contaminação ainda presente e traçar estratégias de ação para sua correção (GEOENGINEERS, 2013; MACKAY, 2016). O Plano de Ação passou por uma revisão em 2017 e começou a ser implementado em 2018, com previsão de término para 2022 (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, s. d.).

A partir desses fatos, é possível afirmar que existe monitoramento e ações de mitigação da contaminação constantes no parque; contudo, conforme exposto, os processos de manutenção atualmente realizados no parque Gas Works não se

classificam como SbN. A implementação das alternativas de fitorremediação propostas por Mackay (2016), classificadas como SbN, acarretariam, segundo a autora, no aumento da necessidade de monitoramento, tratamento e manutenção além das ações atuais, o que teria que ser acordado com os agentes envolvidos (notadamente a Puget Sound Energy, atual responsável pela reabilitação ambiental do parque).

Desse modo, consideramos correto atribuir para este critério duas valorações: 'parcial', correspondente à cor 'amarela', para o parque na situação atual, e 'adequado', correspondente à cor 'verde clara', caso a proposta de Mackay (2016) fosse implementada.

4.4 Comunicar a eficácia das SBN a diferentes agentes – mercado, poder público, educadores, organizações não governamentais, cidadãos como metodologia replicável de parcerias

Conforme mencionado anteriormente, reuniões e consultas populares são realizadas periodicamente pela direção do parque, e contam com a participação de agentes públicos e várias associações da comunidade civil (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997). Segundo Mackay (2016), os principais agentes atuantes no parque são:

- a Puget Sound Energy;
- a Agência de Proteção Ambiental (EPA);
- o Departamento de Ecologia de Washington;
- a Prefeitura de Seattle;
- a Secretaria de Parque e Recreação de Seattle;
- a Secretaria de Serviços Públicos de Seattle;
- a Universidade de Washington;
- o escritório de arquitetura Richard Haag Associates;
- a associação civil Friends of Gas Works Park;
- os usuários do parque.

Os Planos de Participação Pública não mencionam parcerias com escolas de ensino básico, fundamental e médio ou empresas (WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY, 1997, 2005). Reitera-se, novamente, que os processos de manutenção atualmente realizados no parque Gas Works não se classificam como SbN, enquanto que as alternativas de fitorremediação propostas

por Mackay (2016) sim. Desse modo, considera-se correto atribuir a valoração ‘parcial’, mediante a cor ‘amarela’, para este critério.

Como resultados, de acordo com as análises críticas expostas, chegou-se à seguinte classificação qualitativa do Parque Gas Works perante o parâmetro qualitativo 4. Indução de Princípios para Políticas Públicas (Quadro 14):

Quadro 14 – Parâmetro Qualitativo 4. Indução de princípios para políticas públicas no Parque Gas Works

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO	
4. Indução de Princípios para Políticas Públicas	4.1 Reduzir vulnerabilidades das comunidades, promover a biodiversidade e utilização de serviços ecossistêmicos como processo replicável		Proposta Haag: Insuficiente
			Proposta Mackay: Forte
	4.2 Promoção de SbN através de processos de comunicação, treinamento como metodologia replicável		Adequado
	4.3 Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a geração de conhecimentos acerca SbN como princípios e ações replicáveis		Proposta Haag: Parcial
			Proposta Mackay: Adequado
4.4 Comunicar a eficácia das SBN a diferentes agentes – mercado, poder público, educadores, organizações não governamentais, cidadãos como metodologia replicável de parcerias		Parcial	

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2.5 APLICAÇÃO DO PARÂMETRO QUALITATIVO 5. EFICIÊNCIA DAS TÉCNICAS DE FITORREMEDIAÇÃO COMO SBN

O quinto Parâmetro Qualitativo — 5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN — foi aferido mediante o único critério correspondente, com respeito à sua aplicação no estudo de caso do parque Gas Works, conforme descreve-se a seguir.

5.1 Concluir se houve promoção de SbN através de processos de fitorremediação de modo eficiente

O Gas Works é uma proposta incipiente de fitorremediação. Apesar de não ter conseguido eliminar completamente os poluentes do terreno, a proposta de Haag em utilizar-se de técnicas experimentais de biofitorremediação para tratar o solo *in situ* significou uma mudança de paradigma, alterando a maneira como as pessoas se relacionam com paisagens contaminadas pela indústria e deu início a discussões e pesquisas acerca da recuperação e reutilização de áreas pós-industriais, além de servir de modelo para outros projetos. Contudo, o foco principal do projeto foi tornar o terreno suficientemente limpo para receber o programa do parque – o objetivo sempre foi o uso em si, não o processo de remediação.

Mackay (2016) afirma que o próximo passo do projeto do parque Gas Works seria a implantação de conjuntos vegetais compostos por diferentes espécies fitorremediadoras, de maneira tal que o desenho desses extratos vegetais respeitasse e valorizasse as formas que Haag projetou para o parque. As plantas agiriam nas áreas de maior contaminação sem prejudicar a aparência icônica e, principalmente, o desfrute da paisagem. Desse modo, a proposta de Mackay (2016) é utilizar-se de processos mais potentes de fitorremediação – portanto, SbN – para continuar o processo de limpeza do solo e da costa lindeira do parque iniciado por Haag nos anos 70, de forma a não somente permitir o uso humano da área como parque, mas de, efetivamente, descontaminá-la para todos que compõem seu ecossistema.

Considera-se, portanto, correto atribuir para este critério duas valorações: ‘parcial’, correspondente à cor ‘amarela’, para o parque como está atualmente, e ‘forte’, correspondente à cor ‘verde escura’, caso a proposta de Mackay (2016) fosse implementada.

Como resultado, de acordo com a análise crítica exposta, chegou-se à seguinte classificação qualitativa do Parque Gas Works perante o Parâmetro Qualitativo 5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN (Quadro 15):

Quadro 15 – Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN no Parque Gas Works

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE	RESULTADO
5. Eficiência das técnicas de		Proposta Haag: Insuficiente

fitorremediação como SbN	5.1 Concluir se houve promoção de SbN através de processos de fitorremediação de modo eficiente		Proposta Mackay: Forte
--------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	---------------------------

Fonte: Elaborado pela autora.

A seguir apresenta-se o Quadro 16 com o resumo da análise paramétrica realizada.

Quadro 16 – Quadro-resumo da análise paramétrica

PARÂMETROS QUALITATIVOS	CRITÉRIO CORRESPONDENTE		RESULTADO
1. Qualificação da paisagem	1.1 Abordar diferentes escalas (local, regional, nacional, internacional)		Parcial
	1.2 Promover a regeneração urbana por meio de SbN		Proposta Haag: Parcial
			Proposta Mackay: Forte
	1.3 Utilizar-se de SbN para incrementar o bem-estar em áreas urbanas		Proposta Haag: Adequado
			Proposta Mackay: Forte
1.4 Restaurar, regenerar ou mitigar ecossistemas		Proposta Haag: Parcial	
		Proposta Mackay: Forte	
2. Incorporação de Processos Educativos	2.1 Comunicação, treinamento e replicação das SbN		Parcial
	2.2 Contribuir para a geração de conhecimentos acerca de SbN		Forte
	2.3 Comunicar a eficácia das SBN à população envolvida em todas as faixas etárias		Insuficiente
	2.4 Associação a institutos ou serviços de educação em vários níveis		Parcial
3. Fortalecimento Comunitário	3.1 Gerar benefícios sociais no contexto da adaptação às mudanças climáticas		Proposta Haag: Insuficiente
			Proposta Mackay: Forte
	3.2 Participação de diferentes agentes nas tomadas de decisão; enfoque centrado na comunidade, com		Parcial

	participação ativa da população envolvida		
	3.3 Discussão processual para concepção e implantação de projetos, com transparência e com participação de diferentes setores e agentes, de forma a produzir benefícios para a sociedade de forma justa e equitativa e responsabilidades compartilhadas		Parcial
4. Indução de Princípios para Políticas Públicas	4.1 Reduzir vulnerabilidades das comunidades, promover a biodiversidade e utilização de serviços ecossistêmicos como processo replicável		Proposta Haag: Insuficiente
	4.2 Promoção de SbN através de processos de comunicação, treinamento como metodologia replicável		Proposta Mackay: Forte
	4.3 Desenvolver esquemas de monitoramento e contribuir para a geração de conhecimentos acerca SbN como princípios e ações replicáveis		Adequado
	4.4 Comunicar a eficácia das SBN a diferentes agentes – mercado, poder público, educadores, organizações não governamentais, cidadãos como metodologia replicável de parcerias		Proposta Haag: Parcial
			Proposta Mackay: Adequado
			Parcial
5. Eficiência das técnicas de fitorremediação como SbN	5.1 Concluir se houve promoção de SbN através de processos de fitorremediação de modo eficiente		Proposta Haag: Insuficiente
			Proposta Mackay: Forte

Fonte: Elaborado pela autora.

CONCLUSÕES

Esta Pesquisa partiu da premissa de que, diante das intensas agressões ambientais que marcam nossa época, é impreterível que haja reflexão acerca da atual relação homem-natureza. Acreditamos, tal qual predicado por Luiz Marques (2015), que a primeira condição para enfrentar as crises ambientais é tornar sua resolução a principal meta a ser atingida pela humanidade.

A partir da fundamentação teórica realizada, foi possível inferir que a busca por sustentabilidade em um sistema capitalista seja, de fato, um paradoxo – isto porque quanto mais as cidades crescem e se desenvolvem nos padrões de urbanização atuais, maiores são os impactos ambientais que elas causam e, a extração, produção, consumo e descarte de bens no atual parâmetro da modernidade industrial não se sustenta. Atingir equilíbrio socioambiental implica em mudanças estruturais em diversos aspectos socioeconômicos, culturais e civilizatórios, mudanças estas urgentes e de longo prazo. Uma das estratégias relativamente recentes, discutidas internacionalmente, é a adoção de Soluções baseadas na Natureza (SbN), tais como a fitorremediação, escopo deste trabalho.

Reconhecendo a crise socioambiental global em moldes de processos capitalistas, a ONU e a UICN têm predicado que seja possível – e necessário – diminuir os impactos ambientais causados pelo ser humano a nível mundial e mitigar os resultados negativos gerados através de procedimentos de baixo impacto, de resiliência e que apontem para estratégias de sustentabilidade, embora os compromissos destas instituições internacionais apresente paradoxos, uma vez que propõem pactos relativos ao equilíbrio ambiental sem discutir o progresso econômico.

A amplitude e complexidade da atual crise socioambiental supera o âmbito e propósitos desta Pesquisa; contudo, pretendeu-se contribuir para a discussão em curso acerca da adoção de SbN com uma reflexão a respeito da utilização da fitorremediação como uma destas soluções.

A partir da consideração de diferentes técnicas de fitorremediação elegeu-se o estudo de caso relacionado à remediação de solos. Para a configuração de metodologia avaliativa, constituiu-se um rol de critérios de parametrização orientados pelas recomendações de Soluções baseadas na Natureza e da Agenda

2030, a partir do qual foi possível circunstanciar a análise do estudo de caso — o parque Gas Works — perante parâmetros qualitativos indicativos.

Como resultado da análise paramétrica realizada tem-se que, apesar de serem considerados como fitorremediação, os processos de biofitorremediação que Haag — o arquiteto que agenciou o Parque Gas Works, durante os anos de 1970 —, estes não foram suficientes para tornar o terreno do parque completamente livre de contaminação. Uma série de questões burocráticas — tais como mudanças na legislação ambiental, disputas acerca de quem ficaria responsável pela descontaminação do local e, por fim, a nomeação como *Historical Landmark*, no fim dos anos 1990 — fez com que o processo de biofitorremediação proposto por Haag fosse, aos poucos, abandonado, de tal modo que os processos de manutenção que são atualmente realizados no parque Gas Works não se classificam como SbN.

Por outro lado, as alternativas teóricas de fitorremediação propostas por Mackay (2016) puderam ser classificadas como SbN, e a implantação do projeto proposto por esta autora tornaria possível transformar a situação atual, de simples mitigação da saúde do solo local, em um cenário de remediação efetiva que eliminaria, a longo prazo, qualquer risco para a saúde dos usuários do parque — o que significaria, por consequência, a redução de impactos ambientais.

Admitindo que agressões ambientais têm consequências globais, ainda que possam ocorrer localmente, apoiamo-nos no pensamento de L. Marques (2015), que defende que, “embora a sustentabilidade ambiental exija uma sociedade alternativa ao capitalismo, isto não exclui gradualismos e mediações políticas próprias à realidade presente”, e de Gudynas (2019), que afirma que o reconhecimento dos direitos da Natureza — isto é, enxergar a Natureza como um sujeito e não como um objeto — seja o primeiro passo em direção à necessária mudança de paradigma na relação homem-natureza.

Consideramos que o modelo de parametrização proposto por esta pesquisa pode ser aperfeiçoado para replicabilidade em outros estudos, de forma a aferir qualitativamente aspectos de outros projetos e situações, e contribuir para a discussão de futuras ações concretas, processos pedagógicos, estratégias de

ações comunitárias, qualificação da paisagem e políticas públicas, dirigidos à mitigação ou superação de impactos ambientais.

Entendemos que o processo de mudança seja lento, mas buscou-se contribuir para a premissa de que a adoção de medidas e procedimentos de baixo impacto e de resiliência, que apontem para estratégias de sustentabilidade em nível local, regional ou territorial – tais como a adoção de processos de fitorremediação – seja capaz de, pouco a pouco, transformar pensamentos e paradigmas insustentáveis enraizados na sociedade atual.

REFERÊNCIAS

ALIER MARTINEZ, J. **Da Economia Ecológica ao Ecologismo Popular**. Blumenau: Ed. Da Furb, 1998.

ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **RevSbau – Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.6, n.3, p.172-188, 2011.

BRASIL. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO FUNDAMENTAL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (1ª. a 4ª. séries): meio ambiente, saúde**. 127 p. Brasília: Secretaria de Educação Fundamental, 1997.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: The World Commission on Environment and Development**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CABRAL, M. Soluções Baseadas na Natureza. **Página 22_ON**, p. 1-23, dez 2017. São Paulo: FGV-EAESP Centro de Estudos em Sustentabilidade. Disponível em: <P22ON_DEZEMBRO-2017-edfinal.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Instrumentos de planejamento, licenciamento e gestão ambiental no estado de São Paulo: caderno de apoio para profissionais / CETESB, SIMA, CAU/SP; Organizadores Eduardo Trani, Mirtes Maria Luciani; Coordenação técnica José Ronal Moura de Santa Inez; Colaboradores José Valverde Machado Filho ... [et al.]. – 1.ed. - São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>>. Acesso em: 18 ago. 2021.**

CITYADAPT. Reconnecting cities with nature. **What is CityAdapt?** Página inicial, c2021. Disponível em: <<https://cityadapt.com/en>>. Acesso em: 08 jul. 2021.

_____. Reconnectando ciudades con la naturaleza. **Qué califica como Sbn?** Página inicial, c2021a. Disponível em: <<https://cityadapt.com/cityadapt/que-son-sbn-en-ciudades/>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

_____. Reconnecting cities with nature. Nature-based Solutions (NbS) in Latin America and Caribbean cities. **Methodology: NbS exploration, identification, implementation, monitoring and evaluation**. CityAdapt, UN environment programme, GEF, c2021b. Disponível em: <<https://cityadapt.com/en/methodology/>>. Acesso em 21 jul. 2021.

COHEN-SHACHAM, E.; WALTERS, G.; JANZEN, C.; MAGINNIS, S. (Eds.) **Nature-based Solutions to address global societal challenges**. Gland, Switzerland: IUCN, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>. Acesso em: 15 jun. 2020.

DICIONÁRIO AURÉLIO DA LÍNGUA PORTUGUESA. 5ª edição. Curitiba: Positivo Soluções Didáticas LTDA, 2010.

DILTZ, C. **Postcards from the Past is an occasional feature, highlighting the history of the Pacific Northwest.** The Seattle Times archive, 2015. Disponível em: < <https://www.seattletimes.com/photo-video/photography/postcards-from-the-past-gas-works-parks-transformation/>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

DORPAT, P.; SHERRARD, J. **Seattle now & then: Gas Works Park – a Haag landscape.** 2015. Disponível em: <<https://pauldorpat.com/2015/12/12/seattle-now-then-gas-works-park-a-haag-landscape/>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & re-naturing cities. Final report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities' (full version).** Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2015. Disponível em: <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202/language-en>>. Acesso em 20 jul. 2021.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Delivering the European Green Deal.** [s.d.]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en#transforming-our-economy-and-societies>. Acesso em: 28 jul. 2021.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Nature-based Solutions research policy.** [s. d.]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy_en>. Acesso em: 08 jul. 2021.

EC. EUROPEAN COMMISSION. **Nature-based Solutions.** [s. d.]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ECYCLE. **Consuma Consciência. Entenda o que é lixiviação,** c2021. Disponível em: < <https://www.ecycle.com.br/lixiviacao/>>. Acesso em: 18 out. 2021.

EEA. European Environment Agency. **Nature-based solutions in Europe: Policy, knowledge and practice for climate change adaptation and disaster risk reduction.** Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2021.

EISENHARDT, K. M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review.** New York, New York, v. 14, n. 4, 1989.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Overview of EPA's Brownfields Program,** c2021. Disponível em: <<https://www.epa.gov/brownfields/overview-epas-brownfields-program>>. Acesso em: 11 de ago. de 2021.

____. **Basic NPL Information.** [s. d.]. Disponível em: <<https://www.epa.gov/superfund/basic-npl-information>>. Acesso em: 15 dez. 2021.

ESKANDER, S. D.; SALEH, H. M. Phytoremediation: An overview. **Soil Pollution and Phytoremediation**, v. 11, 2015, p. 124-161.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1988. 574p.

EU. EUROPEAN UNION. **European Commission overview**. 07 maio 2020. Disponível em: <https://europa.eu/european-union/about-eu/institutions-bodies/european-commission_en>. Acesso em: 08 jul. 2021.

FAIVRE, N.; FRITZ, T. F.; BOISSEZON, B.; VANDEWOESTIJNE, S. Nature-Based Solutions in the EU: innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. **Environmental Research Journal**, 150, p. 509-518, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117316080>>. Acesso em: 20 jul. 2021.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Free Prior and Informed Consent** - An indigenous peoples' right and a good practice for local communities. Manual por Project Practitioners. Primeira edição, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i6190e/i6190e.pdf>>. Acesso em: 20 jul 2021.

FRAGA, R. G. **Soluções baseadas na Natureza**: elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, da Universidade de Brasília, 2020.

GALBIATI, A. F. **Tratamento Domiciliar de Águas Negras Através de Tanque de Evapotranspiração**. 2009. 52p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande- MS, 2009.

GEOENGINEERS. **Supplemental Investigation Work Plan - Gas Works Park Site**. Mar. 2013. Disponível em: <<https://apps.ecology.wa.gov/gsp/DocViewer.ashx?did=19145>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

_____. **Play Area Groundwater Treatment Interim Action Work Plan - Gas Works Park Site**. Ago. 2017. Disponível em: <<https://apps.ecology.wa.gov/gsp/DocViewer.ashx?did=68899>>. Acesso em: 21 dez. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDEN, H. **Gas Works Park is a beautiful way to remember a toxic past** - How a groundbreaking cleanup transformed a former gas plant and created one of Seattle's most beloved parks. Curbed Seattle, 2019. Disponível em: <<https://seattle.curbed.com/2019/4/12/18306264/gas-works-park-environmental-history>>. Acesso em: 23 dez. 2021.

GRZEGÓRSKA, A.; RYBARCZYK, P.; ROGALA, A.; ZABROCKI, D. Phytoremediation - From Environment Cleaning to Energy Generation - Current Status and Future Perspectives. **Energies**. 2020, 13, 2905. <https://doi.org/10.3390/en13112905>

HERZOG, C. P.; ROZADO, C. A. **Diálogo setorial UE-Brasil sobre Soluções baseadas na Natureza**. Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. Comissão Europeia Direção-Geral da Investigação e da Inovação. Luxemburgo: Serviço das Publicações da União Europeia, 2019. Disponível em: <https://www.academia.edu/42655659/Solu%C3%A7%C3%B5es_baseadas_na_Natureza_Brasil_Europa>. Acesso em: 20 jul, 2021.

IGBP. INTERNATIONAL GEOESPHERE-BIOSPHERE PROGRAMME. **Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure - Executive Summary**. 2004. Disponível em: <http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/1376383137895/IGBP_ExecSummary_eng.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

_____. **Great Acceleration**. c2015. Disponível em: <<http://www.igbp.net/globalchange/greatacceleration.4.1b8ae20512db692f2a68001630.html>>. Acesso em: 14 out. 2021.

IUCN. **Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS**. Primeira edição. Gland, Suíça: IUCN, 2020.

_____. **International Union for Conservation of Nature (IUCN)**. About, c2021. Disponível em: <<https://www.iucn.org/about>>. Acesso em: 08 jul. 2121.

LEIS, H. R. **A modernidade insustentável: as críticas do ambientalismo à sociedade contemporânea**. Montevideu: CLAES - Centro Latino Americano de Ecología Social, 2004.

MACKAY, H. **Enhancing Legacy | Engaging Process: Phytoremediation at Gas Works Park**. Orientador: Kenneth Yocom. 2016. 135 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura da Paisagem) – Universidade de Washington, Seattle, 2016. Versão eletrônica.

MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S. Aspectos agronômicos, usos pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em agronegócios e Meio Ambiente**, v. 5, edição especial, 2012, p. 85-101.

MARQUES, L. **Capitalismo e Colapso Ambiental**. Campinas: Editora Unicamp, 2015.

MARQUES, T. H. N. **Eixos Multifuncionais: Infraestrutura Verde e Serviços Ecosistêmicos Urbanos aplicados ao córrego Mandaqui, São Paulo, SP**. Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Paisagem e Ambiente, da Universidade de São Paulo, 2020.

MARQUES, T. H. N.; RIZZI, D.; FERRAZ, V.; HERZOG, C. P. Soluções baseadas na Natureza: conceituação, aplicabilidade e complexidade no contexto latino-americano, casos do Brasil e Peru. **Revista LABVERDE**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 12-49, 2021. DOI: 10.11606/issn.2179-2275.labverde.2021.189419. Disponível em:

<https://www.revistas.usp.br/revistalabverde/article/view/189419>. Acesso em: 14 out. 2021.

MEADOWS, D. H.; RANDERS, J.; MEADOWS, D. L. **The Limits to Growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind**. Nova Iorque: Universe Books, 1972.

MEDEIROS, T. A. M. **Efeito fitotóxico e potencial remediador de três espécies vegetais contaminadas com benzeno**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, campus experimental de Sorocaba. p.152, 2015.

MELO, I. S. **Ecologia da rizosfera e filosfera**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01_22_299200692526.html>. Acesso em: 21 set. 2021.

MURAKAVA, K. **Estudo de jardins filtrantes e wetlands para tratamento de efluentes em situações emergenciais aplicados à Vila Gênese, Campinas**. Orientadora: Vera Santana Luz. Mimeo: Campinas, 2021. Monografia (Iniciação Científica) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

MURAKAVA, K.; LUZ, V. S. **Proposição de wetlands como Solução baseada na Natureza para situações emergenciais: o caso da Vila Gênese, Campinas**. Mimeo: Campinas, 2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. UNIC Rio. **Agenda 2030**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **A ONU e o meio ambiente**, c2021. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 15 dez 2020.

NUNES T.; ROSA J. S.; MORAES R. F. **Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes. Habitação social e sustentabilidade urbana**. Brasília: MMA, 2015.

PEITER, G. (coord.). **Mudanças climáticas, vulnerabilidades e adaptação**. Parte 1. Rio de Janeiro: COEP, 2011.

POLITICS.CO.UK. **Brownfield Development: What is brownfield development?** c2021. Disponível em: <<https://www.politics.co.uk/reference/brownfield-development/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

PONTES JÚNIOR, F. A.; BARROS, L. V. **A natureza como sujeito de direitos: a proteção do rio Xingu em face da construção de Belo Monte**. In: DILGER, Gerhard; LANG, Miriam; PEREIRA FILHO, Jorge (org.). *Descolonizar o imaginário: debates sobre pós-extratativismo e alternativas ao desenvolvimento*. Tradução Igor Ojeda. São Paulo: Fundação Rosa Luxemburgo, 2016. cap. 12, p. 427-442. Disponível em: <<http://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/426>>. Acesso em: 21 de set de 2020.

PORTAL DE ECOLOGIA AQUÁTICA, s.d. **Comunidades - Macrófitas Aquáticas**. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=392>. Acesso em: 13 out. 2021.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **O Desafio Ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

REES W., WACKERNAGEL M. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable - and why they are a key to sustainability. **Environmental Impact Assessment Review** n. 16 p. 223–248, 1996.

SALATI, E. **Controle de Qualidade de Água Através de Sistemas de Wetlands Construídos**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável - FBDS. s.d. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Controle-de-qualidade-de-%C3%A1gua-atrav%C3%A9s-de-sistemas-Wetlands-constru%C3%ADdos.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2021.

SALATI, E. et al, **Utilização de sistemas de wetlands construídas para tratamento de água**. Piracicaba: Instituto Terramax, 2009. Disponível em: <<http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/2011/12/sistema-wetlands.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2021.

SANTOS, B. S.; MENESES, M. P. (Orgs.) **Epistemologias do Sul**. São Paulo: Editora Cortez. 2010.

SATHERLEY, S. **Identifying Landscape Meanings: Images and Interactions at Gas Works Park**. 2016. 275 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Escola de Design, Universidade de Tecnologia de Queensland, Brisbane (Austrália), 2016. Versão eletrônica.

SAWYER, S. **Gas Works Park (Seattle)**. HistoryLink.org, 2020. Disponível em: <<https://www.historylink.org/File/20978>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SCHENK, L. B. M. **Arquitetura da paisagem entre o Pinturesco, Olmsted e o Moderno**. 2008. Tese (Doutorado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18142/tde-08102008-170940/pt-br.php>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SEATTLE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. **Map of Seattle Parks with Natural Areas and Greenbelts**. [s. d.]. Disponível em: <<https://html.scribdassets.com/2dhzaw64745hxtb5/images/1-a4ff235c4b.jpg>>. Acesso em: 15 dez. 2021.

SEATTLE PARKS AND RECREATION. **Gas Works Park**. [s. d.]. Disponível em: <<https://www.seattle.gov/documents/Departments/ParksAndRecreation/Reserve/Picnic/GasWorks.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SETAN UNIRIO - Setor de Alimentação e Nutrição da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim n. 10** [Xenobióticos]. Abril de 2021. Disponível em: <<http://www.unirio.br/prae/nutricao-prae-1/quarentena/carregamento-boletins-setan-2021/boletim-no-10-2021>>. Acesso em 17 ago. 2021.

SEZERINO, P. H.; PELISSARI, C. (Orgs.) **Wetlands construídos como ecotecnologia para o tratamento de águas residuárias: experiências brasileiras**. 1.ed. - Curitiba: Brazil Publishing, 2021.

SILVA, W. A. **Proposição de Técnicas para Tratamento Natural de Efluentes Aplicáveis, tendo como Estudo de Caso a Edificação Escolar EMEI Chácara Sonho Azul, na Região do Fundão do Jardim Ângela, São Paulo**. Orientadora: Vera Santana Luz. Mimeo: Campinas, 2018. Monografia (Iniciação Científica) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

SOTTO, D. et al. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 33, n. 97, p. 61-80, dez. 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142019000400061&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 10 Set 2020.

SOUTO, J. C. G. S; FRANCO, J. L. A. Frederick Law Olmsted: a arquitetura de paisagens e os parques nacionais norte-americanos. **Topoi**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 45, p. 754-774, set./dez. 2020.

TAVARES, S.R.L. **Fitorremediação em solo e água de áreas contaminadas por metais pesados provenientes da disposição de resíduos perigosos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/es/documents2/doutorado/2009-3/955-silvio-roberto-de-lucena-tavares-doutorado/file>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

THE ASAHI GLASS FOUNDATION. **About the Blue Planet Prize**, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.blueplanetprize.org/en/about.html>>. Acesso em: 05 out 2020.

TONETTI, A. L.; BRASIL, A. L.; MADRID, F. J. P. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L. M. O.; DUARTE, N. C.; FERNANDES, P. M.; COASACA, R. L.; GARCIA, R. S.; MAGALHÃES, T. M. 2018. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções**. Campinas, SP; Biblioteca/Unicamp.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Adaptation Gap Report 2020**. Nairobi: UNEP, 2021. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/adaptation-gap-report-2020>>. Acesso em: 26 jul. 2021.

UNESCO. World Heritage Centre. **UICN**. Frequently Asked Questions (FAQ), c1992-2021. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/en/faq/41>>. Acesso em: 13 jul. 2021

VEIGA, J. E.; ZATZ, L. **Desenvolvimento sustentável, que bicho é esse?** Campinas, SP: Autores Associados, 2008.

VEIGA, J. E. **A Desgovernança Mundial da Sustentabilidade**. São Paulo: Editora 34, 2013.

VON SPERLING, M.; SEZERINO, P. H. **Dimensionamento de Wetlands Construídos no Brasil**. Documento de Consenso entre Pesquisadores e Praticantes. Boletim. Edição Especial. Dez. 2018. Cidade: Wetlands Brasil – Grupo de Estudos em Sistemas Wetlands Construídos Aplicados ao Tratamento de Águas Residuárias, 2018. – ISSN 2359-0548. Disponível em: < <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf> > Acesso em: 13 out 2021.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. **Our Ecological Footprint: reducing human impact on the Earth**. The new catalyst bioregional series. Vancouver: New Society Publishers, 1996.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF ECOLOGY. **Gas Works Park Environmental Cleanup - Public Participation Plan**. 1997. Disponível em: < <https://apps.ecology.wa.gov/gsp/CleanupSiteDocuments.aspx?csid=2876> >. Acesso em: 02 dez. 2021.

_____. **Public Participation Plan - Gas Works Sediment Area**. 2005. Disponível em: < <https://apps.ecology.wa.gov/gsp/CleanupSiteDocuments.aspx?csid=2876> >. Acesso em: 02 dez. 2021.

_____. **Gas Works Park**. [s. d.]. Disponível em: < <https://apps.ecology.wa.gov/gsp/Sitepage.aspx?csid=2876> >. Acesso em: 02 dez. 2021.

WAY, T. Landscapes of Industrial Excess: A Thick Sections Approach to Gas Works Park, **Journal of Landscape Architecture**, Londres, vol.8/1, p. 28-39, 2013.

WEIR, E. **Assessing the Social Acceptability of Endophyte-Assisted Phytoremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Case Study at Gas Works Park**. Orientador: Sharon L. Doty. 2015. 100 f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Universidade de Washington, Seattle, 2015. Versão eletrônica.

WCC. World Conservation Congress. **Resolution 69: defining Nature-based Solutions**, 2016. Disponível em: < https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/wcc_2016_res_069_en.pdf >. Acesso em: 08 jul. 2121.

WINOGRAD, M.; FIGUEIROA-ARANGO, C.; VAN EUPEN, M; HARDOY, J. **Soluciones basadas en la Naturaleza para ciudades de América Latina y el Caribe: guía metodológica**. CityAdapt, ONU programa para el medio ambiente, GEF, 2021. Disponível em: < <https://cityadapt.com/download/guias-sbn/> >. Acesso em: 20 jul. 2021.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

_____. **Case study research, design and methods (applied social research methods)**. Thousand Oaks. Estados Unidos: Sage Publications, 2009.

ZEFERINO, M. C. **Medidas Mitigadoras e Compensatórias de Impactos Ambientais**. 2018. Disponível em: < <https://www.matanativa.com.br/medidas->

mitigadoras-e-compensatorias-de-impactos-ambientais//>. Acesso em: 14 out. 2021.