



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERNACIONAL EM FLORESTAS URBANAS

MARCOS VINÍCIUS DA SILVA ALVES DE LIMA

**COMPREENSÃO DA JUSTIÇA AMBIENTAL NO RECIFE À LUZ DA
DISTRIBUIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA FLORESTA URBANA**

Seropédica

2025

MARCOS VINÍCIUS DA SILVA ALVES DE LIMA

**COMPREENSÃO DA JUSTIÇA AMBIENTAL NO RECIFE À LUZ DA
DISTRIBUIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA FLORESTA URBANA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação Internacional em Florestas Urbanas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Florestas Urbanas.

Orientador: Professor Doutor Demóstenes
Ferreira da Silva Filho

Seropédica

2025

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Lc

Lima, Marcos Vinícius da Silva Alves de, 2000-
Compreensão da Justiça Ambiental no Recife à Luz da
Distribuição dos Serviços Ecossistêmicos da Floresta
Urbana / Marcos Vinícius da Silva Alves de Lima. -
Maceió, 2025.
63 f.

Orientador: Demóstenes Ferreira da Silva Filho.
Monografia(Especialização). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação
Internacional em Floresta Urbana, 2025.

1. Justiça Climática. 2. Arborização Urbana. 3.
Sustentabilidade. 4. Mudanças Climáticas. I. Silva
Filho, Demóstenes Ferreira da, 1965-, orient. II
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Programa de Pós-Graduação Internacional em Floresta
Urbana III. Título.

MARCOS VINÍCIUS DA SILVA ALVES DE LIMA

**COMPREENSÃO DA JUSTIÇA AMBIENTAL NO RECIFE À LUZ DA
DISTRIBUIÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DA FLORESTA
URBANA**

Monografia apresentada ao Programa de Pós-Graduação Internacional em Floresta Urbana da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em cumprimento às exigências curriculares para obtenção do título de Especialista em Florestas Urbanas.

Aprovada em: 21/01/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **DEMOSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**
Data: 10/03/2025 13:29:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Doutor Demóstenes Ferreira da Silva Filho (Orientador)
Universidade de São Paulo

Documento assinado digitalmente
 **IRAN JORGE CORREIA LOPES**
Data: 19/02/2025 13:40:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Engenheiro Florestal Mestre Iran Jorge Corrêa Lopes (Examinador)

Documento assinado digitalmente
 **RENATO REGIS PINHEIRO MEDEIROS DE ARAÚJO**
Data: 19/02/2025 13:25:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Arquiteto Urbanista Mestre Renato Régis Pinheiro de Araújo (Examinador)

AGRADECIMENTOS

Grato à minha **mãe**, ao meu **pai**, minha **irmã** e minha gatinha **Lu** pelo carinho, seio familiar e me possibilitar trilhar esses e outros caminhos confortavelmente;

Agradeço a amigos de longa data, a citar **Camila Maria**, **Bruna Mesquita**, **Gabriela Brito** e **André Pereira**, por reconhecerem em mim algo que ainda não me vejo, entusiasmarem-se com minhas conquistas até mais que eu e celebrar sempre minhas vitórias como a deles;

Me considero feliz e abençoado, também, por em meu primeiro **lar**, a cidade do **Recife**, ter feitos amigos, irmãos e uma de minhas várias famílias, composta por pessoas com uma luz inigualável, como **Sandir Barros Costa**, **Rafaela Carneiro**, **Matheus Alves** e tantos outros;

Grato por, em minha jornada profissional-acadêmica ter sido acompanhado por mestres que só fizeram expandir em mim a paixão pela ciência, curiosidade e o método, a citar o exemplo maior do Professor Doutor **Joelmir Marques da Silva**, que, com orientador, me fez ir além, e ter esse e outros *insights*, agregando em mim uma visão que só saindo da minha zona de conforto eu conseguiria, mesmo que no conforto de uma conversa, abraço e aperto de mão;

A citar, também, a Professora Doutora **Daniela Biondi** e os companheiros do Laboratório de Paisagismo (UFPR), como os mestres **Iran Lopes** e **Gabriely Duarte**, por, mesmo sem eles terem noção, me ensinarem um tanto sobre a ciência florestal, árvores, aves e, obrigado, principalmente, terem deixado eu alugar o ouvido de vocês durante várias tardes;

Por onde passei, como o curso de **Ciências Biológicas**, o Programa de Pós-Graduação em **Desenvolvimento Urbano** (Universidade Federal de Pernambuco), o Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Florestal** (Universidade Federal do Paraná) e de **Recursos Florestais** (Universidade de São Paulo), obrigado por construir em mim peças que pretendo cada vez mais levar para o mundo;

Por fim, agradeço à **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, por desenvolver uma iniciativa ímpar, ligando diversos profissionais, pesquisadores e entusiastas da arborização urbana em um local propício para a mudança e o engajamento, área essa que decidi não somente me especializar, mas dedicar minha vida e minha ciência para seu melhor desenvolvimento, justiça e transformação.

RESUMO

Projeções climáticas atuais indicam que mudanças climáticas consideráveis podem ocorrer no Brasil ao longo do século XXI. Considerando que, no país, fatia significativa da população encontra-se em situação de vulnerabilidade social, espera-se que esse fenômeno tenha fortes impactos socioeconômicos. Na cidade do Recife, por exemplo, eventos climáticos extremos têm acometido o ambiente urbano com maior frequência nas últimas décadas, afetando principalmente povos tradicionais e populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Nesse sentido, as florestas urbanas oferecem, a citar, oportunidades para as pessoas se envolverem em atividades recreativas e proporcionam conforto térmico-ambiental, no entanto, essas são distribuídas de forma heterogênea, assim como os serviços ecossistêmicos que elas fornecem, o que pode causar desigualdade na oferta de benefícios aos cidadãos. Partindo da hipótese de que essa distribuição segue fatores socioeconômicos, essa pesquisa tem como objetivo compreender a desigualdade espacial dos serviços ecossistêmicos da floresta urbana do Recife à luz de parâmetros socioeconômicos, refletindo sobre os níveis de justiça climática da cidade. Para isso, esta pesquisa fez uso do software *i-Tree Canopy* para estimar a cobertura do dossel arbóreo e seus potenciais benefícios para a qualidade do ar nas Regiões Político-Administrativas do Recife, considerando suas diferentes tipologias de floresta urbana. Além disso, os dados socioeconômicos do Censo de 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foram combinados com dados ambientais e submetidos a análise estatística de Mann-Kendall. De acordo com os testes realizados, os serviços ecossistêmicos se mostraram homogêneos entre as tipologias analisadas e de acordo com os indicadores socioeconômicos, sendo o p valor próximo de 0,4. No entanto, a falta de diferenças significativas entre esses grupos pode também estar relacionada às características intrínsecas das RPAs. Em uma análise geral, as outras tipologias e as unidades de conservação demonstram um grande potencial de provisão de serviços ecossistêmicos, sendo sequestrados $9,53 \cdot 10^4$ toneladas de CO_2 e removidos $7,37 \cdot 10^5$ kg de poluentes atmosféricos. Abrangendo esses achados, o estudo recomenda a observação dos fragmentos florestais urbanos e a arborização viária, além de sua melhor distribuição e monitoramento, bem como, ressalta-se a observação de futuros estudos da área em utilização uma escala reduzida de análise em Recife.

PALAVRAS-CHAVE: Justiça Climática, Arborização Urbana, Sustentabilidade, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Current climate projections indicate that significant climate changes may occur in Brazil throughout the 21st century. Given that a significant portion of the country's population is in a situation of social vulnerability, it is expected that this phenomenon will have strong socioeconomic impacts. In the city of Recife, for example, extreme weather events have been affecting the urban environment with increasing frequency in recent decades, particularly impacting traditional communities and populations in socioeconomically vulnerable situations. In this context, urban forests offer opportunities for people to engage in recreational activities and provide thermal-environmental comfort. However, these forests are distributed unevenly, as are the ecosystem services they provide, which may lead to inequalities in the distribution of benefits to citizens. Based on the hypothesis that this distribution follows socioeconomic factors, this research aims to understand the spatial inequality of ecosystem services provided by Recife's urban forests in light of socioeconomic parameters, reflecting on the levels of climate justice in the city. To achieve this, the research used the i-Tree Canopy software to estimate tree canopy cover and its potential benefits for air quality in the Political-Administrative Regions of Recife, considering the different typologies of urban forests. Additionally, socioeconomic data from the 2022 Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) were combined with environmental data and subjected to Mann-Kendall statistical analysis. According to the tests conducted, ecosystem services were found to be homogeneous across the analyzed typologies and socioeconomic indicators, with a p-value close to 0.4. However, the lack of significant differences between these groups may also be related to the intrinsic characteristics of the Political-Administrative Regions. In a general analysis, other typologies and conservation units demonstrate a high potential for providing ecosystem services, with $9,53.10^4$ tons of CO₂ sequestered and $7,37.10^5$ kg of air pollutants removed. Based on these findings, the study recommends the observation of urban forest fragments and street tree planting, as well as their better distribution and monitoring. It also emphasizes the importance of future studies in the area using a reduced scale of analysis in Recife.

KEYWORDS: Climate Justice, Urban Forest, Sustainability, Climate Change.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Organização das tipologias de floresta urbana entre base de referência e aquelas inseridas no Sistema Municipal de Unidades Protegidas do Recife.....	20
Figura 2 Localização do município de Recife e suas Regiões Político-Administrativas	22
Figura 3 Relação dos bairros do Recife e suas respectivas RPAs	24
Figura 4 Total de variáveis de serviços ecossistêmicos	28
Figura 5 Indicadores socioeconômicos.....	30
Figura 6 Gráfico de dispersão com jitter dos indicadores socioeconômicos e os serviços ecossistêmicos	32
Figura 7 Correlograma de Mann-Kendall (τ) entre os serviços ecossistêmicos provenientes da	35
Figura 8 Subcategorias de uso e ocupação do solo a partir de uma matriz de cruzamentos	38
Figura 9 Mapas de Recife (PE) com os dados sobre concentração da população negra, renda média domiciliar, concentração de domicílios cuja pessoa responsável é do sex feminino com rendimento de até 1 S.M., taxa de cobertura da rede de coleta de esgoto sanitário (Censo IBGE, 2010) e imagem de satélite (ESRI, 2018) com destaque para a mancha urbana.....	39
Figura 10 Percentual de contribuição de cada tipologia de floresta urbana por serviço ecossistêmico	44
Figura 11 Distribuição do Serviço Ecossistêmico de Sequestro de CO ₂ por RPA e tipologia de Floresta Urbana.....	45
Figura 12 Percentual de contribuição de cada tipologia de floresta urbana por serviço ecossistêmico no âmbito do Recife	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores básicos da equação do <i>i-Tree Canopy</i> para benefícios de poluição do ar	26
Tabela 2 Valores básicos da equação do <i>i-Tree Canopy</i> para benefícios hidrológicos.....	27
Tabela 3 Valores básicos da equação do <i>i-Tree Canopy</i> para benefícios de carbono	28
Tabela 4 Número de árvores, parques e praças, UCPs, JBR, UCNs, e IPAVs reconhecidas pela Prefeitura da Cidade do Recife	36
Tabela 5 Produção de serviços ecossistêmicos por RPA na cidade do Recife.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 JUSTIÇA(S) CLIMÁTICA, RISCOS E CIDADES	12
3.2 SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS COMO FERRAMENTA PARA AUXÍLIO DO PLANEJAMENTO DAS FLORESTAS URBANAS	16
3.3 TIPOLOGIAS DE FLORESTAS URBANAS	18
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	25
4.2.1 Avaliação dos Serviços Ecossistêmicos.....	25
4.2.2 Obtenção e Análise de Indicadores Socioeconômicos.....	29
4.2.3 Avaliação Estatística dos Dados	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM DIFERENTES REGIÕES POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS	32
5.2 CONTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE FLORESTA URBANA	40
6 CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

Projeções das variáveis meteorológicas indicam que mudanças climáticas consideráveis podem ocorrer no Brasil ao longo do século XXI (Torres; Marengo 2014; Magrin *et al.* 2014). Dentre os impactos previstos, estão o aumento de temperatura, as modificações nos padrões de chuvas e alterações na distribuição de extremos climáticos tais como: secas, inundações, frentes frias, tempestades severas, vendavais e outros (Aguiar; Ervatti, 2020). Considerando que, no Brasil, a atividade econômica concentra-se na produção agrícola e fatia significativa da população encontra-se em situação de fragilidade social (com baixos níveis de desenvolvimento humano e/ou vivendo em áreas de risco), espera-se que as mudanças climáticas tenham fortes impactos socioeconômicos negativos, sobretudo nessas regiões maior vulnerabilidade e risco (Magrin *et al.* 2014).

A noção de risco é ampla e pode ter diversas aplicações, como abordado por Garcia, Viana e Lima (2023), podendo ser percebida de diferentes formas e existir independentemente de variáveis subjetivas. As autoras exemplificam que podem existir pessoas que vivem o risco cotidianamente, sem condições para evitá-lo ou superá-lo, seja qual for a definição de risco utilizada para descrever a situação. Ainda é citado que, o risco relaciona-se às noções de incerteza, exposição ao perigo ou perdas. Complementarmente a esse conceito, a vulnerabilidade, refere-se ao modo como as pessoas são afetadas por algum risco e como se relacionam com ele. Mendonça (2011) chama atenção para os fatores sociais e políticos na construção e percepção do risco, e para ampliação e reparos quanto aos graus de vulnerabilidade.

Desse modo, embarcando esse tema com a problemática urbano-ambiental, as esferas físico-naturais na atual conjuntura dos eventos extremos estão direta ou indiretamente associados às mudanças climáticas, precisando ser defendidos na agenda de políticas públicas. O agravamento das alterações dos padrões climáticos e seus efeitos atinge e pressiona de modo desigual as pessoas, as infraestruturas e as atividades por elas usufruídas e desenvolvidas, penalizando vítimas de fragilidades históricas e culturais, sendo esse o grande escopo do debate de justiça climática na contemporaneidade.

Na cidade do Recife, eventos climáticos extremos acometem o ambiente urbano com maior frequência nas últimas décadas, afetando principalmente povos tradicionais e populações de classes socioeconômicas inferiores (Lima; Silva, 2024). De tal modo, acentua-se a necessidade de desenvolvimento de soluções baseadas na natureza (SbN) que abarquem

extensos territórios, integrando objetivos de mitigação e adaptação climática com a promoção da justiça ambiental. Para tanto, o viés da floresta urbana e dos serviços ecossistêmicos está direcionado à quantificação e espacialização dos riscos e vulnerabilidades, facilitando a identificação, por parte dos tomadores de decisão, das áreas prioritárias para a instalação de infraestruturas urbanas.

Segundo a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), serviços ecossistêmicos são compreendidos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, podendo ser a união entre teoria e prática, fornecendo parâmetros e dados para a construção de políticas públicas (Campanha *et al.*, 2019). Percebe-se, na atualidade, a evolução do conceito, partindo da avaliação das alterações nos ecossistemas com relação a permanência e a continuidade da vida na terra, para inclusão de aspectos socioeconômicos ao componente ambiental, apontando indicadores de sustentabilidade ao processo produtivo e no planejamento urbano.

Nesse sentido, as florestas urbanas e suas diferentes tipologias, como parques, unidades de conservação e arborização viária, oferecem oportunidades para as pessoas se envolverem em atividades recreativas e promove o conforto térmico-ambiental, utilizando dos serviços ecossistêmicos para criar cidades resilientes (Yang *et al.*, 2022). No entanto, as árvores, jardins e áreas verdes, são distribuídos de forma heterogênea pelo espaço, assim como os serviços ecossistêmicos que eles fornecem, o que pode causar desigualdade na distribuição de benefícios aos cidadãos (Haque; Sharifi, 2024). Através do planejamento urbano, é possível gerenciar a distribuição de ecossistemas urbanos e seus serviços em uma cidade, determinando o número, a localização e o perfil dos beneficiários alcançados (Liu; Wu, 2024).

Dessa forma, este estudo parte da hipótese de que a distribuição de serviços ecossistêmicos intraurbanos no Recife é desigual, refletindo e perpetuando injustiças e vulnerabilidades climáticas e socioambientais. As áreas verdes, e consequentemente os serviços ecossistêmicos associados à floresta urbana, são distribuídos de maneira a favorecer algumas localidades em detrimento de outras, exacerbando as desigualdades sociais existentes. Para compreender a distribuição espacial desse fenômeno, este trabalho está centrado em duas seções. Inicialmente, foram coletadas informações quantitativas dos serviços ecossistêmicos de diferentes tipologias de floresta urbana. Em seguida, esses dados, organizados por região político-administrativa, foram comparados com os dados socioeconômicos do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dessa forma, foram produzidos conteúdos espacialmente explícitos sobre o desenvolvimento e implantação de áreas

arborizadas na cidade do Recife, contribuindo para que ferramentas de gestão e controle ampliem o seu alcance na conservação e criação de espaços livres de qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Proporcionar a compreensão da desigualdade espacial dos serviços ecossistêmicos da floresta urbana do Recife à luz de parâmetros socioeconômicos, refletindo os níveis de justiça ambiental da cidade.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Visualizar espacialmente áreas a desigualdade da distribuição de serviços ecossistêmicos da arborização urbana na cidade do Recife;
- Relacionar variáveis socioeconômicas das regiões político-administrativas (RPAs) da área de estudo com os serviços ecossistêmicos da floresta urbana;
- Compreender o nível de provimento dos serviços ecossistêmicos de acordo com as diferentes tipologias de floresta urbana.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 JUSTIÇA(S) CLIMÁTICA, RISCOS E CIDADES

O termo justiça ambiental, em sua origem, relaciona-se a movimentos de luta social contra o desproporcional passivo ambiental que comunidades de características socioeconômicas e raciais minoritárias acumulam em detrimento de segmentos sociais mais abastados, desse modo, relaciona-se diretamente com pautas sociais, territoriais e ambientais (Schlosberg, 2007). Esse conceito tem entre seus marcos os movimentos antirracistas dos Estados Unidos da América (EUA), quando se fez convergir as reivindicações sociais às ambientais. Nos anos de 1980, um estudo realizado por Bullard (1983) demonstrou que a composição racial de uma população era a principal variável a influenciar a seleção dos locais de instalação de aterros tóxicos nos Estados Unidos, passando a raça figurar uma importante variável para análises de desigualdades.

Como resultado desta articulação, cunhou-se o termo racismo ambiental, de responsabilidade do reverendo Benjamin Chavis, que evidenciou as motivações das escolhas geográficas para deposição de matérias poluentes, tais como os baixos valores dos terrenos, a incipiente mobilização e representatividade política de seus habitantes, e sua sub-representação nas agências reguladoras (Agyeman *et al.* 2016).

Em 2005, com o Furacão Katrina, houve uma grande efervescência teórica e política sobre os efeitos desse fenômeno climático e os subsequentes, desenvolvendo, assim, uma intersecção entre **justiça ambiental e as mudanças climáticas**, constituindo o momento inicial do debate em justiça climática. Após esse evento, pesquisadores e movimentos sociais da justiça ambiental passaram a dar um maior enfoque à temática das alterações do padrão de precipitação e os eventos climáticos extremos (Empinotti; Iamamoto; Lamas; Milanez, 2021). Isso teve grandes repercussões na Califórnia, um estado dos EUA, onde, a partir da mobilização da sociedade civil, resultou a criação da Lei de Soluções ao Aquecimento Global da Califórnia (Mendonça, 2011). No contexto mundial contemporâneo exige-se um aprofundamento da análise crítica da degradação ambiental, levando discussões acerca do rearranjo político global, que deveria estar profundamente imbricado com o colapso ambiental (Empinotti; Iamamoto; Lamas; Milanez, 2021).

Segundo Milanez e Fonseca (2010), o conceito de Justiça Climática propõe que as políticas públicas, as estratégias de redução de risco e a construção de infraestrutura devem ser

orientadas a partir de uma abordagem holística, preventiva, com base na participação social, no empoderamento das comunidades, na cooperação intersetorial e interinstitucional, e na colaboração entre os setores públicos e privados. Desse modo, o termo está incluso em um debate multi-trans-inter-disciplinar, devendo reunir aportes teóricos de diversas áreas, como da geografia e urbanismo, e metodológicos, como meteorologia e ciências biológicas e florestais.

Ainda segundo os autores, a Justiça Climática contempla dois aspectos principais, o material e o institucional. O primeiro pressupõe a promoção de ações que reduzam a vulnerabilidade social e aumentem a capacidade de resposta de determinados grupos às consequências da mudança climática. O viés institucional, por sua vez, alia uma estrutura de governança e desenvolvimento de políticas públicas que cheguem a todos os cidadãos irrestritamente. A abordagem de Justiça Climática vincula direitos humanos e desenvolvimento sustentável das cidades para alcançar uma lógica centrada nas pessoas e que respeite o meio ambiente, salvaguardando os direitos dos mais vulneráveis e compartilhando os encargos da mudança climática e seus impactos de forma equitativa e justa. Nesta perspectiva, o princípio de Justiça Climática direciona para ações voltadas para os grupos tradicionalmente marginalizados dos processos decisórios, como as mulheres, idosos, crianças e pessoas pretas e pardas.

Desse modo, percebe-se o potencial desse conceito em trazer consigo uma concepção capaz de trazer a criticidade necessária para a construção de uma resistência que enfrente de forma contundente os efeitos negativos e desiguais das mudanças climáticas, desenvolvendo importantes categorias de análise e debate que tragam os desenvolvimentos políticos necessários. Com isso, contribuir para um olhar crítico sobre a ciência climática ao incorporar a análise das relações de poder e de dependência desde a periferia do capitalismo, além de também tecer caminhos para transformações estruturais. Desse modo, esse movimento teórico ataca radicalmente as dinâmicas de desigualdade social e estimula um enfrentamento estrutural à um dos potencializadores das mudanças climáticas, o **neoliberalismo**, que tem movido a humanidade para um caminho de incessantes crises que atingem de forma deletéria as populações mais vulnerabilizadas nas grandes metrópoles.

No contexto latino-americano, as mobilizações e ações por justiça climática e ambiental, diferentemente de como ocorreu nos EUA, apresentam desafios adicionais, tanto relacionados à disponibilidade e qualidade dos dados capazes de avaliar os impactos e suas correlações sociodemográficas, como quanto à própria posição espacial no quadro econômico internacional

(Carruthers, 2008). Para a realização de uma transposição conceitual desse porte, redimensionamentos conceituais foram/são necessários, pondo em paralelo os processos histórico-cultuais-sociais da construção dos racismos e demais desigualdades socioeconômicas. Sob a óptica da ecologia política, é necessário abranger o entendimento dos impactos econômicos e políticos sobre o meio ambiente às dimensões sociopolíticas, em estreita associação à economia política e ao estudo das relações de poder (Svarstad; Benjaminsen; Overá, 2018).

Embora tenha havido toda uma geração de urbanistas engajados e promotores da política de planejamento urbano, aspecto que marcou o desenvolvimento brasileiro de cidades de grande porte entre os anos 1960-1980, ela não evidenciou realizações estruturais, pois a intensificação dos problemas socioambientais de toda ordem na atualidade testemunha as graves falhas de um processo parcial e excludente. Assim, percebemos que o debate socioambiental em raras ocasiões permeia o centro da discussão como um tema de refinado corpo teórico-político, ressaltando o planejamento incipiente ou até mesmo voltado para o constante acúmulo de capital desenfreado e sem a preocupação com qualquer efeito global e sistêmico (Mendonça, 2011).

O predomínio do interesse econômico e político na condução do desenvolvimento urbano e regional caracteriza a história das cidades dos países latino-americanos na modernidade ocidental, o que conduz à necessária crítica a urbanização espontânea, trazendo consequências importantes para o desenvolvimento de infraestruturas urbanas e sua distribuição no território. A natureza (por conseguinte, o clima, vegetação e corpos hídricos), elemento inerente do ambiente urbano, pouco foi considerado na elaboração do planejamento urbano das cidades ocidentais. A ausência de infraestruturas verdes, dentre outras, garantiu à gestão das cidades uma supremacia de intervenções técnicas e parciais, conduzindo ao futuro da cidade uma condição de palco de problemas de toda ordem. A tecnocracia, nesse sentido, trouxe profundas marcas no desenvolvimento urbano e na construção de infraestruturas (Mendonça, 2011).

O enfrentamento da emergência climática envolve necessariamente situar a crítica à modernidade capitalista como condição histórica estruturante da crise climática e de seus efeitos que marcam e se acumulam nos territórios, especialmente no Sul Global, além de testemunhar outras possibilidades de futuro que a humanidade pode alcançar baseadas na justiça ambiental e climática (Fraser; Jaeggi, 2020). A crise ecológica e social são sintomas que colocam em

evidência a necessidade de aprofundar a ética socioambiental, sendo fundamental que se concilie necessidades humanas, equidade social, integridade do meio e uso sustentável dos recursos (Araújo; Rodrigues; Dunder, 2023).

A complexidade dessa crise, conjugada com devastação ambiental, aumento da desigualdade social e injustiça ambiental, resulta na degradação das relações sociais, da relação do indivíduo com ele mesmo e com o outro, e não somente da degradação da relação da sociedade com a natureza (Lima, 2011). Os padrões atuais de consumo e produção são incompatíveis com a sobrevivência do planeta, apesar do crescimento econômico representar uma fonte de emprego e renda, a desenfreada necessidade de acumulação de capital apresenta um alto custo ambiental. É necessário restabelecer o equilíbrio entre crescimento econômico, bem-estar social e preservação da natureza, posto que as soluções pautadas no ideário neoliberal são incapazes de responder à emergência climática, além de reforçar as desigualdades entre Norte e Sul Global (Alcântara; Sampaio, 2021).

Neste contexto a abordagem dos riscos socioambientais urbanos pode ser concebida como um novo paradigma, na medida em muda o foco da compreensão da lógica de produção e reprodução socioespacial, ou seja, ela atesta a inserção de uma nova base de análise na relação no binômio sociedade-natureza, pois salta de uma base de certeza e estabilidade para uma outra de incerteza e de instabilidade quanto à repercussão dos processos naturais e sociais do espaço geográfico.

Nesta perspectiva os riscos socioambientais urbanos dizem respeito aos fenômenos imbricados de contingências naturais e sociais que desestabilizam as condições de vida das sociedades urbanas. Eles evidenciam elementos e fatores de ordem natural (ambiental) e social (cultural, política, econômica e tecnológica). Fato esse ligado diretamente ao desequilíbrio planetário, já que são os países em desenvolvimento que sofrem mais violações de direitos humanos em decorrência das mudanças climáticas e, devido a isso, são também os que realizam os esforços de adaptação mais vigorosos (Alcântara; Sampaio, 2021). Porém, devido à limitada capacidade econômica desses países, eles enfrentam dificuldades para adotar medidas efetivas de adaptação, como o desenvolvimento de tecnologias.

Nesse sentido, visando operacionalizar conhecimentos, hipóteses e teorias sobre a interface natureza-homem, se faz necessário um conceito que esclareça e quantifique esses vínculos e seus efeitos. A discussão sobre tal relação teve início no final da década de 1960, entretanto, foi somente em 1977 que o conceito de "serviços da natureza" foi introduzido por

Westman, sugerindo que o valor dos benefícios fornecidos pelos ecossistemas poderia ser avaliado para orientar decisões de gestão ambiental. Entretanto, foi apenas em 1981 que o conceito “serviços ecossistêmicos” foi criado por Ehrlich e Ehrlich, com o objetivo de estimular o interesse pela conservação da biodiversidade (Costanza *et al.*, 2017).

3.2 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS COMO FERRAMENTA PARA AUXÍLIO DO PLANEJAMENTO DAS FLORESTAS URBANAS

Os ecossistemas fornecem benefícios essenciais para a sociedade humana, coletivamente denominados serviços ecossistêmicos. Em ambientes urbanos, as florestas desempenham um papel essencial, oferecendo uma ampla gama de benefícios ecológicos, sociais e econômicos. No entanto, a gestão e a conservação destas apresentam desafios multifacetados (Locosselli; Buckeridge, 2023).

As florestas urbanas contribuem significativamente para as três principais categorias de serviços ecossistêmicos (Haines-Young; Potschin, 2018): (i) serviços de provisionamento: que envolvem produtos consumíveis, como madeira e alimentos; (ii) serviços de regulação e manutenção: que incluem processos como melhora bioclimática do ambiente e (iii) serviços culturais: que englobam benefícios não materiais ou intangíveis, como lazer, bem-estar e espiritualidade.

Além dos ecossistemas naturais, as diversas tipologias de floresta urbana funcionam como infraestruturas verdes essenciais. Dentre aqueles serviços comumente relacionados a essas áreas, Barbosa, Faria e Cardoso-Leite (2024) citam que o domínio dos serviços de “Regulação e Manutenção” na literatura podem ser atribuídos à presença de florestas e parques urbanos em ambientes antropizados, onde a urbanização amplifica a vulnerabilidade a eventos perigosos. Ainda é mencionado pelas autoras que diversos artigos têm se concentrado em entender o papel desses serviços na mitigação dos impactos das mudanças climáticas, incluindo o controle de eventos climáticos extremos, a redução da poluição atmosférica e sonora, a mediação de riscos de resíduos e a conservação do solo (Sutherland *et al.*, 2018; Jato-Espino *et al.*, 2023).

Concomitante, os serviços culturais são aqueles frequentemente relacionados com a floresta urbana, principalmente em vista do fator estético ligado a inserção de árvores nas cidades e a capacidade de áreas verdes em proporcionar lazer e bem-estar, com a união com *playgrounds* e parques de diversão. Ademais, as áreas arborizadas desempenham um papel

crucial na melhoria da saúde pública, frequentemente abrangendo termos como “recreação”, “atividade física”, “caminhadas” e “esportes” (Jato-Espino *et al.*, 2023).

Em contraste, os serviços de “Provisionamento” receberam menos atenção e foram integrados, em sua maioria, a planos de ação mais amplos, tornando-os a categoria menos representada. Este achado está alinhado com outras revisões de avaliações de serviços ecossistêmicos urbanos (Muñoz-Pacheco; Villaseñor, 2022). Brzoska e Spägle (2020) argumentam que, ao contrário de outras categorias de serviços ecossistêmicos, os serviços de provisão podem ser importados para áreas urbanas, diminuindo sua relevância no contexto das cidades.

Outro importante marco conceitual sobre serviços ecossistêmicos contemporâneos são as considerações de variáveis ou influências socioeconômicas (Groot *et al.*, 2010). No entanto, as conexões específicas entre essas variáveis e a provisão de serviços ecossistêmicos ainda são escassas na literatura científica, principalmente quando conectadas ao planejamento urbano (Carpenter *et al.*, 2009). Ao fazer isso, enfatiza-se a importância dos fatores socioeconômicos na gestão dos serviços ecossistêmicos urbanos e identifica potenciais caminhos pelos quais gestores de terras e formuladores de políticas podem intervir para alterar a provisão de serviços ecossistêmicos.

Os fatores socioeconômicos podem ter uma influência profunda sobre a demanda, oferta e acesso de serviços ecossistêmicos urbanos e mediam fortemente os benefícios que os moradores das cidades podem receber das florestas urbanas. Consequentemente, o planejamento urbano que incorpora esses fatores na provisão e no *design* de áreas arborizadas tem o potencial de melhorar significativamente a saúde e o bem-estar por meio de uma entrega mais eficaz de serviços ecossistêmicos. Permitindo, por meio do mapeamento e construção de indicadores, a identificação de barreiras socioeconômicas específicas para a entrega de serviços ecossistêmicos e possivelmente revelará quais tipos de intervenções são necessárias e onde. Em última análise, essa abordagem pode redirecionar as estratégias de planejamento para a provisão de serviços ecossistêmicos que atendam melhor às necessidades e desejos de diversos moradores urbanos.

Wilkerson *et al.* (2018) ainda discorre que, em consonância com a literatura sobre o tema, é visualizada uma importante crescente sobre os impactos positivos dos serviços ecossistêmicos urbanos na qualidade de vida nas cidades. Serviços de regulação e culturais,

como purificação do ar, redução de ruído, resfriamento urbano, mitigação de escoamento, recreação e contribuições para a saúde mental e física, mostraram ser de especial importância nos contextos urbanos. Em síntese, mesmo que os ecossistemas urbanos forneçam apenas uma fração dos serviços ecossistêmicos utilizados nas cidades, a alta densidade de beneficiários em relação à infraestrutura verde existente implica que o valor social e econômico dos serviços fornecidos localmente pelos ecossistemas urbanos pode ser surpreendentemente alto.

Em um segundo momento, os autores demonstram a importância significativa de visualizar a perda de ecossistemas nas cidades, que, em longo prazo, incluem efeitos nos valores sociais e culturais, como o senso de lugar, identidade e comunidade, coesão social e conhecimento ecológico local. A perda de infraestrutura verde também pode aumentar a vulnerabilidade das cidades a ondas de calor, enchentes, tempestades, deslizamentos de terra e até crises alimentares, e, dentro de um contexto atrelado a desigualdade de distribuição territorial, acarreta perdas no âmbito da justiça climática e socioambiental.

Além disso, pode gerar altos custos econômicos resultantes da necessidade de restaurar e manter serviços e infraestruturas públicas para substituir os serviços anteriormente fornecidos pela infraestrutura verde. Para tanto, a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos torna-se uma importante ferramenta para um cenário político que requer a sensibilização (por exemplo, sobre os custos da perda de serviços ecossistêmicos); para a inclusão de infraestrutura verde na contabilidade dos ativos municipais; para a definição de prioridades (como a localização de novos bairros); para a criação de instrumentos (como tarifas de uso para financiar serviços públicos); e para o cálculo de reivindicações por compensação de danos em processos judiciais (Gómez-Baggethun; Barton, 2013).

3.3 TIPOLOGIAS DE FLORESTAS URBANAS

A organização ambiental da cidade segue conceitos preconizados no Código do Ambiente Ecologicamente Equilibrado (1996) e no Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP) (2014). De acordo com esse último, as unidades protegidas da cidade devem ser organizadas em quatro categorias: (i) Jardim Botânico; (ii) Unidades de Conservação da Natureza; (iii) Unidades de Conservação da Paisagem e (iv) Unidades de Equilíbrio Ambiental.

Na categoria de Jardim Botânico, Recife apresenta um, inserido no bairro do Curado, apresentando 10,7 hectares de Mata Atlântica. Tratando-se das Unidades de Conservação da Natureza, o território do Recife engloba 25, representado por ARIE (Áreas de Relevante

Interesse Ecológico), APA (Área de Proteção Ambiental) e RVS (Refúgio de Vida Silvestre). A terceira categoria prevista na legislação ambiental da cidade, as Unidades de Conservação da Paisagem, promove a conservação de um recorte do território que revela significativa relação entre o sítio natural e os valores materiais e imateriais, sendo catalogados, duas unidades existentes, a UCP Parque da Jaqueira e a UCP Parque da Tamarineira.

Por fim, as Unidades de Equilíbrio Ambiental estão englobadas as praças, alguns parques urbanos, os Imóveis de Proteção de Área Verde (IPAV), as árvores tombadas, os refúgios viários, os Jardins Históricos, as Área Verde de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer (AVCEL) e as Áreas Verdes Públicas de Composição Viária (AVPCV).

Os IPAVs são caracterizados por uma área de domínio público ou privado criado por ato do poder público municipal ou por lei que possui área verde formada, predominantemente, por vegetação arbórea ou arbustiva, cuja manutenção atende ao bem-estar da coletividade. Atualmente existem 98 unidades distribuídas na cidade. No contexto das árvores e palmeiras tombadas, 51 unidades foram formalmente registradas na cidade, por sua raridade, localização, condição de porta semente e expressão histórica.

Os Jardins Históricos, por sua vez, são testemunhos ricos da interação entre cultura e natureza, representados por uma composição arquitetônica e vegetal que, do ponto de vista da história ou da arte, apresenta interesse público. Na cidade, 15 obras foram reconhecidas devido ao ser caráter e significância, a citar as Praças de Casa Forte, Euclides da Cunha, República e Jardim Campo Princesas.

As AVCEL correspondem a áreas de função ecológica, paisagística ou recreativa, que propicia a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, representadas por praças, pátios e parques urbanos (além de outros espaços que possam apresentar características e funções similares. Por fim, AVPV são espaços de uso comum do povo integrantes do sistema viário urbano com objetivo de exercer a função complementar de conforto ambiental e qualificação da paisagem urbana, sendo considerada para tal os canteiros centrais de vias urbanas, rotatórias, áreas remanescentes de abertura de vias e refúgios viários, incluindo, quando possível, as faixas não edificáveis de vias públicas, dentre outros espaços.

Percebe-se, entretanto, a necessidade da relação dessas categorias de unidades protegidas com um padrão discutido em literatura científica, e que, de tal modo, possibilite futuras comparações, quantificações e avaliações. Como, geralmente, cada município realiza

suas próprias classificações de unidades de conservação e áreas verdes, e, consequentemente, de categorias de floresta urbana, em vista da autonomia desse setor frente a organização ambiental. Diante esse desafio, recolheu-se o aporte teórico publicado por Biondi (2015), onde tal pesquisadora classifica a floresta urbana em diferentes tipologias (Figura 5):

1. Floresta Urbana Particular - composta de áreas particulares com espécies arbóreas e diversos tipos de vegetação que incluem desde arboretos a jardins residenciais ou condomínios.

2. Floresta Urbana Pública - composta de áreas públicas com diferentes tipos de vegetação inclusive espécies arbóreas, administradas geralmente pelas prefeituras de cidades.

2.1 Arborização de Ruas - se utiliza exclusivamente da vegetação arbórea com plantios lineares em ambientes com alto grau de antropização, principalmente com a presença de calçadas, asfalto, construções e população urbana;

2.2 Áreas Verdes - é produto de um processo paisagístico que pode apresentar diferentes graus de antropização ou níveis de influência humana. O processo ou tratamento paisagístico

As Áreas Verdes da Floresta Urbana Pública podem ser divididas em:

2.2.1 Áreas Verdes Culturais - são ambientes que apresentam diversos tipos de vegetação inclusive espécies arbóreas, mas demonstram ter um tratamento paisagístico para atender as necessidades sociais, estéticas e/ou ecológicas;

2.2.2 Fragmentos Florestais Urbanos - são remanescentes de florestas alteradas que devido à expansão das cidades que se encontram tanto no perímetro urbano como em ambientes de interface urbano-rural.

Figura 1 Organização das tipologias de floresta urbana entre base de referência e aquelas inseridas no Sistema Municipal de Unidades Protegidas do Recife

Tipologias de Floresta Urbana	Tipologias de Áreas Verdes do SMUP (Recife)
1 Floresta Urbana Particular	Imóveis de Proteção de Área Verde
2 Floresta Urbana Pública	

2.1 Arborização De Ruas	
2.2 Áreas Verdes	
2.2.1 Culturais	Parques e Praças, Unidades de Conservação da Paisagem e Jardim Botânico do Recife
2.2.2 Fragmentos Florestais Urbanos	Unidades de Conservação da Natureza

Fonte: Do autor (2025)

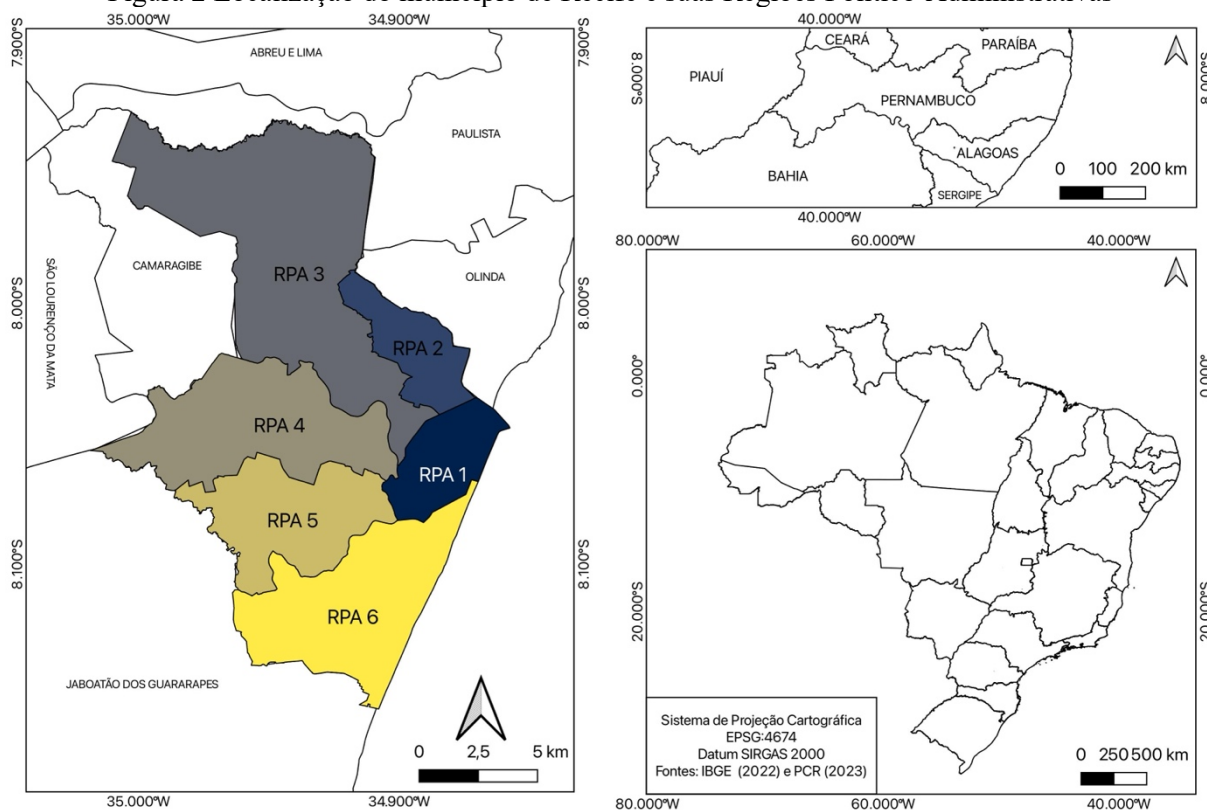
De tal modo, pode-se realizar uma devida comparação e agregação das tipologias de áreas verdes apresentadas pela pesquisadora e aquilo preconizado pelo Sistema Municipal de Unidades Protegidas do Recife, para que assim, possam ser realizadas as devidas inferências dessa pesquisa.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O município do Recife, capital do estado de Pernambuco, está localizado na região Nordeste do Brasil. O seu território compreende 218,843 km², onde, pela Lei nº 16.296/1997, está seccionado em seis regiões político-administrativas (ou RPAs), a primeira, correspondente a região central da cidade, a segunda e a terceira fazem parte da região norte da cidade, a quarta representa a região oeste e a quinta e sexta a seccional sul (IBGE, 2022) (Figura 1 e Figura 2). De acordo com os dados do IBGE (2022), a população residente do município do Recife corresponde 1.488.920 pessoas, apresentando, desse modo, uma densidade demográfica de 6.803,60 hab/km², com PIB per capita de R\$ 33.094,37. O clima do município é do tipo As', segundo classificação de Köppen, quente e úmido, com temperatura média de 25°C, e precipitação anual de cerca de 2000 mm, concentradas de maio a agosto (Vasconcelos; Bezerra, 2000).

Figura 2 Localização do município de Recife e suas Regiões Político-Administrativas



Fonte: Do autor (2025)

Segundo a Prefeitura do Recife e o Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (2018), na caracterização de uso e ocupação do solo da cidade, a **RPA 1**, localizada no Centro, é marcada pela predominância de usos comerciais e de serviços, com forte presença de imóveis de

patrimônio histórico e cultural. No entanto, há também uma significativa quantidade de edifícios desocupados.

A **RPA 2**, situada na Zona Norte (Leste), caracteriza-se como uma área predominantemente horizontal, com densidade construtiva média e baixa. Seu uso do solo é majoritariamente residencial, com concentração de estabelecimentos de comércio e serviços de pequeno porte ao longo das principais vias. Do ponto de vista ambiental, a presença de IPAVs (Imóveis de Preservação de Área Verde), praças e arborização intralotes contribui para o controle das temperaturas superficiais. Contudo, é também uma área com alta concentração de populações em situação de vulnerabilidade socioeconômicas, geralmente localizadas em zonas ambientalmente mais frágeis.

A **RPA 3**, na Zona Norte (Oeste), possui grande relevância ambiental devido sua função como área essencial para a recarga de aquíferos, o que exige restrições quanto ocupação e atividades poluidoras. Ao longo da margem esquerda do Rio Capibaribe, observa-se uma significativa presença de usos residenciais verticais e multifamiliares de alto padrão, em um dos eixos mais valorizados da cidade. A região destaca-se pela presença de importantes parques, praças e áreas verdes, com cobertura vegetal significativa, o que fortalece a conectividade das áreas verdes livres. Convive com essas características, também, a presença de ocupação espontânea por Comunidades de Interesse Social (CIS) em áreas de ZEIS (Zonas Especiais de Interesse Social), caracterizadas por altos índices de vulnerabilidade social e altas densidades demográficas e construtivas, configurando situações de risco de deslizamento.

Na **RPA 4**, situada na Zona Oeste, a área é marcada por rendimentos nominais mensais mais altos em sua porção leste, enquanto a porção mais periférica apresenta rendimentos de até 10 salários-mínimos. A região possui baixa vulnerabilidade social e é beneficiada pela presença de áreas verdes. A variação de altimetria é uma característica marcante da região, que também abrange áreas protegidas dentro de Unidades de Conservação da Natureza.

A **RPA 5**, localizada entre os rios Jiquiá e Tejipió, apresenta baixa e média densidade populacional, com a presença de CIS em áreas de ZEIS. Essas áreas enfrentam desafios relacionados ao risco de alagamentos, precariedade das ocupações e cobertura incompleta pelas redes de infraestrutura. A população local está majoritariamente nas faixas de menor renda, vivendo em condições de maior vulnerabilidade socioambiental.

Por fim, a **RPA 6**, que inclui bairros da Zona Sul, concentra a mais intensa verticalização da cidade, com adensamento construtivo e populacional significativo. Trata-se de uma área com predominância de uso residencial voltado à população de maior renda, sendo um dos focos principais do mercado imobiliário. No entanto, fatia significativa apresenta densidade populacional e renda familiar média, além de áreas de alta vulnerabilidade social. A região conta com grandes áreas de risco de inundação, especialmente ao longo do Rio Tejipió, e enfrenta carência de áreas verdes. A Ilha de Deus, uma comunidade pesqueira local, recebeu recentemente intervenções de saneamento e requalificação urbana, simbolizando a luta por uma ocupação mais digna.

Figura 3 Relação dos bairros do Recife e suas respectivas RPAs

RPA	Bairros
RPA 1	Recife, Santo Amaro, Boa Vista, Cabanga, Ilha do Leite, Paissandu, Santo Antônio, São José, Coelho, Soledade, Ilha Joana Bezerra.
RPA 2	Arruda; Campina do Barreto; Encruzilhada; Hipódromo; Peixinhos; Ponto de Parada; Rosarinho; Torreão; Água Fria; Alto Santa Terezinha; Bomba do Hemetério; Cajueiro; Fundão; Porto da Madeira; Beberibe; Dois Unidos; Linha do Tiro.
RPA 3	Aflitos; Alto do Mandu; Alto José Bonifácio; Alto José do Pinho; Apipucos; Brejo da Guabiraba; Brejo de Beberibe; Casa Amarela; Casa Forte; Córrego do Jenipapo; Derby; Dois Irmãos; Espinheiro; Graças; Guabiraba; Jaqueira; Macaxeira; Monteiro; Nova Descoberta; Parnamirim; Passarinho; Pau-Ferro; Poço da Panela, Santana; Sítio dos Pintos; Tamarineira; Mangabeira; Morro da Conceição; Vasco da Gama.
RPA 4	Cordeiro; Ilha do Retiro; Iputinga; Madalena; Prado; Torre; Zumbi; Engenho do Meio; Torrões; Caxangá; Cidade Universitária; Várzea.
RPA 5	Afogados; Areias; Barro; Bongü; Caçote; Coqueiral; Curado; Estância; Jardim São Paulo; Jiquiá; Mangueira; Mustardinha; San Martin; Sancho; Tejipió; Totó.
RPA 6	Boa Viagem; Brasília Teimosa; Imbiribeira; IPSEP; Pina; Ibura; Jordão; COHAB.

Fonte: PCR (2024)

Recife, no campo de análise ambiental, assume uma relevância particular em virtude do contexto desafiador que enfrenta, exemplificado pela diminuição de espécies nativas em áreas arborizadas (Melo; Meunier, 2017). Adicionalmente, segundo Masson-Delmotte *et al.* (2021)

no Relatório de Avaliação Global de 2021 do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), Recife é a décima sexta cidade mais vulnerável às alterações, e, segundo o relatório da Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas e Estratégia de Adaptação do Recife (PCR; CAF, 2019), foram apontados seis riscos críticos para a cidade (Inundações, Deslizamentos, Doenças Transmissíveis, Ondas de Calor, Seca Meteorológica e Aumento do Nível Médio do Mar), sendo a correta avaliação da arborização urbana um importante instrumento de mitigação desses perigos.

4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

4.2.1 Avaliação dos Serviços Ecossistêmicos

Esta pesquisa fez uso do *software i-Tree Canopy* para estimar a cobertura do dossel arbóreo e seus potenciais benefícios para a qualidade do ar em áreas urbanas selecionadas. A plataforma faz parte de um conjunto de serviços digitais formulados pelo Serviço Florestal dos EUA, para avaliar os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas florestas urbanas (i-Tree,...). O *Canopy* é uma ferramenta *online* usada para avaliar as proporções de cobertura do solo, especificamente a cobertura do dossel arbóreo, que é usada para estimar as funções de qualidade do ar fornecidas pelas árvores (Nowak; Crane; Stevens, 2006). As etapas para utilização do *software* foram:

1. Identificação da área de estudo: Realizou-se o *upload* dos limites para identificar a área de interesse, permitindo que o *software* se conecte ao *Google Earth* e apresente uma visão plana dessa área. Para tanto, usou-se *shapefiles* disponibilizados pela plataforma Dados Abertos – Recife para delimitação dos limites da cidade, suas Regiões Político-Administrativas e tipologias de floresta urbana (Parques e Praças, Imóveis de Proteção de Áreas Verdes, Unidades de Conservação da Natureza, Unidades de Conservação da Paisagem e Jardim Botânico do Recife). De posse desses dados, essa pesquisa se propôs a investigar as diferentes tipologias de floresta urbana, identificando seu potencial de contribuição para a entrega de serviços ecossistêmicos para os cidadãos, e, a partir desse conjunto de informações, compreender as prioridades de gestão e planejamento específicas de dada área;
2. Criação de categorias de cobertura do solo: Foram escolhidas as categorias de uso do solo preconizadas pela plataforma, sendo essas: (i) Árvore ou arbusto (ii) Grama ou herbácea, (iii) Edificação, (iv) Estrada, (v) Outras áreas impermeáveis, (vi) Água e (viii) Solo ou Terreno Exposto;

3. Geração de um banco de dados do dossel: A partir de um ponto geográfico aleatório sobreposto à imagem do *Google Earth*, realizou-se a categorizou-se a cobertura do solo apropriada. Esse processo é repetido até que uma amostra geográfica suficiente seja obtida. O *Canopy* estima o potencial de melhoria da qualidade do ar das árvores urbanas usando funções baseadas na cobertura do dossel. Os poluentes considerados incluem os poluentes urbanos comuns: **monóxido de carbono (CO)**, **dióxido de nitrogênio (NO₂)**, **ozônio (O₃)**, e **material particulado (PM) com diâmetros menores que 2,5 µm (PM2.5)**, e **menores que 10 µm (PM10)**. Além disso, o software calcula a quantidade anual de **dióxido de carbono sequestrado (CO₂(sq))** e **armazenado (CO₂(st))** pela floresta urbana.

As análises realizadas no presente estudo utilizaram variáveis básicas fornecidas pelo *i-Tree Canopy*. Os valores utilizados para a estimativa de benefícios de poluição do ar estão apresentados na Tabela 1. A equação do *i-Tree Canopy* considera a taxa de remoção de poluentes atmosféricos pelas árvores em gramas por metro quadrado por ano (g/m²/ano) e seu valor monetário correspondente em reais por tonelada por ano (R\$/t/ano).

Tabela 1 Valores básicos da equação do *i-Tree Canopy* para benefícios de poluição do ar

Benefícios da poluição do ar			
Abreviação	Descrição	Taxa de remoção (g/m ² /ano)	Valor Monetário (R\$/t/ano)
CO	Monóxido de carbono removido anualmente	0,101	R\$ 2.436,70
NO ₂	Dióxido de nitrogênio removido anualmente	0,506	R\$ 152,90
O ₃	Ozônio removido anualmente	5,384	R\$ 722,71
PM10	Matéria particulada maior que 2,5 microns e menor que 10 microns removida anualmente	1,913	R\$ 12.208,65
PM2.5	Matéria particulada menor que 2,5 microns removida anualmente	0,266	R\$ 30.606,74
SO ₂	Dióxido de enxofre removido anualmente	0,506	R\$ 26,43

Fonte: *i-Tree Canopy*

As árvores removem diferentes quantidades de poluentes, sendo o ozônio (O₃) o mais removido, com uma taxa de 5,384 g/m²/ano e um valor monetário associado de R\$ 722,71 por tonelada. A remoção de partículas inaláveis (PM10 e PM2.5) é particularmente significativa, contribuindo para a melhora da qualidade do ar e a saúde pública, com destaque para o valor

monetário elevado da remoção de PM_{2.5} (R\$ 30.606,74 por tonelada). Outros poluentes, como monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂), também são removidos pelas árvores, reforçando seu papel crucial na redução da poluição do ar em áreas urbanas e apresentam um valor significativo no total de remoção na referida equação, seja por quantidade ou valores monetários

A Tabela 2 apresenta os benefícios hidrológicos proporcionados pelas árvores, que incluem o escoamento evitado, a interceptação da água da chuva, a evaporação e a transpiração. Esses processos são essenciais para mitigar os impactos de inundações e melhorar a regulação do ciclo hidrológico.

Tabela 2 Valores básicos da equação do *i-Tree Canopy* para benefícios hidrológicos

Benefícios hidrológicos			
Abreviação	Descrição	Efeito de árvores (L/m ² /ano)	Valor Monetário (R\$/m ³ /ano)
AVRO	Escoamento evitado	0,840	R\$ 14,26
E	Evaporação	69.296	
I	Interceptação	69,642	
T	Transpiração	107,380	
PE	Evaporação potencial	526,884	
PET	Evapotranspiração potencial	526,884	

Fonte: *i-Tree Canopy*

O escoamento evitado (AVRO) pelas árvores é estimado em 0,840 L/m²/ano, com um valor monetário de R\$ 14,26 por metro cúbico, destacando sua importância na redução de enchentes. Processos como a interceptação (69,642 L/m²/ano) e a evaporação (69,296 L/m²/ano) contribuem significativamente para a retenção de água pelas copas das árvores, enquanto a transpiração atinge 107,380 L/m²/ano. O papel das árvores na evaporação potencial (PE) e na evapotranspiração potencial (PET) também se destaca, com taxas estimadas de 526,884 L/m²/ano, demonstrando a relevância das florestas urbanas para o equilíbrio hídrico das cidades.

Os benefícios relacionados ao carbono estão sintetizados na Tabela 3 e abrangem a quantidade de carbono sequestrado anualmente, além do carbono armazenado nas árvores ao longo de sua vida.

Tabela 3 Valores básicos da equação do *i-Tree Canopy* para benefícios de carbono

Abreviação	Descrição	Benefícios do Carbono	
		Taxa de carbono (t/ha/ano)	Taxa equivalente de CO ₂ (t/ha/ano)
SEQ_CO SEQ_CO2	Sequestrado anualmente em árvores	3,060	11,220
ESTOQ_C ESTOQ_CO2	Armazenamento em árvores (Não é um benefício anual)	76,848	281,776

Fonte: *i-Tree Canopy*Preço do Carbono \$/T 1135,97 e Preço equivalente de CO₂ \$/T 309,81

Anualmente, estima-se que as árvores sequestram 3,060 t/ha de carbono, o que equivale a 11,220 t/ha de CO₂. O carbono armazenado nas árvores, embora não seja um benefício anual, é considerável, atingindo 76,848 t/ha de carbono ou 281,776 t/ha de CO₂. O preço do carbono utilizado nas estimativas foi de R\$ 1.135,97 por tonelada, enquanto o preço equivalente de CO₂ foi de R\$ 309,81 por tonelada.

Para a realização das análises, foram agrupadas e simplificadas as variáveis de serviços ecossistêmicos obtidas pelo programa, escolhendo as que envolvem o carbono, por ser uma métrica discutida no mercado e como geradora dos malefícios nos efeitos das mudanças climáticas. Além disso, foi selecionada a soma dos poluentes atmosféricos (e seu valor monetário), por simplificar a quantidade de categorias de análise, e o escoamento evitado, por apresentar uma correlação monetária, o que auxilia os principais objetivos na discussão dessa pesquisa.

Figura 4 Total de variáveis de serviços ecossistêmicos

Variáveis de Serviços Ecossistêmicos	
Abreviação	Indicador
SEQ_C	Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada
SEQ_CO2	Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada
SEQ_BRL	Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais
ESTOQ_C	Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada
ESTOQ_CO2	Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada
ESTOQ_BRL	Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais
POLU*	Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma

POLU_BRL	Poluentes atmosféricos removidos anualmente em reais
AVRO	Escoamento evitado em quilolitros
AVRO_BRL	Escoamento evitado em reais

Fonte: Do autor (2025)

*Poluentes atmosféricos referem-se a soma dos gases: CO, NO₂, O₃, PM10, PM2.5 e SO₂

Para avaliar a cobertura do solo, pontos foram selecionados aleatoriamente em cada área de estudo foram classificados, a fim de corresponder uma densidade amostral suficiente (Ribeiro *et al.*, 2021). A quantidade de pontos analisados foi determinada com base nas recomendações do *software*, que sugere entre 500 e 1.000 pontos, considerando fatores como o tamanho da área de estudo, a proporção de cobertura arbórea não florestal, o nível de erro aceitável para as estimativas e a possibilidade de monitorar mudanças na cobertura ao longo do tempo. Tais procedimentos asseguraram a uniformidade na análise e a confiabilidade dos dados obtidos. Esses dados foram usados para estimar a proporção de uma dada cobertura do solo (p) e seu erro padrão associado (σp) a devido número de pontos (N) (Equação 1).

Equação 1 Erro padrão calculado na ferramenta *i-Tree Canopy*

$$\sigma p = \sqrt{([p(1 - p)]/N)}, \quad p = n/N$$

Fonte: *iTree Canopy*

A qualidade dos resultados obtidos pelo *i-Tree Canopy* depende de três fatores principais. O primeiro é a habilidade do analista em classificar corretamente os pontos em suas respectivas categorias. O segundo está relacionado à qualidade das imagens do Google Earth, incluindo aspectos como resolução e sombras. O terceiro é o número de pontos classificados, sendo que, quanto mais pontos forem categorizados, maior será a precisão e menor o erro padrão. Adicionalmente, se o número de categorias for elevado, será necessário classificar mais pontos para alcançar um erro padrão adequado (Olivatto, 2019).

4.2.2 Obtenção e Análise de Indicadores Socioeconômicos

Para essa operação, obteve-se dados do Censo Demográfico do ano de 2022 no repositório oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Esses foram adquiridos de acordo com as Regiões Político-Administrativa (RPAs) da cidade do Recife. A união das informações obtidas anteriormente, sobreposta com os dados socioeconômicos providos pelo referido instituto de pesquisa trouxe para a pesquisa o bojo de investigação a cerca da justiça climática de fato.

Para isso, as variáveis obtidas seguiram o modelo do Indicador de Vulnerabilidade Social proposto pelo projeto o Parque Capibaribe, desenvolvido a fim de dimensionar e localizar as áreas com maior concentração de famílias em situação de pobreza e/ou vulnerabilidade. Ademais, baseou-se no estudo de Cuchi *et al.* (2024) para compreender indicadores socioeconômicos válidos. Dentre as variáveis selecionadas estão:

Figura 5 Indicadores socioeconômicos

Indicadores Socioeconômicos		
Abreviação	Grupo	Indicador
TPEP	Demográfico e Social	Percentual da população preta e parda
TCRIA	Demográfico e Social	Percentual das crianças de 0 a 9 anos
TIDOSO	Demográfico e Social	Percentual de idosos de 60 ou mais anos
TANALFA	Demográfico e Social	Percentual de responsáveis pelo domicílio analfabetos com mais de 15 anos
TMULHER	Demográfico e Social	Percentual de mulheres responsáveis pelo domicílio
TESGOTO	Infraestrutura e Serviços	Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados com destinação do esgoto do banheiro ou sanitário para dejeções em fossa rudimentar, buraco, vala, rio, lago, córrego, mar ou outra forma
TAGU	Infraestrutura e Serviços	Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde a água não chega encanada ao domicílio
TLIXO	Infraestrutura e Serviços	Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde o lixo é jogado em terreno baldio, encosta ou área pública

Fonte: Do autor (2025)

4.2.3 Avaliação Estatística dos Dados

Utilizou-se do método de correlação de Mann-Kendall para analisar as relações entre os serviços ecossistêmicos e os indicadores socioeconômicos entre as Regiões Político-Administrativas da cidade do Recife (Mann, 1945; Kendall, 1975). O coeficiente de correlação de Kendall foi escolhido devido à sua robustez contra distribuições não paramétricas e sua eficácia no tratamento de outliers, além de sua recente utilização em Cuchi *et al.* (2024) em

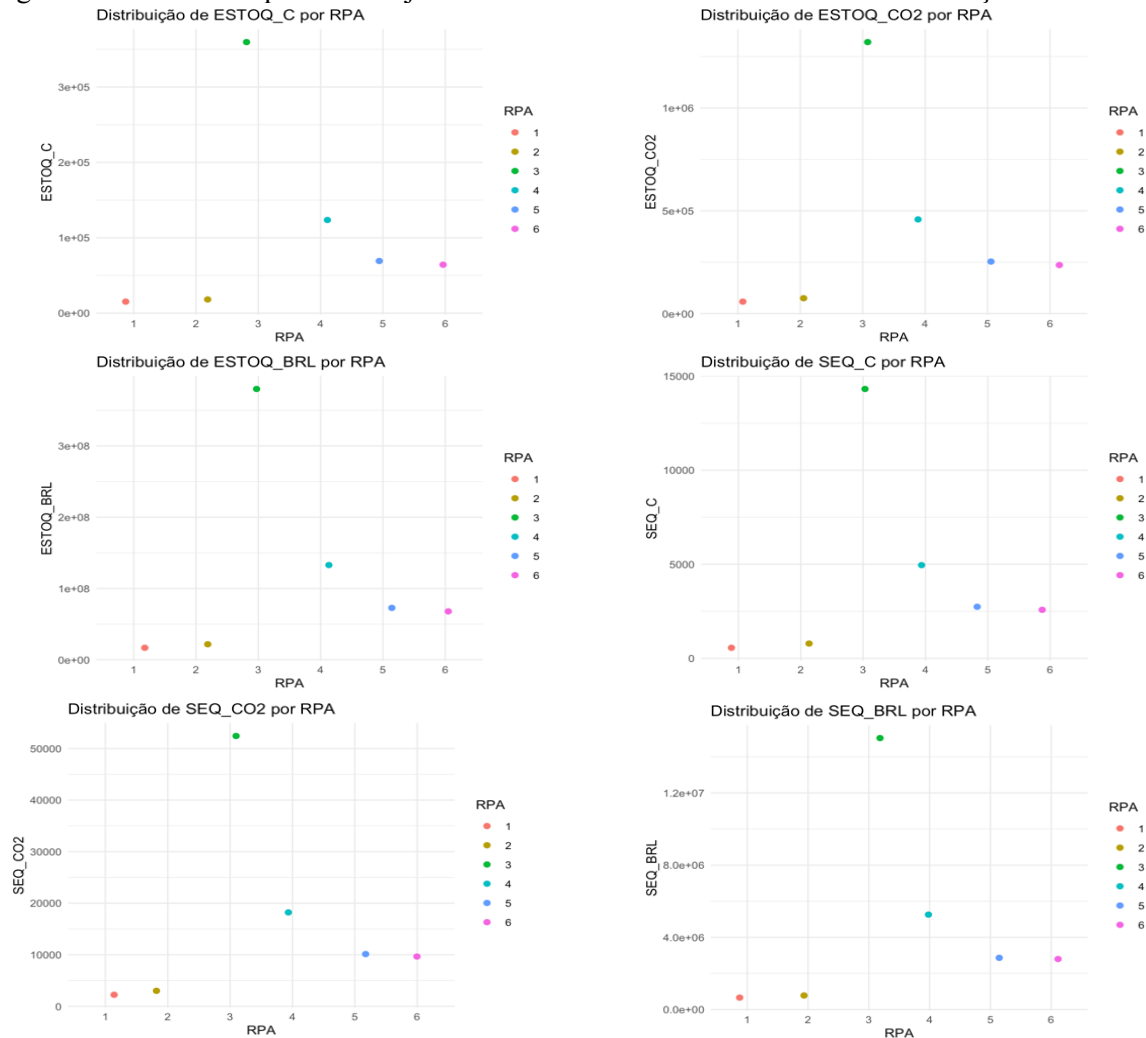
estudos de justiça climática e comparação entre diferentes regiões. De acordo com os autores, esta análise proporciona explorar as associações entre essas variáveis e identificar quaisquer tendências significativas nas áreas de estudo. Ainda segundo o estudo, a significância e magnitude das tendências devem ser estimadas com o estimador de inclinação de Sen, que é um método livre de distribuição e resistente a outliers, permitindo a visualização de tendências e a magnitude de uma variável em resposta a mudanças em outra, fornecendo *insights* valiosos sobre suas interrelações (Nyelele; Kroll, 2020).

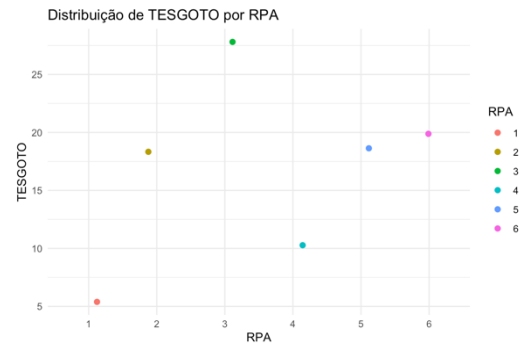
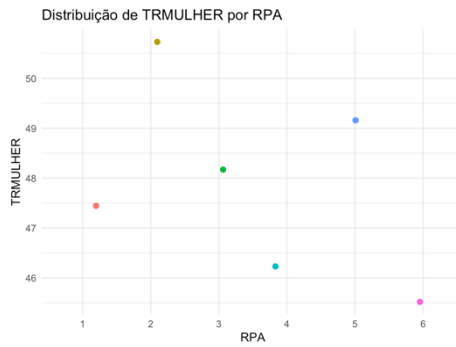
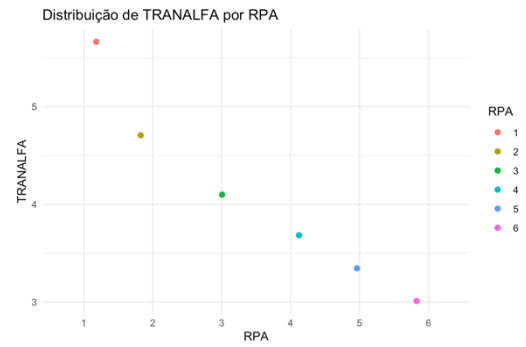
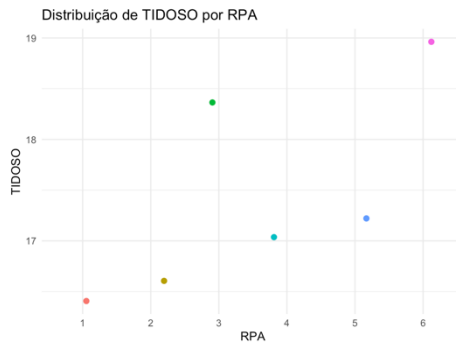
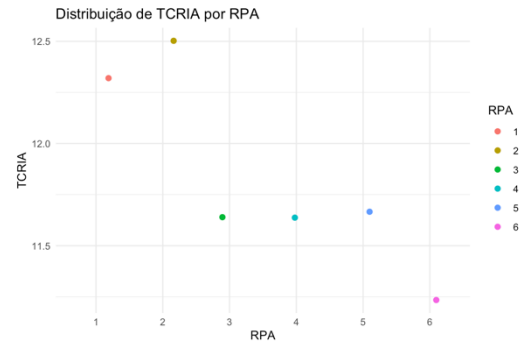
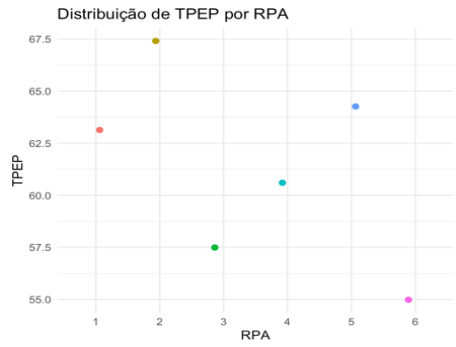
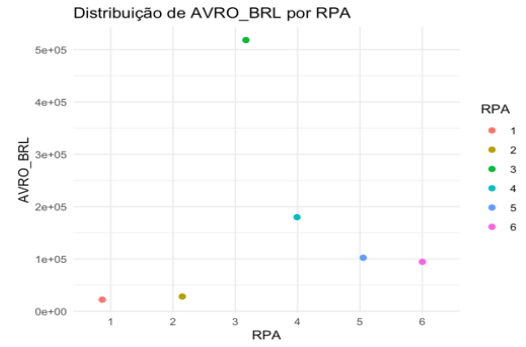
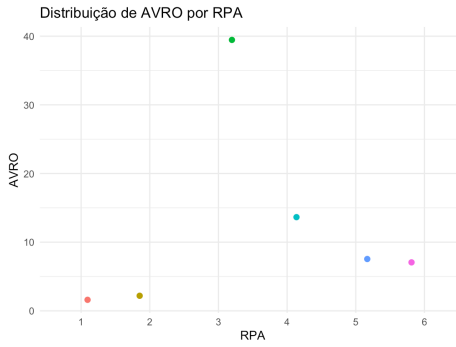
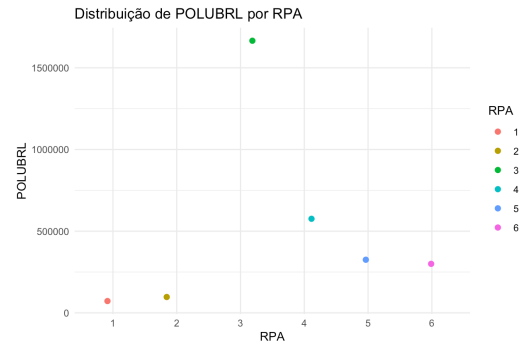
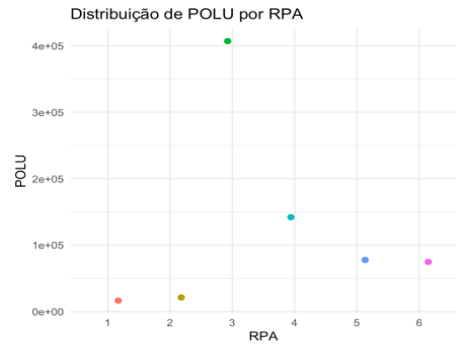
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

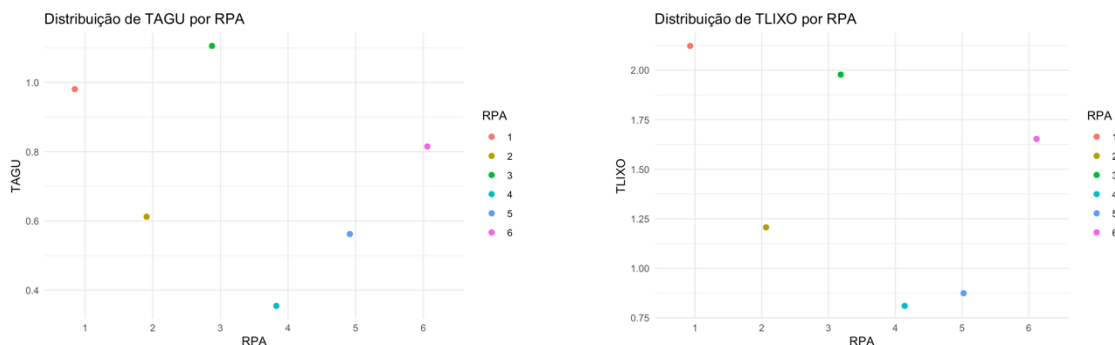
5.1 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM DIFERENTES REGIÕES POLÍTICO-ADMINISTRATIVAS

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis aplicados aos indicadores socioeconômicos e serviços ecossistêmicos em diferentes Regiões Político-Administrativas (RPA) mostram que não há diferenças significativas entre os grupos para as variáveis analisadas. Para todos os testes realizados, o valor de p foi superior a 0.05, o que indica que as distribuições das variáveis entre as diferentes RPAs são semelhantes e não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula de que as medianas dos grupos são iguais (Figura 6).

Figura 6 Gráfico de dispersão com jitter dos indicadores socioeconômicos e os serviços ecossistêmicos







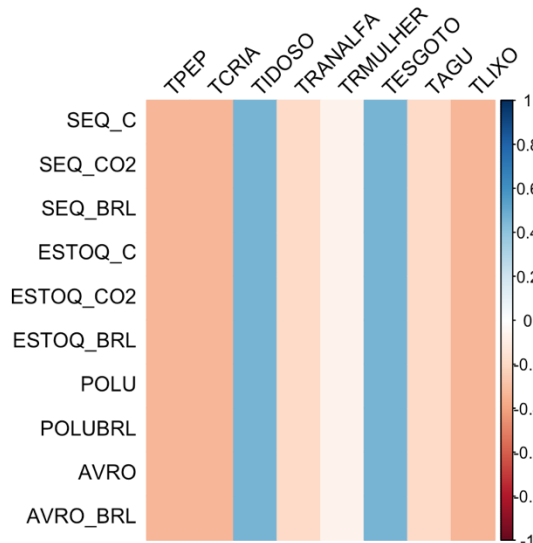
Fonte: Do autor (2025)

NOTA: Onde, TPEP = Percentual da população preta e parda; TCRIA = Percentual das crianças de 0 a 9 anos; TIDOSO = Percentual de idosos de 60 ou mais anos; TRANALFA = Percentual de responsáveis pelo domicílio analfabeto com mais de 15 anos; TRMULHER = Percentual de mulheres responsáveis pelo domicílio; TEGOTO = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados com destinação do esgoto do banheiro ou sanitário para dejeções em fossa rudimentar, buraco, vala, rio, lago, córrego, mar ou outra forma; TAGU = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde a água não chega encanada ao domicílio; TLIXO = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde o lixo é jogado em terreno baldio, encosta ou área pública; SEQ_C = Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada; SEQ_CO2 = Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada; SEQ_BRL = Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; ESTOQ_C = Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_CO2 = Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_BRL = Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; POLU = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma; POLUBRL = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em reais; AVRO = Escoamento evitado em quilolitros; AVRO_BRL = Escoamento evitado em reais.

Os indicadores socioeconômicos analisados, como TPEP, TCRIA, TIDOSO, TRANALFA, TRMULHER, TEGOTO, TAGU e TLIXO, não apresentaram diferenças significativas entre as RPAs, com *p-values* iguais a 0.4159 em todos os casos. Isso sugere que, no contexto das RPAs de Recife, os indicadores socioeconômicos podem ser similares, sem variações importantes entre as diferentes regiões.

Da mesma forma, os serviços ecossistêmicos analisados, incluindo SEQ_C, SEQ_CO2, SEQ_BRL, ESTOQ_C, ESTOQ_CO2, ESTOQ_BRL, POLU, POLUBRL, AVRO e AVRO_BRL, também não apresentaram diferenças significativas entre as RPAs, com *p-values* consistentemente altos, indicando que as distribuições desses serviços são semelhantes em todas as regiões. Esses resultados sugerem que, ao contrário do que poderia ser esperado em uma análise de diferentes Regiões Político-Administrativas, não existem variações substanciais nos indicadores socioeconômicos e nos serviços ecossistêmicos entre as mesmas (Figura 7).

Figura 7 Correlograma de Mann-Kendall (τ) entre os serviços ecossistêmicos provenientes da floresta urbana e os indicadores socioeconômicos



Fonte: Do autor (2025)

NOTA: A cor da legenda, abaixo do correlograma, exibe os coeficientes de correlação e a relação de cores. Apenas correlações significativas a 5% de erro são apresentadas. Onde, TPEP = Percentual da população preta e parda; TCRIA = Percentual das crianças de 0 a 9 anos; TIDOSO = Percentual de idosos de 60 ou mais anos; TRANALFA = Percentual de responsáveis pelo domicílio analfabeto com mais de 15 anos; TRMULHER = Percentual de mulheres responsáveis pelo domicílio; TEGOTO = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados com destinação do esgoto do banheiro ou sanitário para dejeções em fossa rudimentar, buraco, vala, rio, lago, córrego, mar ou outra forma; TAGU = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde a água não chega encanada ao domicílio; TLIXO = Percentual de domicílios particulares permanentemente ocupados onde o lixo é jogado em terreno baldio, encosta ou área pública; SEQ_C = Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada; SEQ_CO2 = Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada; SEQ_BRL = Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; ESTOQ_C = Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_CO2 = Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_BRL = Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; POLU = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma; POLUBRL = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em reais; AVRO = Escoamento evitado em quilolitros; AVRO_BRL = Escoamento evitado em reais.

As áreas urbanas tendem a não mostrar um padrão claro ou consistente entre os serviços ecossistêmicos e as condições socioeconômicas, refletindo, talvez, a heterogeneidade das tipologias de uso do solo e a complexidade dos processos urbanos nessas regiões. A presença desses serviços nessas áreas pode estar mais fortemente ligada à infraestrutura urbana e ao manejo do ambiente urbano do que a fatores socioeconômicos mais amplos, como a renda ou a educação. A ausência de significância estatística ($P > 0.05$) implica que, apesar de alguns indicadores mostrarem correlação, esses efeitos podem ser de natureza mais superficial ou local, sem que haja um padrão robusto para afirmar que os fatores socioeconômicos são os principais determinantes da provisão de serviços ecossistêmicos nessas áreas. O declive de Sen, que é invariável, também sugere que não há uma nos dados analisados.

A distribuição das Unidades Protegidas (UPs) nas Regiões Político-Administrativas (RPAs) do Recife revela variações em seus números. A RPA 3 se destaca com 85.198 árvores,

o maior número entre as RPAs, além de liderar em termos de UCNs e IPAVs, com 8 e 78, respectivamente. Isso indica que essa região possui uma infraestrutura robusta de espaços verdes e áreas de conservação ambiental, o que pode contribuir para a resiliência ambiental e a melhoria da qualidade de vida da população. Em contraste, a RPA 1 apresenta o menor número de árvores (16.836) e uma quantidade reduzida de UCNs (4) e IPAVs (5), sugerindo uma carência de cobertura vegetal e de infraestrutura para a proteção ambiental (Tabela 6).

Tabela 4 Número de árvores, parques e praças, UCPs, JBR, UCNs, e IPAVs reconhecidas pela Prefeitura da Cidade do Recife

RPA	Árvores	Parques e Praças	JBR	UCPs	UCNs	IPAVs	UPs*
1	16.836	82	0	0	4	5	91
2	29.549	60	0	0	1	11	72
3	85.198	77	0	2	8	78	165
4	71.194	93	0	0	10	15	118
5	33.430	84	1	0	10	42	137
6	22.608	106	0	0	9	3	118
TOTAL	258.815	502	0	0	45	154	701

Fonte: Do autor (2025)

*O número de unidades protegidas pode estar alterado devido a partes dessas que podem estar concomitantes em duas RPAs, surgindo em duplicata no computo final

NOTA: JBR: Jardim Botânico do Recife; UCP: Unidade de Conservação da Paisagem; UCN: Unidade de Conservação da Natureza; IPVA: Imóvel de Proteção da Área Verde e UP: Unidade Protegida.

A RPA 6, por sua vez, destaca-se com o maior número de parques e praças (106), mas possui o menor número de IPAVs (3), o que pode indicar um desafio em termos de proteção de áreas verdes e imóveis relacionados. A RPA 5, com 33.430 árvores, 84 parques e praças, 1 JBR, 10 UCNs e 42 IPAVs, apresenta um total de 137 UPs, refletindo uma infraestrutura verde significativa, mas ainda assim inferior à da RPA 3. A RPA 4, com 71.194 árvores, 93 parques e praças, 10 UCNs e 15 IPAVs, totaliza 118 UPs, sendo a terceira em termos de concentração de UPs. De maneira geral, a RPA 3 é a que apresenta a maior concentração de UPs, com um total de 165, seguida pelas RPAs 5 (137) e 4 (118), enquanto as RPAs 2 e 1 possuem o menor número total de UPs, com 72 e 91, respectivamente.

Esses resultados podem estar relacionados à urbanização e à densidade populacional das diferentes RPAs. Regiões com maior urbanização tendem a ter mais investimentos em áreas verdes e na criação de parques e praças, enquanto áreas mais periféricas, podem enfrentar dificuldades para implementar e manter essas infraestruturas. Uma abordagem mais integrada e focada na criação e manutenção de áreas arborizadas pode contribuir para a redução das desigualdades urbanas e para a construção de uma cidade mais sustentável e resiliente, onde

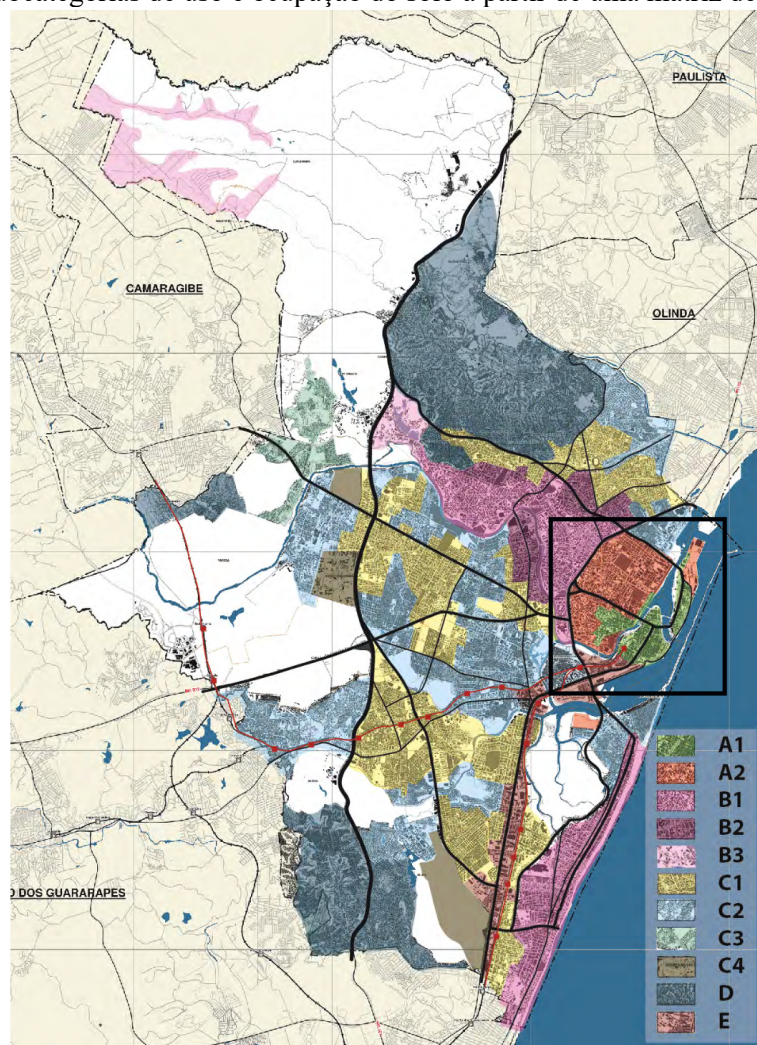
todos os habitantes possam acessar os benefícios dos serviços ecossistêmicos e de ambientes naturais (Liotta; Kervinio; Levrel; Tardieu, 2020)

A pesquisa utilizou como recorte analítico as Regiões Político-Administrativas (RPAs) do Recife, uma delimitação territorial já estabelecida pela legislação municipal. Essa escolha se justifica por serem unidades amplamente reconhecidas no planejamento urbano, abrangendo áreas que, teoricamente, possuem estruturas sociais e ambientais semelhantes. Além disso, as RPAs oferecem uma vantagem administrativa, pois possuem centralidade e facilidade para a tomada de decisões, sendo frequentemente utilizadas para ações governamentais e estudos urbanos.

No entanto, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, constatou-se que, dada a marcante desigualdade socioeconômica de Recife, as RPAs podem não refletir integralmente as realidades locais. A convivência de populações com diferentes características socioeconômicas dentro de uma mesma região demonstra que essa divisão territorial pode homogeneizar áreas que, na prática, são extremamente heterogêneas em termos sociais, ambientais e de acesso a serviços urbanos.

Uma solução intermediária poderia ser a adoção de análise na escala das subcategorias discutidas nas Matrizes de Integração, presentes no Diagnóstico Propositivo do Plano Diretor da cidade. Essas subcategorias oferecem um nível de detalhamento mais refinado, permitindo maior precisão nas análises, sem, contudo, exigir a complexidade operacional que o uso dos setores censitários demandaria. Essa abordagem conciliaria as vantagens das RPAs – como sua aplicabilidade administrativa e reconhecimento institucional – com a maior sensibilidade às especificidades locais proporcionada por uma subdivisão mais detalhada (PCR; ICPS, 2018).

Figura 8 Subcategorias de uso e ocupação do solo a partir de uma matriz de cruzamentos



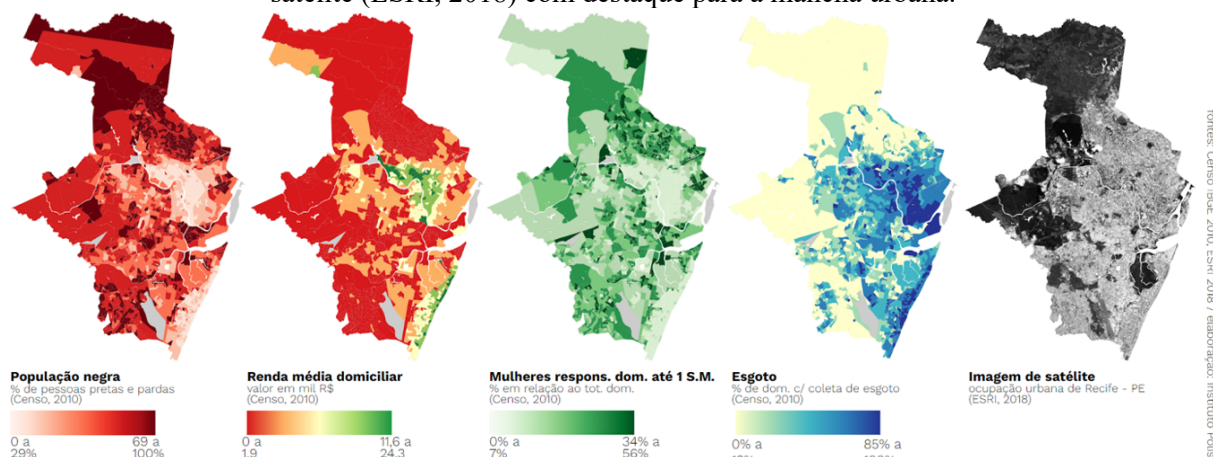
Fonte: Prefeitura do Recife e Instituto da Cidade Pelópidas Silveira (2018).

Nesse contexto, outros autores sugerem o uso dos setores censitários do IBGE como alternativa para análises mais precisas e detalhadas. De fato, o trabalho de análise de risco realizado pela Prefeitura do Recife destacou a eficiência do uso desses setores, já que permitem um mapeamento mais granular e capaz de revelar nuances territoriais, especialmente em questões socioeconômicas e ambientais (PCR; CAF, 2019). Apesar disso, os setores censitários não foram utilizados nesta pesquisa devido ao tempo reduzido disponível para a execução do estudo, além da necessidade de esforços metodológicos mais aprofundados que fugiriam ao escopo inicial.

O Instituto Pólis (2022) realizou análises significativas sobre justiça climática e socioambiental na cidade do Recife, destacando diferenças importantes entre bairros e setores censitários com base nos dados do Censo Demográfico de 2010. Essas análises revelaram padrões de vulnerabilidade ambiental e desigualdades sociais em diferentes áreas da cidade,

incluindo aquelas com risco geológico e hidrológico. Diferentemente desta pesquisa, que utiliza dados sobre as amplas Regiões Político-Administrativas, o estudo do Instituto Pólis adota uma abordagem mais detalhada, focando em unidades territoriais menores (Figura 9).

Figura 9 Mapas de Recife (PE) com os dados sobre concentração da população negra, renda média domiciliar, concentração de domicílios cuja pessoa responsável é do sex feminino com rendimento de até 1 S.M., taxa de cobertura da rede de coleta de esgoto sanitário (Censo IBGE, 2010) e imagem de satélite (ESRI, 2018) com destaque para a mancha urbana.



Fonte: Instituto Pólis (2022)

As áreas de risco geológico, como Caxangá, Ibura e os morros da Zona Norte, destacam-se pela elevada concentração de moradores de baixa renda e condições socioeconômicas adversas. De acordo com os Instituto Pólis (2022), estão localizadas nessas áreas 677 zonas de risco geológico, a renda média é de apenas R\$ 1,1 mil por domicílio, a população negra representa 68% dos moradores, e 27% das residências são chefiadas por mulheres de baixa renda. Esses territórios apresentam maior exposição a deslizamentos de terra, vinculados tanto às condições naturais de declividade quanto à precariedade da infraestrutura urbana.

Além disso, o referido instituto destaca que as áreas de risco de inundação, concentradas em bairros como Afogados, Jardim São Paulo, Ibura e Areias, possuem um perfil demográfico que também evidencia desigualdades socioambientais. Nesses territórios, a população negra representa 59% do total, superando a média municipal de 55%, e a renda domiciliar média é de R\$ 2,1 mil, significativamente inferior à média do Recife, que é de R\$ 2,7 mil. Nessas áreas, 22,1% das residências são chefiadas por mulheres com rendimentos de até um salário-mínimo, enquanto a média da cidade é de 19,7%.

A desigualdade no acesso a saneamento básico é outro fator que agrava os impactos da crise climática nessas comunidades vulneráveis, discutido pelo Instituto Pólis. Apenas 55% do município é atendido pela rede de coleta de esgoto, e nas favelas (ou nos anteriormente

denominados aglomerados subnormais) essa cobertura é ainda menor, atingindo apenas 40%. Essa precariedade obriga as famílias a armazenarem água em condições inadequadas, favorecendo a reprodução do mosquito *Aedes aegypti* e aumentando o risco de transmissão de doenças vetoriais. Em 2015, durante a epidemia da Síndrome Congênita do Zika, Recife foi epicentro da crise, com 39% dos casos concentrados em Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS). O padrão de dispersão territorial da doença revelou um viés racial: 75,8% das mães afetadas eram negras, com idade entre 19 e 35 anos, e 87,1% tinham escolaridade de até o ensino médio (Instituto Pólis, 2022).

No contexto da emergência climática, a exposição desproporcional de populações vulneráveis reflete injustiças socioambientais estruturais. Em 2021, 53% das internações em Recife por doenças vetoriais graves envolveram pessoas pretas ou pardas. Já as doenças de veiculação hídrica atingiram 64,1% de indivíduos pertencentes a esses grupos. Essas condições reforçam a necessidade de estratégias de mitigação e adaptação climática que considerem as desigualdades históricas e estruturais da cidade, como a falta de investimento em saneamento, a má gestão do território e o racismo ambiental (Instituto Pólis, 2022).

Em contraste, áreas de alta renda, como os bairros das Graças, Torre e Santana, historicamente ocupadas por elites, possuem urbanização integrada com a infraestrutura hídrica, reduzindo significativamente a exposição a riscos ambientais. Essa desigualdade espacial e social demonstra como o acesso a recursos, infraestrutura e políticas públicas de qualidade pode influenciar drasticamente a resiliência das populações diante das mudanças climáticas. Desse modo, pode-se perceber que, apesar de diferenças metodológicas de análise a alteração da escala de análise pode produzir diferentes resultados na percepção de justiça socioambiental e climática, desse modo, alterações significativas podem ser evidenciadas.

5.2 CONTRIBUIÇÃO DAS DIFERENTES TIPOLOGIAS DE FLORESTA URBANA

Os dados coletados dos serviços ecossistêmicos mostram informações detalhadas sobre os benefícios fornecidos pela floresta urbana de diferentes Regiões Político-Administrativas (RPAs) do Recife, incluindo o sequestro de carbono e dióxido de carbono, estoque de carbono, remoção de poluentes e escoamento evitado, bem como seus respectivos valores monetários. É possível identificar seus valores e os padrões de distribuição entre as RPAs, o que pode levar a inferências para estudos de vulnerabilidade e risco.

Tabela 5 Produção de serviços ecossistêmicos por RPA na cidade do Recife

RPA	SEQ_C (T)	SEQ_CO2 (T)	SEQ_BR L	ESTOQ_C (T)	ESTOQ_CO2 (T)	ESTOQ BRL	POLU (KG)	POLU_B RL	AVRO(K L)	AVRO_B RL
1	5,86.10 ²	2,15.10 ³	6,17.10 ⁵	1,47.10 ⁴	5,40.10 ⁴	1,55.10 ⁷	1,66.10 ⁴	6,78.10 ⁴	1,61.10 ³	2,13.10 ⁴
2	7,74.10 ²	2,84.10 ³	8,15.10 ⁵	1,94.10 ⁴	7,13.10 ⁴	2,05.10 ⁷	2,20.10 ⁴	8,95.10 ⁴	2,13.10 ³	2,81.10 ⁴
3	1,43.10 ⁴	5,26.10 ⁴	1,51.10 ⁷	3,60.10 ⁵	1,32.10 ⁶	3,79.10 ⁸	4,07.10 ⁵	1,66.10 ⁶	3,94.10 ⁴	5,20.10 ⁵
4	4,97.10 ³	1,82.10 ⁴	5,23.10 ⁶	1,25.10 ⁵	4,58.10 ⁵	1,31.10 ⁸	1,41.10 ⁵	5,75.10 ⁵	1,36.10 ⁴	1,80.10 ⁵
5	2,72.10 ³	9,98.10 ³	2,91.10 ⁶	6,84.10 ⁴	2,51.10 ⁵	7,31.10 ⁷	7,72.10 ⁴	3,20.10 ⁵	7,47.10 ³	1,00.10 ⁵
6	2,60.10 ³	9,52.10 ³	2,73.10 ⁶	6,52.10 ⁴	2,39.10 ⁵	6,86.10 ⁷	7,36.10 ⁴	3,00.10 ⁵	7,13.10 ³	9,42.10 ⁴
TOTAL	2,60.10 ⁴	9,53.10 ⁴	2,74.10 ⁷	6,53.10 ⁵	2,39E+06	6,88E+08	7,37.10 ⁵	3,01.10 ⁶	7,14.10 ⁴	9,44.10 ⁵

Fonte: Do autor (2025)

NOTA: SEQ_C = Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada; SEQ_CO2 = Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada; SEQ_BRL = Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; ESTOQ_C = Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_CO2 = Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_BRL = Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; POLU = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma; POLUBRL = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em reais; AVRO = Escoamento evitado em quilolitros; AVRO_BRL = Escoamento evitado em reais.

No que diz respeito ao sequestro de carbono e dióxido de carbono (SEQ_C_TOTAL e SEQ_CO2_TOTAL), a RPA 3 se destaca significativamente, com 14.340 toneladas de carbono sequestradas e 52.590 toneladas de CO₂, valores que superam as demais RPAs. Em contrapartida, RPAs como 1, 5 e 6 apresentam valores menores. Os valores monetários associados ao sequestro de carbono (SEQ_BRL_TOTAL) seguem a mesma tendência. A RPA 3 gera R\$ 15.090.348,00 em valores estimados, enquanto as RPAs 1 e 6 apresentam os menores valores, de R\$ 616.947,00 e R\$ 2.732.415,00, respectivamente.

Quanto ao estoque de carbono e CO₂ (ESTOQ_C_TOTAL e ESTOQ_CO2_TOTAL), a RPA 3 novamente lidera, com 360.190 toneladas de carbono e 1.320.710 toneladas de CO₂ armazenadas, valores substancialmente superiores às demais RPAs. Os indicadores relacionados à remoção de poluentes atmosféricos (POLU_TOTAL e POLU_BRL_TOTAL) mostram um padrão semelhante. A RPA 3 remove 406.700 kg de poluentes, gerando um valor monetário de R\$ 1.657.913,00.

Em relação ao escoamento evitado (AVRO_TOTAL e AVRO_BRL_TOTAL), a RPA 3 também apresenta os melhores resultados, com 39.370 quilolitros de escoamento superficial evitados, o que representa um benefício econômico de R\$ 520.065,00. Em contrapartida, as RPAs 1 e 6 possuem valores menores, o que pode estar relacionado à baixa cobertura vegetal e à limitada capacidade de retenção de água da chuva, aumentando o risco de enchentes.

Ao considerar os dados totais do município, observa-se que a floresta urbana do Recife apresenta sequestro de carbono que alcança um total de 25.990,62 toneladas, com o sequestro

de CO₂ atingindo 95.308,96 toneladas. Em termos econômicos, o valor associado a esse serviço é de aproximadamente R\$ 27.396.663,00. O estoque de carbono é igualmente expressivo, com um total de 652.790,43 toneladas de carbono armazenado, o que representa um valor econômico de R\$ 2.393.581,55. O estoque de CO₂ segue a mesma tendência, totalizando 2.393.581,55 toneladas e gerando R\$ 688.033.017,00 em benefícios. A remoção de poluentes atmosféricos alcança 737.075,65 kg, com um valor econômico de R\$ 3.009.955,00, enquanto o escoamento evitado chega a 71.350 quilolitros (KL), representando R\$ 944.182,00 em benefícios econômicos.

Em comparação com a cidade de Juiz de Fora, que adotou uma metodologia semelhante, o estoque médio total de carbono na cidade foi de 158 mil toneladas, o que corresponde a 580 mil toneladas de CO₂, gerando um valor estimado de aproximadamente R\$ 173,5 milhões para o inventário anual. Além disso, destaca-se o estoque bruto de carbono na vegetação arbórea do município, que totalizou 3,98 milhões de toneladas de carbono e 14,59 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, resultando em um valor bruto estimado de R\$ 4,35 bilhões (Costemalle; Cândido; Carvalho, 2023)

Discutindo dados sobre a cidade de Curitiba, as árvores urbanas podem remover da atmosfera cerca de 756,9 kg/m²/ano de poluentes atmosféricos; enquanto em São Paulo, esse valor pode chegar a 4453,0 kg/m²/ano de poluição. Os pesquisadores ainda concluíram que os modelos do *i-Tree Canopy* fornecem informações úteis sobre as mudanças no uso da terra, principalmente aquelas relacionadas as infraestruturas verdes e à infraestrutura cinza, que representam números médios para a área de estudo específica (Ribeiro *et al.*, 2021).

De acordo com o Terceiro Inventário de Emissões dos Gases do Efeito Estufa da Cidade do Recife, as emissões totalizaram 3.452.849 tCO₂ em 2016 e 3.043.608 tCO₂ em 2017, número enormemente superior ao sequestrado pela floresta urbana, que tem a capacidade de apenas 0,31% desse total. As emissões relacionadas à demanda utilizada pela população são preponderantes no perfil de emissões da cidade, respondendo por 99,7% do total, reflexo da urbanização do município e a pouca presença industrial. Os transporte e mobilidade representam 65% das emissões inventariadas, além da disposição de resíduos (19,2%) e do uso de energia (15%) (PCR; CAF, 2019)

No setor de mobilidade, destaca-se o uso de veículos individuais e a baixa oferta de transporte coletivo de qualidade, o que não apenas contribui para emissões elevadas de gases

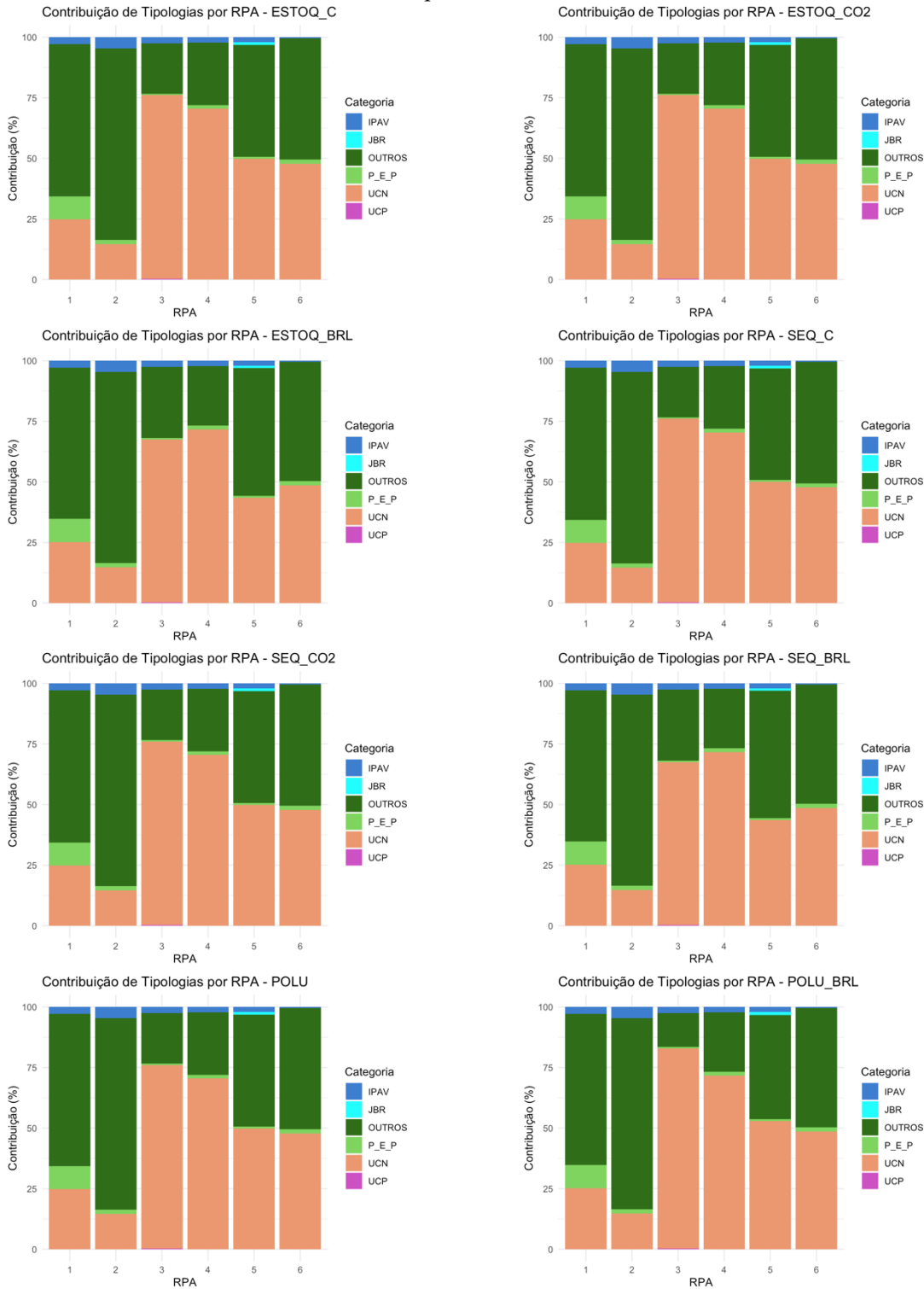
de efeito estufa (GEE), mas também afeta a qualidade de vida e acesso a áreas de lazer. As emissões do setor de resíduos estão associadas à falta de tecnologias para queima ou aproveitamento energético do biogás liberado na decomposição de resíduos, devendo os padrões tecnológicos dos veículos serem discutidos nas próximas licitações do transporte público metropolitano. Já as emissões do setor energético derivam principalmente do consumo de eletricidade (42% das emissões de energia), Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) (31,4%) e gás natural (25,8%), sendo que as maiores contribuições vêm das residências (42,38%), da indústria (31,85%), do comércio e prédios institucionais (24,14%) e dos equipamentos governamentais (1,63%) (PCR; CAF, 2019).

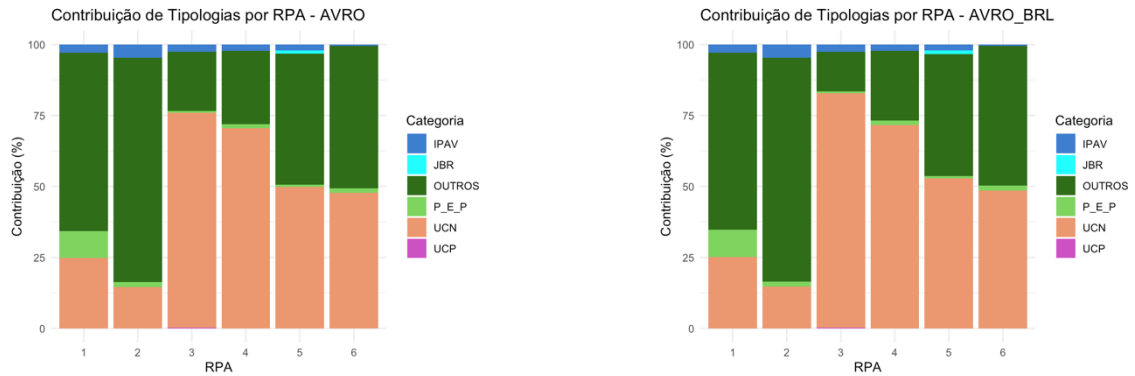
De acordo com PCR, ICLEI e WayCarbon (2020), no período de 2012 a 2017, a contribuição da mobilidade variou entre 51% (2015) e 65% (2012) das emissões totais da cidade. Dentro do setor, o transporte rodoviário se destaca como a principal fonte emissora, com percentuais variando entre 32% (2015) e 45% (2012) do total de emissões. O transporte aéreo também exerce papel relevante, sendo responsável por aproximadamente 20% das emissões totais durante o período analisado. Os setores de Energia Estacionária e Resíduos apresentaram contribuições similares, variando entre 18% e 23% das emissões totais da cidade. No caso do setor de Resíduos, a disposição de resíduos sólidos em aterros sanitários se configura como a principal fonte emissora.

Esses resultados podem ser significativos para o mercado de créditos de carbono. No contexto brasileiro, a Política Nacional de Mudança do Clima (Lei Federal nº 12.187/2009) adota o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para projetos de sequestro de carbono por vegetação, como a floresta urbana. Além disso, houve recentemente a sanção da Lei Federal nº 15.042/2024, que regulamenta o mercado de carbono no Brasil e cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE). Esse sistema permite que empresas e países compensem as emissões de gases poluentes comprando créditos de iniciativas de preservação ambiental, devendo, nos melhores cenários, reduzir as emissões de GEE e amenizar as mudanças climáticas.

Analisando, por sua vez, a contribuição das diferentes tipologias de floresta urbana (IPAV, P_E_P, UCN, UCP, JBR e OUTROS) e distribuição percentual desses serviços por Região Político-Administrativa (RPA), as diferenças nos padrões de distribuição ajudam a esclarecer a importância de cada e a auxiliar no fomento da redistribuição ao longo do território daquelas que se encontram deficitárias (Figura 10).

Figura 10 Percentual de contribuição de cada tipologia de floresta urbana por serviço ecossistêmico por RPA



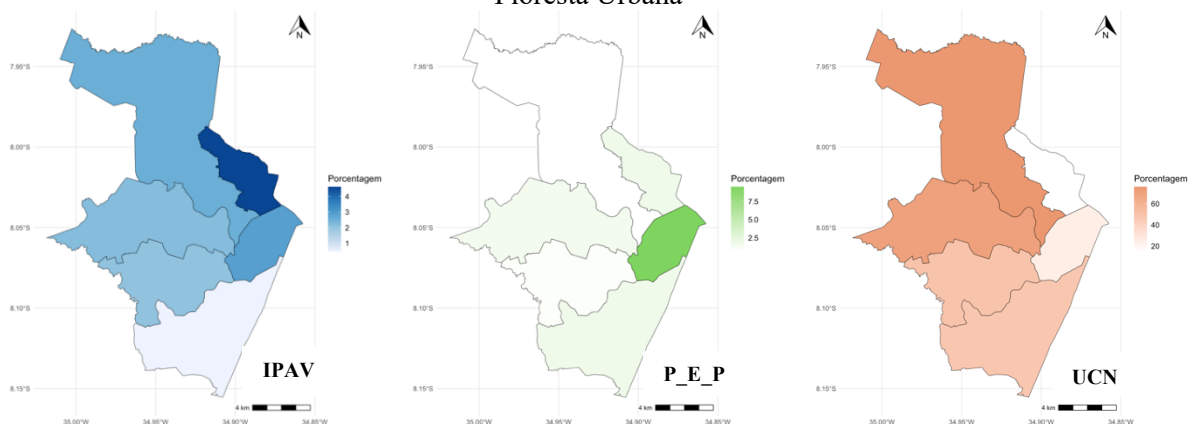


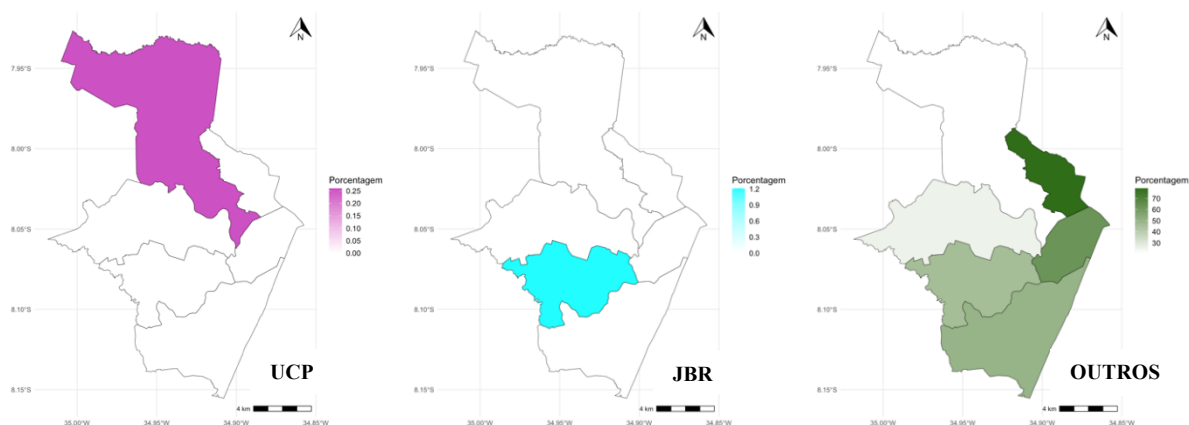
Fonte: Do autor (2025)

Nota: IPAV – Imóvel de Proteção de Áreas Verdes; JBR – Jardim Botânico do Recife; OUTROS – Outras tipologias; UCN – Unidades de Conservação da Natureza; UCP – Unidades de Conservação da Paisagem; SEQ_C = Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada; SEQ_CO2 = Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada; SEQ_BRL = Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; ESTOQ_C = Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_CO2 = Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_BRL = Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; POLU = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma; POLUBRL = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em reais; AVRO = Escoamento evitado em quilolitros; AVRO_BRL = Escoamento evitado em reais.

As Unidades de Conservação da Natureza (UCNs) apresentam os maiores valores absolutos para todos os serviços ecossistêmicos analisados, como o sequestro de carbono (SEQ_C e SEQ_CO2), estoque de carbono (ESTOQ_C e ESTOQ_CO2), remoção de poluentes (POLU e POLUBRL) e escoamento evitado (AVRO e AVRO_BRL). Isso é esperado, considerando que as UCNs geralmente possuem maior extensão territorial e maior cobertura vegetal, desempenhando um papel crucial na regulação ambiental (Figura 12).

Figura 11 Distribuição do Serviço Ecossistêmico de Sequestro de CO2 por RPA e tipologia de Floresta Urbana





Fonte: Do autor (2025)

As Áreas de Relevante Interesse Ecológico (ARIEs) representam 71,43% das Unidades de Conservação da Natureza com classificação compatível ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Essa classificação permite conciliar a preservação ambiental com usos sustentáveis, como educação ambiental e turismo ecológico, garantindo benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade. No entanto, o nível de proteção moderado e a permissividade de algumas atividades podem torná-las vulneráveis à degradação, especialmente em um contexto de fiscalização insuficiente e pressão por urbanização. Assim, a efetividade das ARIEs depende de uma gestão eficiente, planos de manejo claros e uma fiscalização robusta que assegurem o equilíbrio entre conservação e uso sustentável.

Por outro lado, as áreas categorizadas como "OUTROS" representam a segunda maior contribuição em valores absolutos, especialmente em remoção de poluentes e escoamento evitado. Esse resultado indica que áreas não formalmente protegidas ainda possuem significativa relevância ambiental, possivelmente devido à presença de vegetação remanescente. Dentro dessa categoria, encontram-se tipologias urbanas importantes, como árvores tombadas, refúgios viários, Jardins Históricos, Áreas Verdes de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer (AVCEL), Áreas Verdes Públicas de Composição Viária (AVPCV) e quintais urbanos.

Apesar de sua relevância ambiental, essas tipologias apresentam uma série de carências em termos de cuidado e gestão pública. Muitas delas sofrem com a ausência de manutenção adequada, fiscalização limitada e pouca integração com políticas ambientais mais amplas. No caso das áreas verdes particulares, mesmo após a atualização promovida pela Lei Municipal nº 18.938, de 17 de junho de 2022, que ampliou os instrumentos de proteção e regulação, a efetividade dessas medidas é prejudicada pela falta de fiscalização e acompanhamento. Portanto, enquanto as UCNs se destacam pelo desempenho em serviços ecossistêmicos, é

essencial que outras tipologias urbanas também recebam atenção prioritária, considerando seu papel complementar na sustentabilidade ambiental da cidade e sua vulnerabilidade à degradação pela ausência de políticas públicas eficazes. A integração dessas áreas em estratégias de conservação e manejo pode potencializar os benefícios ambientais e sociais para o município.

Os Imóveis de Proteção de Áreas Verdes (IPAVs), embora apresentem valores absolutos menores, possuem uma contribuição especialmente em regiões com pouca cobertura de UCNs. As Unidades de Conservação da Paisagem (UCPs) e o Jardim Botânico do Recife (JBR) possuem valores absolutos ainda menores, refletindo suas áreas mais limitadas, embora mantenham relevância local, como nas RPAs onde estão situados.

Já os Parques e Praças (P_E_P) apresentam valores modestos em termos de serviços ecossistêmicos, mas sua importância em áreas densamente urbanizadas é inegável, sendo essenciais para o bem-estar local. Esses valores modestos deveriam, na verdade, refletir a necessidade da Prefeitura da Cidade do Recife em valorizar e investir em espaços públicos livres de qualidade, que sejam homogeneamente distribuídos pela cidade.

De fato, os serviços ecossistêmicos fornecidos por esses espaços – sejam de regulação e manutenção, provisionamento ou culturais – são amplamente utilizados pela comunidade em geral. No entanto, moradores de áreas periféricas, especialmente as populações de baixa renda e negras, frequentemente enfrentam maiores barreiras para acessar atividades de lazer em comparação com grupos de renda mais alta e brancos. Isso ocorre porque, devido à falta de oferta adequada de espaços públicos em suas localidades, essas populações precisam se deslocar para regiões centrais ou nobres da cidade em busca de momentos de lazer e contato com a natureza. Isso evidencia a urgência de políticas públicas que promovam a equidade territorial e garantam o acesso universal a esses serviços, fortalecendo a conexão entre os habitantes e os benefícios proporcionados pelas áreas verdes urbanas (Florindo *et al.*, 2017; Tomasiello; Giannotti, 2022).

As UCNs se destacam como as principais fornecedoras de serviços ecossistêmicos em regiões específicas. Na RPA 3, por exemplo, mais de 75% do sequestro de carbono provém das UCNs, enquanto em outras RPAs, como a RPA 1, as contribuições das UCNs são menores, sendo compensadas pela relevância de IPAVs e P_E_P. As áreas categorizadas como "OUTROS" têm uma contribuição expressiva em todas as RPAs, como na RPA 2, onde

respondem por mais de 79% do sequestro de carbono, reforçando sua importância em locais sem grande presença de áreas protegidas.

Os IPAVs são especialmente relevantes em RPAs densamente urbanizadas, como a RPA 1, onde sua contribuição é cerca de 2,90%. Já os Parques e Praças possuem maior relevância percentual em áreas urbanas com poucos grandes espaços verdes, como também na RPA 1, onde representam aproximadamente 9,48% dos serviços ecossistêmicos. As UCPs e o JBR têm contribuições mais limitadas e pontuais, como nas RPAs 3 e 5, respectivamente.

A análise desses fatores torna-se especialmente importantes devido às condições geográficas do Recife, que incluem baixa topografia, áreas de alta declividade, intensa urbanização, alta densidade demográfica e elevados valores ecológicos, turísticos e econômicos. Esses elementos, combinados em uma equação de vulnerabilidade socio-ambiental-climática, têm como denominador comum o aumento do risco para aqueles que ocupam áreas sensíveis (PCR; CAF, 2019).

Ainda segundo os estudos das referidas instituições, projeções climáticas futuras indicam um aumento na duração de períodos secos, com redução no acumulado de chuvas. No entanto, os indicadores mostram maior intensidade de precipitação em dias específicos, concentrando chuvas intensas em curtos períodos. Isso aumenta a frequência e a gravidade de eventos de inundação e deslizamentos. A intensificação de eventos climáticos extremos, como alagamentos, ondas de calor, proliferação de vetores de doenças e aumento do nível médio do mar, reforça a necessidade de compreender os riscos aos quais Recife está exposto e de planejar ações para aumentar sua resiliência. Adicionando esses fatores com as disposições espaciais em oferta de infraestruturas (seja verde ou urbanas de modo geral), acarreta o aumento da vulnerabilidade para aqueles que ocupam áreas de risco.

Segundo o relatório da PCR e o CAF (2019), historicamente, a cidade enfrenta extremos de precipitação em áreas de ocupação inadequada e infraestrutura de drenagem insuficiente, o que resulta em inundações e deslizamentos. As altas temperaturas, associadas à urbanização intensa e à carência de áreas verdes, intensificam o fenômeno das ilhas de calor, agravado pela maritimidade, afetando o bem-estar e o conforto térmico da população. Esses problemas tendem a se agravar devido às mudanças climáticas, que resultam do aumento da concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera.

A vulnerabilidade do Recife às inundações remonta ao período colonial, devido à ocupação da planície aluvionar dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejipió. Condições geomorfológicas, como o relevo plano, as baixas altitudes (entre 2,5 e 5 metros acima do nível do mar), a rede de drenagem e o lençol freático superficial agravam esse cenário. As projeções climáticas para o período de 2011 a 2040 mostram aumento na intensidade e na área afetada por inundações, especialmente ao longo dos rios Capibaribe e Beberibe, com bairros como Mustardinha, Campina do Barreto e IPSEP mantendo posições críticas de risco (PCR; CAF, 2019).

Nas encostas do Recife, a ocupação desordenada acentua o risco de deslizamentos, especialmente nas RPAs 2 e 6, que, como mostrado anteriormente, apresentam declínio na oferta de serviços ecossistêmicos das tipologias de floresta urbana. O déficit habitacional e a alta densidade demográfica, combinados com a presença de população sensível, como crianças e idosos, aumentam a vulnerabilidade dessas áreas. Mesmo mantendo cobertura vegetal, projeções para 2040 indicam aumento no risco de deslizamentos na RPA 3, especialmente nos bairros de Sancho e Beberibe (PCR; CAF, 2019). Mesmo proporcionando benefícios em ordem regional, quando trata-se de escalas menores, pode-se confirmar a necessidade de olhares em menor escala para configurar o plano de ação e de ordenamento do uso e ocupação do solo para garantir segurança social no desenvolvimento urbano.

No caso da ameaça de ondas de calor, o aumento projetado das temperaturas afeta principalmente as áreas próximas ao litoral e regiões centrais, agravando o desconforto térmico e a saúde da população (PCR; CAF, 2019). Recife também enfrenta desafios relacionados à oferta de água. Embora as três bacias hidrográficas que abrangem o município (Capibaribe, Beberibe e Tejipió) representem uma infraestrutura hídrica significativa, o município é afetado pela ameaça de seca meteorológica. Projeções climáticas indicam aumento uniforme dessa ameaça, que, apesar de não alterar significativamente o mapa de riscos, destaca a importância de investimentos na gestão de recursos hídricos e no fortalecimento da resiliência das populações mais vulneráveis.

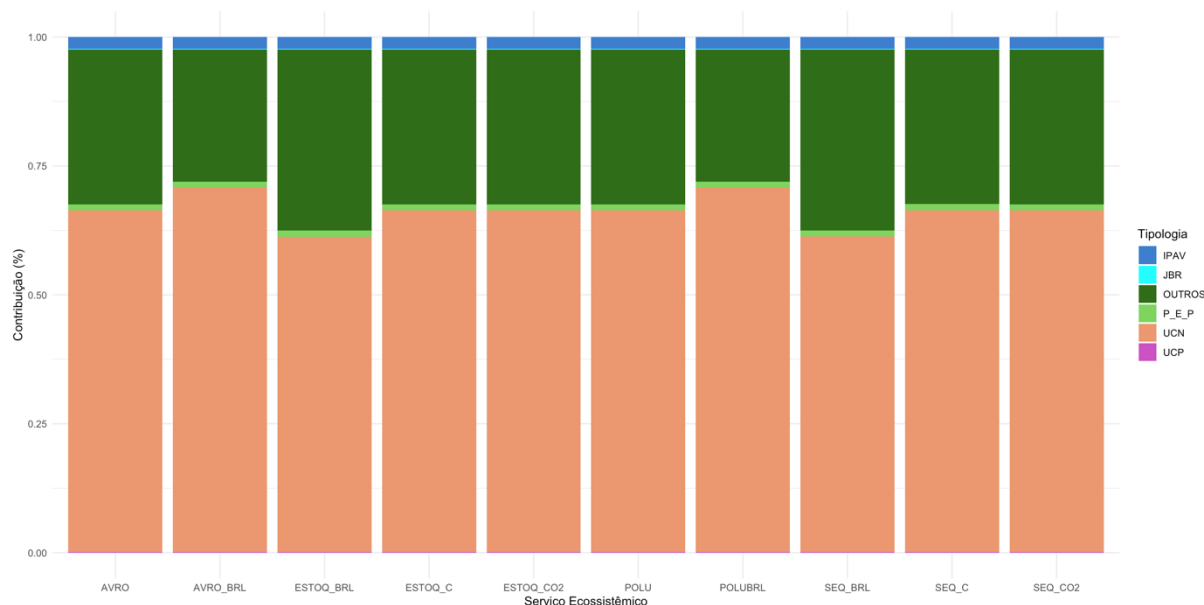
A análise dos riscos climáticos permite identificar bairros prioritários para intervenções, como Macaxeira, Campina do Barreto e Mustardinha, que permanecem entre os mais vulneráveis no cenário projetado de 2011 a 2040, enfrentando inundações, ondas de calor e doenças transmissíveis. Medidas de adaptação nesses bairros são estratégicas para reduzir os impactos climáticos futuros. Outros bairros, como Morro da Conceição, Fundão e Brejo da

Guabiraba, apresentam riscos elevados de deslizamentos, secas e doenças, demandando intervenções sem arrependimentos que promovam a resiliência climática.

Além disso, a expansão de ameaças climáticas alcança novas áreas, como a RPA 6, enquanto bairros como o IPSEP, já vulneráveis, enfrentam riscos adicionais relacionados a inundações, doenças transmissíveis e ondas de calor. Apesar de alguns bairros deixarem o ranking de maior criticidade, como Córrego do Jenipapo e Alto da Santa Terezinha, eles continuam sujeitos a riscos muito altos. Assim, o ranqueamento de bairros deve servir como um guia para ações prioritárias, sem desconsiderar a necessidade de investimentos em outras áreas do município (PCR; CAF, 2019).

Buscando compreender e desenhar um plano de ação para o desenvolvimento de novas áreas arborizadas e aumentar a resiliência da cidade a esses e outros efeitos das mudanças climáticas, buscou-se compreender o peso de cada tipologia de floresta urbana no Recife, em que indicou existir diferença significativa entre os grupos analisados. Os resultados obtidos a partir do teste de Dunn com correção de Bonferroni revelaram importantes diferenças nas medianas das tipologias de floresta urbana (Figura 12).

Figura 12 Percentual de contribuição de cada tipologia de floresta urbana por serviço ecossistêmico no âmbito do Recife



Fonte: Do autor (2025)

NOTA:SEQ_C = Sequestrado anual de carbono em árvores por tonelada; SEQ_CO2 = Sequestrado anual de dióxido de carbono em árvores por tonelada; SEQ_BRL = Sequestrado anual de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; ESTOQ_C = Armazenamento em árvores de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_CO2 = Armazenamento em árvores de dióxido de carbono em árvores por tonelada; ESTOQ_BRL = Armazenamento em árvores de carbono e dióxido de carbono em árvores em reais; POLU = Poluentes atmosféricos removidos anualmente em quilograma; POLUBRL = Poluentes atmosféricos removidos

anualmente em reais; AVRO = Escoamento evitado em quilolitros; AVRO_BRL = Escoamento evitado em reais.

O grupo OUTROS apresentou diferenças marcantes em relação ao grupo denominado "Jardim Botânico do Recife (JBR)" ($P_{\text{adj}} = 1,20 \times 10^{-5}$), evidenciando a singularidade de suas condições ambientais. A comparação entre as Unidades de Conservação da Natureza (UCNs) ($P_{\text{adj}} = 7,39 \times 10^{-9}$) e o JBR Também revelou diferenças significativas.

No caso do grupo Unidades de Conservação da Paisagem (UCPs) e dos "OUTROS" ($P_{\text{adj}} = 7,30 \times 10^{-4}$), a análise revelou que a tipologia OUTROS, ao promoverem a conservação integrada em paisagens mais amplas, são mais eficazes em serviços como o controle da erosão e a melhoria da qualidade do ar. Por fim, a comparação entre as UCNs e as UCPs ($P_{\text{adj}} = 1,34 \times 10^{-6}$) destacou abordagens distintas na provisão de serviços ecossistêmicos. As UCNs, focadas na proteção da biodiversidade e no sequestro de carbono, tendem a apresentar maior intensidade desses serviços.

Visando mitigar os efeitos das mudanças climáticas, o planejamento do município do Recife realizou diversos inventários, planos e manuais. Dentre esses, o Plano Local de Ação Climática remonta ações de arborização e justiça climática na Meta 03, que estabelece a revisão do Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP) até 2025. O objetivo é incorporar Unidades de Conservação e outras tipologias de áreas públicas e privadas, promovendo uma gestão integrada das áreas verdes. Esse esforço é essencial para enfrentar os desafios climáticos urbanos, com a expansão e atualização do SMUP baseada em diagnósticos atualizados e avaliações de serviços ecossistêmicos, que deveriam ser concluídos até 2023. Essas avaliações serão fundamentais para definir áreas prioritárias para ações de restauração, conectividade ecológica, e criação e manutenção de unidades de conservação, parques, praças, hortas comunitárias, agroflorestas, áreas costeiras e fundos de vale.

Outro ponto relevante desse plano seria a revisão do plano de arborização, incluindo um diagnóstico fitossanitário e sua integração ao SMUP, com ênfase em componentes que abordem a mitigação das mudanças climáticas, como a neutralização de CO₂ e a adaptação aos cenários futuros. O planejamento também deve identificar espécies mais resilientes ao clima, visando aumentar a capacidade de resposta das áreas verdes às variações climáticas, atualizando o Manual de Arborização Urbana da cidade.

Um ponto central da estratégia deve ser o fortalecimento da parceria entre a Prefeitura e os diversos centros de pesquisa na cidade, a citar a Universidade Federal de Pernambuco

(UFPE) e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), que já realizou um convênio com o município, culminando no Projeto Parque Capibaribe, deveria ter seu convênio até o ano de 2021. O bom desenvolvimento dessa parceria resultará no ponto-central para o equilíbrio ecológico da cidade, que, com o projeto, promete, transformar gradualmente 35 bairros do Recife em bairros-parque até 2037, beneficiando diretamente cerca de 400 mil habitantes.

Este projeto é uma das atuais ações mais significativas que deve/deveria promover a conectividade ecológica e melhorar a qualidade de vida urbana, além de ser um passo importante para alcançar a justiça climática. A integração de estudos científicos, participação comunitária e políticas públicas pode trazer um grande reflexo na realidade daqueles que utilizam cotidianamente as infraestruturas da cidade, e, carecem de proteções infraestruturais em períodos recorrentes de grandes índices pluviométricos, por exemplo. Espera-se, que com o contínuo aperfeiçoamento dos planos desenvolvidos pela municipalidade, aliado com o aumento do incremento da técnica relacionada a diagnóstico e avaliação da floresta urbana, os bairros e áreas alvos desses projetos sejam aqueles mais carentes, onde são majoritariamente ocupados pela infraestrutura cinza. Sonha-se, também, que, o grande objetivo da municipalidade seja tornar acessível o direito ao lazer, a cidade e ao ambiente ecologicamente equilibrado, tornando todo o refinado maquinário legal que existe na cidade, realidade.

6 CONCLUSÃO

O reconhecimento da distribuição territorial da floresta urbana do Recife aqui foi classificada como homogênea, apesar de diferenças entre as tipologias, e, esse sendo um dos principais achados dessa pesquisa. As UCNs, como suposta, figurou como a principal unidade protegida que fornece serviços ecossistêmicos para a cidade, que, recentemente, obteve seu processo de paridade com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Esse, por vias de discussão, deve ter sua compreensão aprofundada, uma vez que, grande parte foi concentrada em uma categoria de grande flexibilidade.

Por sua vez, esse estudo pôde notar que, as outras tipologias (principalmente a arborização viária e os quintais urbanos – ou floresta urbana privada) figuraram como grandes protagonistas para o provimento de serviços ecossistêmicos. Essa compreensão leva a necessidade de melhor investimentos para sua qualidade, como um manual de arborização urbana e plano municipal de arborização atualizados, algo que está tardando em acontecer. Aliás, sobre esse último, espera-se que, devido a importância aqui reconhecida, venha a ser desenvolvido com a qualidade esperada.

O *i-Tree Canopy* demonstrou-se uma ferramenta útil para quantificar e valorar serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade do ar. Contudo, apresenta algumas limitações que podem ser relevantes, devendo ser avaliado com segurança o erro relacionado diretamente proporcional ao grau de generalização decorrente da metodologia do software. Para análises estatísticas mais abrangentes e que sejam completamente remotas, o *i-Tree Canopy* é apropriado. Entretanto, quando são necessárias análises mais técnicas e precisas, com a possibilidade de trabalho de campo, o uso da ferramenta *i-Tree Eco* pode ser mais indicado.

Referente agora, às discussões centrais objetivadas com esse trabalho, ou seja, a justiça climática e a distribuição de serviços ecossistêmicos em contexto intraurbano, o estudo auxiliou a desvendar que, devido aos históricos processos de desigualdade socioeconômica e ambiental, a escala de Região Político-Administrativa não se comportou de maneira necessária a fim de evidenciar as áreas sensíveis a esses fenômenos. Entretanto, outras escalas, como das subdivisões de uso e ocupação do solo e até mesmo dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, podem trazer a luz necessária para que as políticas públicas sejam melhor geridas dentro da cidade do Recife.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, T. M. C. B.; ERVATTI, M. Vulnerabilidade costeira frente a mudanças climáticas e políticas públicas na cidade do Rio de Janeiro: estamos prontos? **Novos Cadernos Naea**, v. 23, n. 2, p. 161-178, 6 out. 2020. Universidade Federal do Para. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v23i2.7171>.
- AGYEMAN, J.; SCHLOSBERG, D.; CRAVEN, L.; MATTHEWS, C. Trends and Directions in Environmental Justice: from inequity to everyday life, community, and just sustainabilities. **Annual Review Of Environment And Resources**, v. 41, n. 1, p. 321-340, 1 nov. 2016. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-090052>.
- ALCÂNTARA, L. C. S.; SAMPAIO, C. A. C. Decrescimento na Perspectiva das Cidades em Transição: resiliência e ética socioambiental. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 10, n. 2, p. 81-96, 31 ago. 2021. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science. <http://dx.doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i2.p81-96>.
- ARAÚJO, G. P.; RODRIGUES, L. S.; DUNDER, B. D. A emergência climática sob o neoliberalismo: reflexões desde a perspectiva da justiça climática latino-americana. **Simbiótica Revista Eletrônica**, v. 10, n. 3, p. 57-72, 26 dez. 2023. Universidade Federal do Espírito Santo. <http://dx.doi.org/10.47456/simbitica.v10i3.41100>.
- BARBOSA, V. L. M.; FARIA, L. C.; Cardoso-Leite, E. Composite-Indicators For Urban Ecosystem Services At Site-Level: a systematic literature review. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 19, p. 1-15, 7 jun. 2024. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v19i0.94342>.
- BRZOSKA, P.; SPÄÄE, A. From City- to Site-Dimension: assessing the urban ecosystem services of different types of green infrastructure. **Land**, v. 9, n. 5, p. 150, 14 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/land9050150>.
- BULLARD, Robert D. Solid waste sites and the black Houston community. **Sociological inquiry**, v. 53, n. 2-3, p. 273-288, 1983.
- CAMPANHA, M. M.; PEDREIRA, B. C. C. G.; FIDALGO, E. C. C.; PARRON, L. M.; PRADO, R. B.; LIMA, I. B. T.; MONTEIRO, J. M. G.; FERRAZ, R. P. D.; TURETTA, A. P.

D.; TONUCCI, R. G.; SILVA, G. B. S.; SIMÕES, M. G.; PEIXOTO, R. D. G. Serviços ecossistêmicos: histórico e evolução. In: FERRAZ, R. P D.; PRADO, R. B.; PARRON, L. M.; CAMPANHA, M. M. (Eds). **Marco referencial em serviços ecossistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1110948/marco-referencial-em-servicos-ecossistemicos>. Acesso em: 31 jul. 2024.

CARPENTER, S. R.; MOONEY, H. A.; AGARD, J.; CAPISTRANO, D.; DEFRIES, R. S.; DÍAZ, S.; DIETZ, T.; DURAIAPPAH, A. K.; OTENG-YEBOAH, A.; PEREIRA, H. M. Science for managing ecosystem services: beyond the millennium ecosystem assessment. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, v. 106, n. 5, p. 1305-1312, 3 fev. 2009. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0808772106>.

CARRUTHERS, D. V. (Ed.). **Environmental justice in Latin America: Problems, promise, and practice**. Mit Press, 2008.

COSTANZA, R.; GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S.; GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem Services**, v. 28, p. 1-16, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>.

COSTEMALLE, V. B.; CANDIDO, H. M. N.; CARVALHO, F. A. An estimation of ecosystem services provided by urban and peri-urban forests: a case study in juiz de fora, brazil. **Ciência Rural**, v. 53, n. 4, p. 1-9, 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20210208>.

CUCHI, T.; BOBROWSKI, R.; WęŜYK, P.; BREUNIG, F. M.; PESCK, V. A. Contributions to a global understanding of socioenvironmental justice related to urban forest: trends from brazilian cities in the southeastern paran  state. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 95, p. 128322, maio 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128322>.

EMPINOTTI, V. L.; IAMAMOTO, S. A. S.; LAMAS, I.; MILANEZ, F. Between crises and insurgencies: the political ecology in defense of shared living. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. 1-18, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210160vu202115id>.

FLORINDO, A.; BARROZO, L.; CABRAL-MIRANDA, W.; RODRIGUES, E.; TURRELL, G.; GOLDBAUM, M.; CESAR, C.; GILES-CORTI, B. Public Open Spaces and Leisure-Time Walking in Brazilian Adults. **International Journal Of Environmental Research And Public Health**, v. 14, n. 6, p. 553, 23 maio 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14060553>.

FRASER, N.; JAEGGI, R. **Capitalismo em debate**: uma conversa na teoria crítica. São Paulo: Boitempo, 2020.

GARCIA, L. C.; VIANA, J. N. L.; LIMA, C. M. S. Gestão de risco, vulnerabilidade ambiental e a questão climática na gestão metropolitana. **Cadernos Metr pole**, v. 25, n. 58, p. 875-897, dez. 2023. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5805>.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, v. 86, p. 235-245, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>.

GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE (ICLEI); Urban-LEDS II. **Plano Local de A  o Climática do Recife**. São Paulo: ICLEI, 2020.

GROOT, R.s. de; ALKEMADE, R.; BRAAT, L.; HEIN, L.; WILLEMEN, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. **Ecological Complexity**, v. 7, n. 3, p. 260-272, set. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES V5.1) and Guidance on the Application of the Revised Structure**. Nottingham: Fabis Consulting Ltd., 2018.

HAQUE, M. N.; SHARIFI, A. Justice in access to urban ecosystem services: a critical review of the literature. **Ecosystem Services**, v. 67, p. 101617, jun. 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101617>.

I-TREE CANOPY. **i-Tree Canopy Methodology**. Disponível em: https://canopy.itreetools.org/resources/iTree_Canopy_Methodology.pdf. Acesso em: 15 nov. 2023.

IBGE. **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022.

INSTITUTO PÓLIS. **Racismo ambiental e justiça socioambiental nas cidades**. Disponível em: <https://polis.org.br/estudos/racismo-ambiental/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

JATO-ESPINO, D.; CAPRA-RIBEIRO, F.; MOSCARDÓ, V.; PINO, L. E. B.; MAYOR-VITORIA, F.; GALLARDO, L. O.; CARRACEDO, P.; DIETRICH, K. A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 86, p. 127998, ago. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

LIMA, G. F. C. **Educação ambiental no Brasil: formação, identidades e desafios**. Campinas: Papirus, 2011.

LIMA, M. V. S. A.; SILVA, J. M. Ambiente ecologicamente equilibrado: notas sobre arborização urbana nas legislações ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 17, n. 4, p. 3052-3066, 25 jul. 2024. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v17.4.p3052-3066>.

LIOTTA, C.; KERVINIO, Y.; LEVREL, H.; TARDIEU, L. Planning for environmental justice - reducing well-being inequalities through urban greening. **Environmental Science & Policy**, v. 112, p. 47-60, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.017>.

LIU, L.; WU, J. Scenario analysis in urban ecosystem services research: progress, prospects, and implications for urban planning and management. **Landscape and Urban Planning**, v. 224, p. 104433, ago. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104433>.

LOCOSSELLI, G. M., BUCKERIDGE M. S. The science of urban trees to promote well-being. **Trees**, v.37, p.1–7. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00468-023-02389-2>.

MAGRIN, G. O.; MARENGO, J. A.; BOULANGER, J.-P.; BUCKERIDGE, M. S.; CASTELLANOS, E.; POVEDA, G.; SCARANO, F. R.; VICUÑA, S. Central and South America. In: **CLIMATE CHANGE 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAO, Y.; BURLANDO, M.; PALL, P.; JONES, C.; LEGRAND, M.; MARQUIS, M.; KREKOV, I.; MOISEEVA, N.; O'BRIEN, C.; POMERANTSEV, I.; STOLPE, J. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. In: Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021.

MELO, L. L.; MEUNIER, I. M. J. Evolução da arborização de acompanhamento viário em cinco bairros de Recife-PE. **Revista de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 264-281, 1 mar. 2017. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2017.229198>.

MENDONÇA, F. Riscos, Vulnerabilidades E Resiliencia Socioambientais Urbanas: inovações na análise geográfica. **Revista da Anpege**, v. 07, n. 01, p. 111-118, 2011. ANPEGE - Revista. <http://dx.doi.org/10.5418/ra2011.0701.0010>.

MILANEZ, B.; FONSECA, I. F. da. **Justiça climática e eventos climáticos extremos: o caso das enchentes no Brasil**. Brasília: IPEA, 2010. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5554/1/BRU_n4_justica.pdf. Acesso em: 10 dez. 2024.

MUÑOZ-PACHECO, C. B.; VILLASEÑOR, N. R. Urban Ecosystem Services in South America: a systematic review. **Sustainability**, v. 14, n. 17, p. 10751, 29 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su141710751>.

NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 4, n. 3-4, p. 115-123, abr. 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>.

NYELELE, C.; KROLL, C. N. The equity of urban forest ecosystem services and benefits in the Bronx, NY. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 53, p. 126723, ago. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126723>.

OLIVATTO, T. F. Using i-Tree Canopy to estimate and value ecosystem services of air pollutant removal. In: IANO, Y.; ARTHUR, R.; SAOTOME, O.; VIEIRA ESTRELA, V.; LOSCHI, H. (orgs.). **Proceedings of the 3rd Brazilian Technology Symposium**. BTSym 2017. Cham: Springer, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93112-8_30.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR); BANCO DE DESENVOLVIMENTO DA AMÉRICA LATINA (CAF). **Análise de riscos e vulnerabilidades climáticas e estratégia de adaptação do município do Recife – PE: resumo para tomadores de decisão.** Recife: PCR; CAF, 2019.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR); GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE SECRETARIADO PARA AMÉRICA DO SUL (ICLEI); WAYCARBON; WAYCARBON. **3º Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa.** Dezembro 2020. Recife, 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR); INSTITUTO DA CIDADE PELÓPIDAS SILVEIRA. **Matrizes de Integração: Diagnóstico Propositivo do Plano Diretor do Município de Recife.** Versão Preliminar. Agosto 2018. Recife, 2018.

RIBEIRO, A. P.; BOLLMANN, H. A.; OLIVEIRA, A.; RAKAUSKAS, F.; CORTESE, T. T. P.; RODRIGUES, M. S. C.; QUARESMA, C. C.; FERREIRA, M. L. The role of tree landscape to reduce effects of urban heat islands: a study in two brazilian cities. **Trees**, v. 37, n. 1, p. 17-30, 29 nov. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00468-021-02230-8>.

SCHLOSBERG, David. **Defining environmental justice: Theories, movements, and nature.** OUP Oxford, 2007.

SUTHERLAND, I. J., VILLAMAGNA, A. M., DALLAIRE, C. O., BENNETT, E. M., CHIN, A. T. M., YEUNG, A. C. Y., CORMIER, R. (2018). Undervalued and under pressure: A plea for greater attention toward regulating ecosystem services. **Ecological Indicators**, v.94, p.23–32. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.047>.

SVARSTAD, H.; BENJAMINSEN, T. A.; OVERÅ, Ragnhild. **Power theories in political ecology.** 2018.

TOMASIELLO, D. B.; GIANNOTTI, M. Unfolding time, race and class inequalities to access leisure. *Environment And Planning B: Urban Analytics and City Science*, v. 50, n. 4, p. 927-941, 6 jul. 2022. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/23998083221111405>.

TORRES, R. R.; MARENGO, J. A. Climate change hotspots over South America: from cmip3 to cmip5 multi-model datasets. **Theoretical And Applied Climatology**, v. 117, n. 3-4, p. 579-587, 18 out. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-013-1030-x>.

VASCONCELOS, R. F.A., BEZERRA, O. G. **Atlas Ambiental do Recife**. Recife: Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente. 2000.

WILKERSON, M. L.; MITCHELL, M. G. E.; SHANAHAN, D.; WILSON, K. A.; IVES, C. D.; LOVELOCK, C. E.; RHODES, J. R. The role of socio-economic factors in planning and managing urban ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 31, p. 102-110, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.017>.

YANG, Q.; LIU, G.; CASAZZA, M.; DUMONTET, S.; YANG, Z. Ecosystem restoration programs challenges under climate and land use change. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150527, fev. 2022. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150527>.