



Valoração econômica do sequestro de carbono em áreas verdes urbanas: um estudo comparativo entre Brasil e Portugal utilizando i-Tree Eco

Marcela Pereira Alferes

Graduanda, PUC Campinas, Brasil

Marcela.pa1@puccampinas.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-1171-0361>

Regina Márcia Longo

Professora Doutora, PUC Campinas, Brasil

regina.longo@puc-campinas.edu.br

<https://orcid.org/0000-0002-2374-4649>

Adélia de Jesus Nobre Nunes

Professora Doutora, Universidade de Coimbra, Portugal

adeliajnnunes@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8665-4459>



Valoração econômica do sequestro de carbono em áreas verdes urbanas: um estudo comparativo entre Brasil e Portugal utilizando i-Tree Eco

RESUMO

Objetivo - Quantificar e comparar o serviço ecossistêmico de captura e armazenamento de carbono em duas áreas verdes urbanas: a Mata de Santa Genebra (Campinas, Brasil) e o Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (Coimbra, Portugal), por meio da ferramenta i-Tree Eco.

Metodologia - O estudo empregou o software i-Tree Eco v.6, utilizando equações alométricas específicas por espécie para estimar a biomassa e o carbono armazenado a partir de dados dendrométricos. A valoração econômica foi baseada nos mercados de carbono europeu (EEX) e brasileiro (BM&FBOVESPA).

Originalidade/relevância - A pesquisa preenche uma lacuna na quantificação e valoração econômica de serviços ecossistêmicos de sequestro de carbono em ambientes urbanos ibero-americanos, oferecendo uma base comparativa entre contextos biogeográficos e de gestão distintos.

Resultados - Ambas as áreas demonstraram capacidade significativa de armazenamento e sequestro de carbono, com a área brasileira destacando-se pelo volume absoluto e a portuguesa pela eficiência por unidade de área.

Contribuições teóricas/metodológicas - Valida a aplicação da metodologia i-Tree Eco em contextos urbanos da América Latina e Europa, fornecendo um protocolo replicável para a valoração de serviços de regulação climática.

Contribuições sociais e ambientais - O estudo fornece subsídios técnicos para políticas públicas de conservação e planejamento urbano sustentável, destacando o valor econômico e ambiental das áreas verdes urbanas. Os resultados reforçam a importância destes espaços como infraestruturas críticas para a mitigação das mudanças climáticas, promovendo maior resiliência urbana e benefícios diretos para a saúde pública através da melhoria da qualidade do ar e do conforto térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas Verdes Urbanas. Serviços Ecossistêmicos. Sequestro de Carbono

Economic Valuation of Carbon Sequestration in Urban Green Areas: A Comparative Study Between Brazil and Portugal Using i-Tree Eco

ABSTRACT

Objective – To quantify and compare the ecosystem service of carbon capture and storage in two urban green areas: the Santa Genebra Forest (Campinas, Brazil) and the Botanical Garden of the University of Coimbra (Coimbra, Portugal), using the i-Tree Eco tool.

Methodology – The study employed i-Tree Eco v.6 software, using species-specific allometric equations to estimate biomass and stored carbon from dendrometric data. Economic valuation was based on the European (EEX) and Brazilian (BM&FBOVESPA) carbon markets.

Originality/Relevance – This research addresses a gap in the quantification and economic valuation of carbon sequestration ecosystem services in Ibero-American urban environments, providing a comparative basis between distinct biogeographic and management contexts.

Results – Both areas demonstrated significant carbon storage and sequestration capacity, with the Brazilian site standing out in absolute volume and the Portuguese site in efficiency per unit area.

Theoretical/Methodological Contributions – Validates the application of the i-Tree Eco methodology in urban contexts in Latin America and Europe, providing a replicable protocol for the valuation of climate regulation services.

Social and Environmental Contributions The study provides technical support for public policies on conservation and sustainable urban planning, highlighting the economic and environmental value of urban green areas. The results reinforce the importance of these spaces as critical infrastructure for climate change mitigation, promoting greater urban resilience and direct public health benefits through improved air quality and thermal comfort.

KEYWORDS: Urban Green Areas. Ecosystem Services. Carbon Sequestration.



Valoración económica de la captura de carbono en áreas verdes urbanas: un estudio comparativo entre Brasil y Portugal utilizando i-Tree Eco

RESUMEN

Objetivo – Cuantificar y comparar el servicio ecosistémico de captura y almacenamiento de carbono en dos áreas verdes urbanas: el Bosque de Santa Genebra (Campinas, Brasil) y el Jardín Botánico de la Universidad de Coimbra (Coimbra, Portugal), utilizando la herramienta i-Tree Eco.

Metodología – El estudio empleó el software i-Tree Eco v.6, utilizando ecuaciones alométricas específicas por especie para estimar la biomasa y el carbono almacenado a partir de datos dendrométricos. La valoración económica se basó en los mercados de carbono europeo (EEX) y brasileño (BM&FBOVESPA).

Originalidad/Relevancia – La investigación llena un vacío en la cuantificación y valoración económica de servicios ecosistémicos de captura de carbono en ambientes urbanos iberoamericanos, ofreciendo una base comparativa entre contextos biogeográficos y de gestión distintos.

Resultados – Ambas áreas demostraron capacidad significativa de almacenamiento y captura de carbono, destacándose el área brasileña por el volumen absoluto y la portuguesa por la eficiencia por unidad de área.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – Valida la aplicación de la metodología i-Tree Eco en contextos urbanos de América Latina y Europa, proporcionando un protocolo replicable para la valoración de servicios de regulación climática.

Contribuciones Sociales y Ambientales – El estudio proporciona insumos técnicos para políticas públicas de conservación y planificación urbana sostenible, destacando el valor económico y ambiental de las áreas verdes urbanas. Los resultados refuerzan la importancia de estos espacios como infraestructuras críticas para la mitigación del cambio climático, promoviendo una mayor resiliencia urbana y beneficios directos para la salud pública mediante la mejora de la calidad del aire y el confort térmico.

PALABRAS CLAVE: Áreas Verdes Urbanas. Servicios Ecosistémicos. Captura de Carbono.



1 INTRODUÇÃO

Os Serviços Ecossistêmicos (SE) são definidos como os atributos, funções ou processos ecológicos que beneficiam o bem-estar humano de maneira sustentável (COSTANZA, 2020). Entre as várias classificações disponíveis, a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES, 2013; 2018) é a que se destaca. Ela organiza os serviços em três categorias principais: Provisão (como o fornecimento de madeira e pesca), Regulação/Manutenção (incluindo processos como captura de dióxido de dióxido de carbono e controle da erosão) e Cultural (que abrange atividades como turismo e práticas religiosas) (HAINES-YOUNG; POTSCHEIN, 2018).

Focando nos serviços de regulação, a gestão do clima é um serviço ambiental crucial nos tempos atuais, especialmente considerando o crescente valor atribuído às mudanças climáticas pelos governos devido aos compromissos climáticos assumidos. As florestas desempenham um papel significativo como reservatórios de dióxido de dióxido de carbono. Por meio da fotossíntese, elas funcionam como "sumidouros" ativos, retirando CO₂ da atmosfera e armazenando-o em diversos componentes como biomassa viva, serapilheira, raízes e no solo (MEKONNEN; SINTAYEHU, 2018).

O solo é um reservatório crucial de carbono, contendo entre 1500 e 2400 Pg, o que supera a quantidade combinada de dióxido de carbono presente na atmosfera (590 Pg) e na vegetação terrestre (350-550 Pg). Incrementar o armazenamento de CO₂ no solo pode auxiliar na sua redução nos níveis atmosféricos. De acordo com MEKONNEN e SINTAYEHU (2018), esse armazenamento de CO₂ é um serviço ecossistêmico de grande importância. O processo de captura e armazenamento envolve a captura de pelo menos 90% do CO₂ de fontes altamente emissoras, seu transporte para um local adequado e seu armazenamento em formações geológicas profundas (entre 700 e 5000 metros), garantindo segurança e permanência (IEA, 2007). Entre as abordagens de captura e armazenamento de dióxido de carbono, o reflorestamento é uma estratégia destacada, especialmente no Brasil, onde o Programa Nacional de Florestas (PNF), estabelecido pelo decreto nº 3.420, de 20 de abril de 2000, promoveu tal prática.

O papel dos ecossistemas no sequestro de gases de efeito estufa, que tem efeitos diretos sobre as mudanças climáticas, é um fator que ALCAMO et al. (2003) utilizaram para classificar a "regulação do clima" como um serviço ecossistêmico essencial na categoria de "Serviços de Regulação". Esse conceito fundamenta a eficácia de iniciativas como os Pagamentos por Serviços Ambientais, que visam o reflorestamento, a conservação e a proteção das florestas, trazendo vantagens tanto para o ambiente quanto para a comunidade. Desde 1997, Costanza et al. (1997, p.252) já relacionavam os serviços ecossistêmicos ao conceito de capital, entendendo-o como o "estoque de materiais ou informações disponíveis em um dado momento".

Os serviços ambientais têm um valor econômico importante. Rodrigues (2010) observou que esses serviços, oferecidos pelos ecossistemas, passam a ser valorizados economicamente quando se considera a escassez dos recursos naturais. Exemplos disso incluem os recursos hídricos e os serviços ambientais relacionados, que são reconhecidos com valor econômico no art. 1, inciso II da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a qual institui a Política



Nacional de Recursos Hídricos, entre outras regulamentações. Diante da crescente escassez de recursos naturais como a água, os serviços ambientais emergem como possíveis objetos de mercado. Nesse cenário, surge o conceito de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), o qual propõe que: "os beneficiários externos desses serviços paguem diretamente, por meio de contratos e condições específicas, aos proprietários e usuários locais para que adotem práticas que promovam a conservação e a restauração dos ecossistemas" (WUNDER, 2005, p. 1).

Os serviços ecossistêmicos abrangem o fluxo de materiais, energia e informações provenientes de recursos naturais, que, quando combinados com os serviços de capital humano e manufaturado, resultam em benefícios para o bem-estar. Segundo uma estimativa de 1997, o valor desses serviços ambientais em escala global foi calculado em torno de 33 trilhões de dólares (COSTANZA et al., 1997).

O foco do trabalho é aprofundar a compreensão dos benefícios ecológicos proporcionados por fragmentos florestais em ambientes urbanos, particularmente na captura de CO₂, e buscar uma caracterização e comparação dessas áreas. A análise também visa expandir a discussão para contextos de países ibéricos com as mudanças climáticas, contribuindo para uma compreensão mais abrangente e comparativa dos serviços ecossistêmicos em diferentes regiões.

2 METODOLOGIA

2.1 Áreas de Estudo

2.1.1 Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (JBUC)

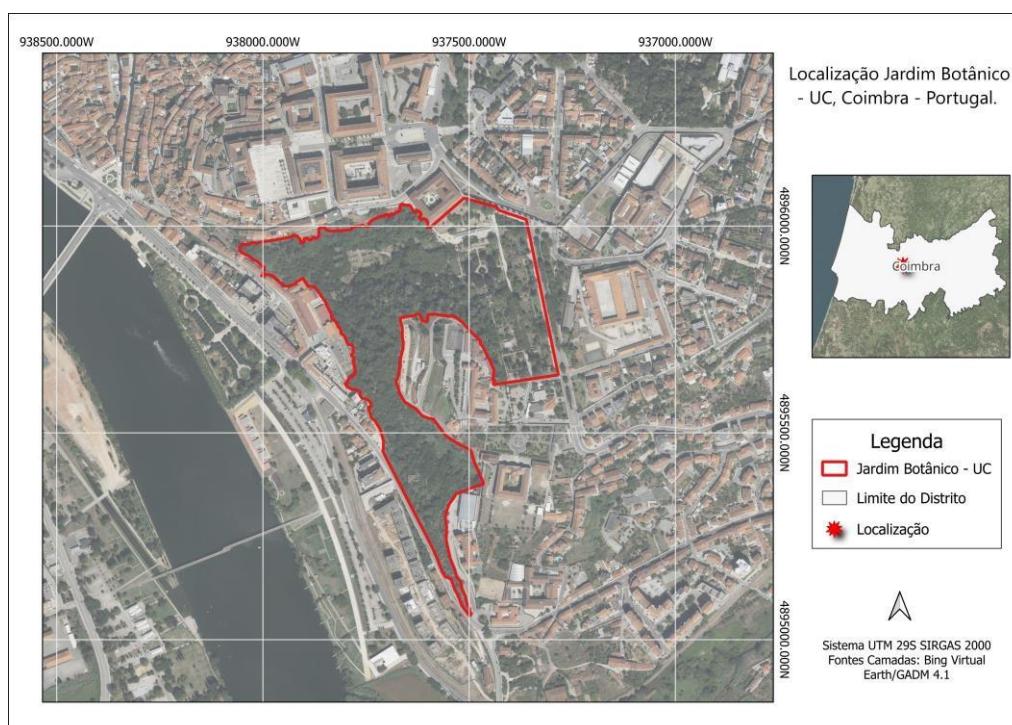
O Jardim Botânico do estudo se localiza no campus da Universidade de Coimbra, no distrito de Coimbra – Portugal, nas coordenadas Latitude 40°12'20.77"N e Longitude 8°25'17.13"O (Figura 1). É uma área de estudo relevante devido à sua importância histórica, ecológica e hidrológica. Fundado em 1774 no contexto da reforma pombalina da Universidade, o jardim foi criado para apoiar o ensino da História Natural e da Medicina (Henriques, 1876; Araújo, 1962). Localizado no centro histórico de Coimbra, o JBUC ocupa 13 hectares, divididos em duas zonas principais: o jardim formal (3 hectares), composto por terraços, estufas e coleções botânicas, e a mata (10 hectares), uma área mais naturalizada com vegetação autóctone e exótica (Lima, 2008).

O jardim desempenha um papel fundamental na estrutura ecológica da cidade, representando 26% dos espaços verdes públicos da zona urbana consolidada de Coimbra (Cunha, 2007). Sua localização em uma encosta da margem direita do Rio Mondego contribui para a mitigação de ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar (Magalhães, 2001). Além disso, a vegetação do JBUC ajuda a regular o microclima urbano, filtrar poluentes atmosféricos e reduzir o ruído, reforçando sua função como espaço verde essencial em um ambiente urbano denso (Leal, Ganho & Cordeiro, 2017).

Um dos principais desafios do JBUC é a gestão sustentável da água, especialmente devido ao clima mediterrânico, caracterizado por verões secos e invernos chuvosos. Historicamente, o jardim dependia da rede pública para suprir suas necessidades de irrigação, com custos anuais elevados (Chambel et al., 2009). No entanto, intervenções recentes, como o

projeto EEA GRANT (2010), permitiram alcançar a autossuficiência hídrica por meio da utilização de fontes locais, como a mina histórica e um furo de captação, além da modernização do sistema de rega. Essas medidas reduziram o consumo anual de água de 120.000 m³ para 45.000 m³, demonstrando a viabilidade de soluções sustentáveis em espaços verdes urbanos (Jácome, 2010).

Figura 1 - Mapa de Localização do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra (JBUC).



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.

2.1.2 Área de Relevância Ecológica: Mata de Santa Genebra

A Mata de Santa Genebra, segunda área do estudo se localiza o município de Campinas – SP/ Brasil, nas coordenadas Latitude 22°49'23.04"S e Longitude 47° 6'34.17"O (Figura 2). Este fragmento de Mata Atlântica, tombado como Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE), representa um caso emblemático da relação entre preservação ambiental e expansão urbana no contexto da Região Metropolitana de Campinas, a mais expressiva concentração industrial do interior paulista, contendo 250 hectares (CANO; BRANDÃO, 2002).

Sua origem remonta à Fazenda Santa Genebra do século XIX, propriedade do Barão Geraldo de Rezende, conhecida como modelo na cafeicultura pela aplicação de tecnologias avançadas (MORELLATO et al., 1995). O processo de proteção legal iniciou-se em 1983 com o tombamento pelo CONDEPHAAT, seguido pela classificação como ARIE em 1985 e pelo tombamento municipal em 1992 (CISOTTO; VITTE, 2014). A legislação estabeleceu uma zona de amortecimento de 300 metros, regulando o uso do entorno conforme o Decreto 13.426 do Estado de São Paulo.

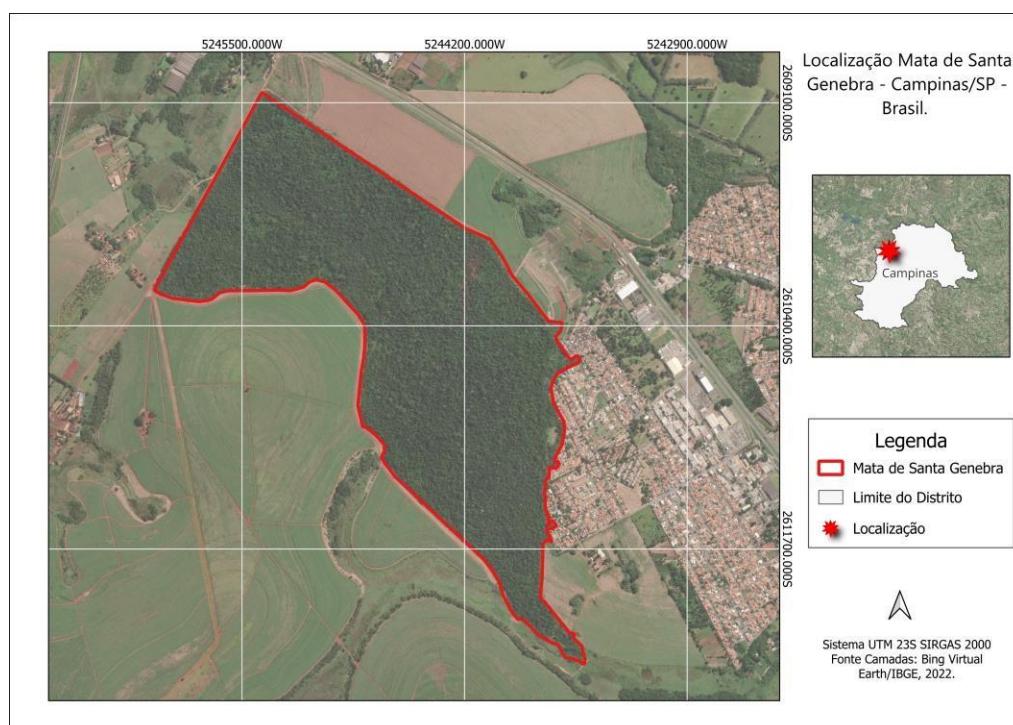


Do ponto de vista ecológico, a mata destaca-se por ser um dos ecossistemas mais estudados do país, com mais de 350 pesquisas registradas (FJPO, 2007). Contudo, conforme Kronka et al. (2005), a região administrativa de Campinas apresenta apenas 2,6% de seu território com vegetação nativa, distribuída em fragmentos isolados como este. As principais ameaças incluem seu isolamento geográfico entre as rodovias SP-332 e SP-65, a poluição atmosférica e a expansão agrícola com cultivos de cana-de-açúcar e soja (CISOTTO; VITTE, 2014).

O processo de urbanização acelerada em Barão Geraldo, que entre 1980 e 1991 registrou crescimento populacional de 3,10% ao ano (IBGE, 1980-91), transformou radicalmente a paisagem. A instalação da UNICAMP e a valorização imobiliária criaram um cenário onde, segundo Damiani (2004), ocorre "o aburguesamento de determinadas classes sociais e, ao mesmo tempo, a reprodução de uma massa crescente da população condenada à vida precária". Os condomínios de alto padrão passaram a utilizar o "marketing verde", apropriando-se da paisagem natural como valor de troca (HENRIQUE, 2006), resultando na expulsão de moradores tradicionais de bairros como Real Parque e Bosque de Barão.

Esta dinâmica revela os paradoxos da preservação ambiental em contextos metropolitanos, onde, conforme Scifone (2006), o tombamento de áreas verdes acaba sendo incorporado à lógica capitalista, tornando-se parte do processo de valorização imobiliária. A análise da Mata de Santa Genebra evidencia assim a necessidade de políticas que articulem efetivamente conservação ambiental com justiça socioespacial, garantindo que a proteção da biodiversidade não se restrinja a enclaves privilegiados.

Figura 2 – Mapa de Localização da ARIE Mata de Santa Genebra.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024.



2.2 Coleta e Processamento de Dados com i-Tree Eco.

A quantificação dos serviços ecossistêmicos foi realizada por meio do software i-Tree Eco v.6 (USDA Forest Service), seguindo protocolos internacionalmente validados por Nowak et al. (2008). A amostragem adotou parcelas aleatórias estratificadas por tipologia vegetacional, abrangendo 10% da área total em cada sítio de estudo (Mata de Santa Genebra e Jardim Botânico de Coimbra), conforme metodologia aplicada em estudos de infraestrutura verde urbana (Siedlarczyk et al., 2019).

Os dados de entrada incluíram cobertura de copa estimada a partir de imagens de satélite Sentinel-2 (resolução de 10 m), séries horárias (2020–2025) de variáveis meteorológicas obtidas do CEPAGRI-UNICAMP e do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), além de concentrações médias anuais de PM_{2.5}, NO₂ e O₃. No caso de Campinas (Brasil), essas concentrações foram obtidas junto à CETESB, enquanto, para o contexto português, os dados-base foram extraídos diretamente do banco de dados do i-Tree, que já incorpora informações locais de clima e qualidade do ar para o território nacional, complementadas por fontes oficiais portuguesas.

Os resultados apresentados pelo *i-Tree Eco* representam três principais serviços ecossistêmicos de regulação: sequestro de carbono, remoção de poluentes atmosféricos e escoamento superficial evitado. Cada um deles reflete uma função ecológica mensurável da vegetação urbana e foi convertido em valor monetário a partir de parâmetros econômicos e ambientais reconhecidos internacionalmente.

O sequestro de carbono refere-se à quantidade de dióxido de carbono (CO₂) capturada da atmosfera e incorporada à biomassa vegetal por meio da fotossíntese, em um período anual. O *i-Tree Eco* estima esse valor com base em equações alométricas específicas por espécie, que relacionam variáveis dendrométricas — como diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total — à biomassa seca. Considera-se, conforme padrão amplamente aceito em estudos florestais, que aproximadamente 50% da biomassa seca corresponde ao carbono. A valoração econômica é obtida por meio da multiplicação da massa de carbono sequestrada pelos preços médios do mercado de créditos de carbono, como os praticados pela European Energy Exchange (EEX) e pela Bolsa Brasileira de Mercadorias (BM&FBOVESPA). Essa métrica expressa a contribuição direta das árvores para a mitigação das emissões antrópicas de gases de efeito estufa (Li et al., 2025).

A remoção de poluentes atmosféricos quantifica a massa anual de contaminantes — como material particulado fino (PM_{2.5}), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃) — retida ou absorvida pela vegetação. O *i-Tree Eco* utiliza o modelo UFORE-HD para estimar a deposição seca de gases e partículas sobre as folhas, considerando fatores como área foliar específica, condições meteorológicas e concentrações locais de poluentes. O benefício econômico é calculado com base nos custos marginais de danos à saúde pública evitados, em conformidade com parâmetros da Organização Mundial da Saúde (OMS). Estudos recentes demonstram que essa metodologia permite quantificar de forma robusta a contribuição da vegetação urbana na melhoria da qualidade do ar e na redução de custos com doenças respiratórias e cardiovasculares (ASLIHIN

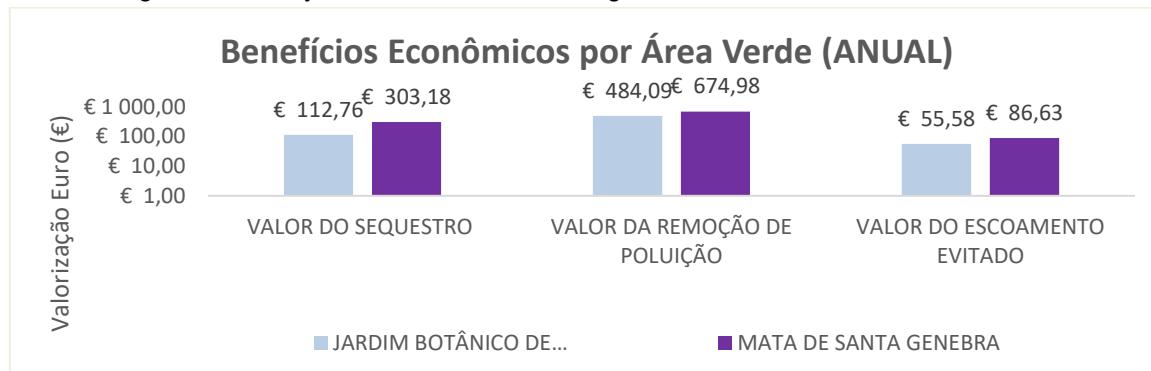
et al., 2024; ZHANG et al., 2022).

O escoamento superficial evitado (ou *avoided runoff*) corresponde ao volume de água pluvial que deixa de atingir o solo ou os sistemas de drenagem devido à interceptação pelas copas, infiltração e evapotranspiração promovidas pela vegetação. O *i-Tree Eco* compara dois cenários — um com a cobertura arbórea existente e outro hipotético sem vegetação — para estimar a diferença entre os volumes anuais de escoamento superficial. O valor monetário associado é calculado a partir dos custos evitados com infraestrutura de drenagem urbana e mitigação de enchentes. Essa métrica evidencia o papel das árvores como infraestrutura verde, contribuindo para o manejo sustentável das águas pluviais e para a resiliência urbana frente a eventos extremos (HIRABAYASHI; NOWAK, 2017; KIM et al., 2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As métricas geradas pelo software *i-Tree Eco* foram interpretadas com base nas equações e premissas utilizadas pela plataforma, conforme validado por Nowak e Crane (2002), e aplicadas com sucesso em estudos urbanos como o de Cracóvia (SIEDLARCZYK et al., 2019). Entre os indicadores mais relevantes, destacam-se o valor de sequestro de carbono, a remoção de poluentes atmosféricos e o escoamento superficial evitado. Na Figura 3 estão representados os valores relativos.

Figura 3 – Valorização dos benefícios em três categorias considerando o acumulativo anual.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2025.

Os resultados apresentados evidenciam a relevância das áreas verdes urbanas na geração de benefícios econômicos associados a serviços ecossistêmicos. Observa-se que a Mata de Santa Genebra apresenta valores anuais superiores em todas as categorias analisadas: € 303,18 para o sequestro de carbono, € 674,98 para a remoção de poluição e € 86,63 para o escoamento superficial evitado. O Jardim Botânico de Coimbra, por sua vez, registra € 112,76, € 484,09 e € 55,58, respectivamente.

Esses resultados indicam a maior capacidade da Mata de Santa Genebra em prover serviços ecossistêmicos, o que pode estar relacionado às suas características estruturais e à densidade de vegetação típica de formações florestais mais extensas. Ainda assim, o Jardim



Botânico de Coimbra demonstra desempenhos expressivos, especialmente considerando seu contexto urbano consolidado, ressaltando a relevância de áreas verdes mesmo em espaços limitados.

A valoração econômica desses serviços reforça o papel estratégico das áreas verdes como infraestruturas naturais que contribuem para a sustentabilidade urbana. A conversão dos benefícios ambientais em valores monetários fortalece os argumentos para sua conservação e ampliação, conforme apontado por Wolf (2015).

Entre os serviços avaliados, a remoção de poluentes atmosféricos apresenta os maiores valores econômicos, destacando o papel das árvores na melhoria da qualidade do ar e, consequentemente, na saúde pública urbana. Esse achado é coerente com evidências de estudos que utilizaram a ferramenta i-Tree Eco, os quais demonstram os efeitos positivos da vegetação na redução de poluentes como PM_{2,5}, O₃ e NO₂ (Nowak et al., 2024).

Os benefícios relacionados ao escoamento superficial evitado também evidenciam a importância da vegetação na gestão das águas pluviais. A interceptação da chuva pelas copas das árvores contribui para reduzir a sobrecarga nos sistemas de drenagem e minimizar riscos de alagamento, em conformidade com resultados relatados por Sharma et al. (2024).

A aplicação da metodologia i-Tree Eco nos dois contextos analisados demonstra sua adequação como ferramenta padronizada para a valoração de serviços ecossistêmicos urbanos em diferentes realidades ibero-americanas, permitindo comparações e subsidiando políticas públicas de conservação (Nowak et al., 2024).

As diferenças observadas entre as duas áreas refletem, possivelmente, as variações nas composições florísticas e nas condições biogeográficas locais. Florestas maduras, como a Mata de Santa Genebra, tendem a apresentar maior biomassa e, consequentemente, maior potencial de sequestro e remoção de poluentes, em consonância com padrões descritos por Lin, Kroll e Nowak (2020).

Esses resultados reforçam a importância de incorporar a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos ao planejamento urbano, fornecendo subsídios para decisões mais sustentáveis e socialmente aceitas, conforme discutido por Zhong et al. (2020).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia i-Tree Eco mostrou-se adequada para a quantificação e valoração desses serviços em ambos os contextos analisados, brasileiro e português, validando sua utilidade como ferramenta padronizada para avaliações comparativas em ambientes urbanos ibero-americanos. Os resultados obtidos fornecem evidências concretas de que a preservação e expansão dessas áreas constituem investimentos com retorno garantido para as cidades, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico.

Os resultados demonstraram capacidade significativa de armazenamento e sequestro de carbono em ambas as áreas, com a Mata de Santa Genebra destacando-se tanto pelo volume absoluto quanto pela maior eficiência por unidade de área (valor por hectare), refletindo sua condição de fragmento florestal maduro e de maior complexidade estrutural. A abordagem de valoração econômica adotada oferece um instrumento poderoso para comunicar aos gestores



públicos e à sociedade em geral o real valor desses espaços, frequentemente subestimado nos processos de tomada de decisão.

Os benefícios identificados transcendem a esfera ambiental, estendendo-se para o âmbito da saúde pública e da qualidade de vida urbana. A capacidade de remoção de poluentes atmosféricos e regulação do microclima demonstrada pelas áreas estudadas evidencia seu papel crucial na construção de cidades mais saudáveis e resilientes. Estes co-benefícios devem ser integralmente considerados nas políticas urbanas, uma vez que representam economias significativas para os sistemas de saúde pública e infraestrutura urbana.

Por fim, este estudo contribui para o avanço da discussão sobre infraestrutura verde como elemento estratégico no planejamento urbano sustentável. A metodologia aplicada e os resultados obtidos oferecem uma estrutura replicável para outras cidades ibero-americanas, facilitando a comparação e o estabelecimento de metas regionais para a conservação e expansão de áreas verdes urbanas. Futuras pesquisas poderiam expandir esta abordagem para incluir outros serviços ecossistêmicos e desenvolver indicadores integrados que capturem de forma mais abrangente o múltiplo valor das áreas verdes para a sustentabilidade urbana.

Financiamento: O projeto desenvolvido em Coimbra foi viabilizado com o apoio financeiro da FAPESP, por meio do processo nº 2024/16289-4, que possibilitou a realização das atividades de pesquisa, coleta de dados e análise, garantindo o desenvolvimento científico e acadêmico do estudo.



REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALCAMO, J. et al. *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington, DC: Island Press,

2003.

ARAÚJO, J. A. *História Natural em Portugal: o Jardim Botânico de Coimbra*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 1962.

ASLIHIN, A. et al. *Assessment of air pollution removal by urban trees in Tehran based on the i-Tree Eco Model*. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 20, n. 6, p. 2142–2156, 2024.

BARBI, F. *Mudanças climáticas e políticas públicas no Brasil*. São Paulo: Annablume, 2015.

BASSO, L. A.; VIOLA, E. *A política climática brasileira: avanços e limites*. *Revista Brasileira de Política Internacional*, v. 60, n. 1, p. 1–22, 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 9 jan. 1997.

CAMPINAS (Município). Lei nº 16.183, de 17 de maio de 2021. Institui o Programa Campinas Sustentável. *Diário Oficial do Município de Campinas*, Campinas, 18 maio 2021.

CANO, W.; BRANDÃO, C. *Transformações econômicas e urbanas na Região Metropolitana de Campinas*. Campinas: Unicamp, 2002.

CINELLI, M. et al. *Multi-criteria decision analysis for sustainability assessment*. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 52, p. 1–10, 2021.

CISOTTO, S.; VITTE, A. C. *Áreas verdes urbanas e valorização imobiliária: o caso da Mata de Santa Genebra*. *Revista Geográfica*, v. 9, n. 2, p. 45–60, 2014.

COMISSÃO EUROPEIA. *Livro verde: adaptar-se às alterações climáticas na Europa*. Bruxelas: Comissão Europeia, 2008.

COSTANZA, R. et al. *Changes in the global value of ecosystem services*. *Global Environmental Change*, v. 26, p. 152–158, 2014.

COSTANZA, R. et al. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature*, v. 387, p. 253–260, 1997.

CUNHA, L. *O Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: história e função urbana*. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2007.

DALY, H. E.; FARLEY, J. *Ecological economics: principles and applications*. Washington, DC: Island Press, 2004.

DAMIANI, A. L. *Expansão urbana e segregação socioespacial em Campinas*. Campinas: Unicamp, 2004.

HENRIQUE, W. *Marketing verde e exclusão social em áreas de preservação*. *Revista Espaço & Geografia*, v. 9, n. 1, p. 77–98, 2006.

HENRIQUES, J. A. *Memória histórica do Jardim Botânico de Coimbra*. Coimbra: Imprensa da Universidade, 1876.

HIRABAYASHI, S.; NOWAK, D. J. *Comprehensive national database of tree effects on air quality and human health in the United States*. *Environmental Pollution*, v. 230, p. 47–57, 2017.



INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA. Instituto Português do Mar e da Atmosfera. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 1980–1991. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. CO₂ capture and storage. Paris: OECD/IEA, 2007.

KRONKA, F. J. N. et al. Levantamento de remanescentes de vegetação nativa do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2005.

LEAL, A.; GANHO, N.; CORDEIRO, J. Vegetação e microclima urbano em Coimbra. *Revista Finisterra*, v. 52, n. 105, p. 55–72, 2017.

LIMA, A. O Jardim Botânico de Coimbra e a conservação da flora mediterrânea. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2008.

LIN, J.; KROLL, C. N.; NOWAK, D. Ecosystem service-based sensitivity analyses of i-Tree Eco. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 46, n. 4, p. 287–306, 2020.

LI, Y.-X. et al. Estimating small-scale forest carbon sequestration and storage: i-Tree Eco model improved application. *Forests*, v. 16, n. 9, p. 1363, 2025.

MAGALHÃES, M. R. A importância da vegetação na qualidade ambiental urbana. *Revista da Faculdade de Letras – Geografia*, v. 17, p. 43–59, 2001.

MEKONNEN, Z.; SINTAYEHU, M. Carbon storage and sequestration potential of forest ecosystems. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v. 10, n. 2, p. 15–25, 2018.

MORELLATO, L. P. et al. Estudos ecológicos na Mata de Santa Genebra. Campinas: Unicamp, 1995.

NOWAK, D. J.; CRANE, D. E. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*, v. 116, n. 3, p. 381–389, 2002.

NOWAK, D. J. et al. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, v. 193, p. 119–129, 2014.

NOWAK, D. J. et al. Understanding i-Tree: Summary of Programs and Methods. US Forest Service, 2024.

RODRIGUES, A. Valoração econômica de serviços ambientais. *Revista Ambiente & Sociedade*, v. 13, n. 2, p. 1–18, 2010.

SCIFONE, L. Tombamento e mercado imobiliário: contradições na preservação ambiental. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 8, n. 1, p. 83–98, 2006.

SHARMA, R.; BAKSHI, B. R.; RAMTEKE, M.; KODAMANA, H. Quantifying ecosystem services from trees by using i-Tree with low-resolution satellite images. *Ecosystem Services*, v. 67, 2024. DOI: 10.1016/j.ecoser.2024.101611.

SIEDLARCZYK, T. et al. Urban tree ecosystem services in Krakow, Poland: i-Tree Eco assessment. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 43, p. 126368, 2019.



WOLF, K. L. Metro Nature, Environmental Health, and Economic Value. *Environmental Health Perspectives*, 2015.

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Bogor: CIFOR, 2005.

ZHANG, W. et al. Assessment of NO₂ purification by urban forests based on the i-Tree Eco Model: Case study in Beijing, China. *Forests*, v. 13, n. 3, p. 369, 2022.

ZHONG, Q. et al. A conceptual framework for ex ante valuation of ecosystem services. *Journal of Environmental Management / Ecological Economics*, 2020.

HINTURAL, W. P.; JEON, H. J.; KIM, S. Y.; GO, S.; PARK, B. B. Quantifying Regulating Ecosystem Services of Urban Trees: A Case Study of a Green Space at Chungnam National University Using i-Tree Eco. *Forests*, 15(8), 1446, 2024. <https://doi.org/10.3390/f15081446>

KIM, S. et al. Quantifying regulating ecosystem services of urban trees: a case study using the i-Tree Eco model. *Forests*, v. 15, n. 8, p. 1446, 2023.



DECLARAÇÕES

CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Regina Márcia Longo e Marcela Pereira Alferes.
 - **Curadoria de Dados:** Regina Márcia Longo.
 - **Análise Formal:** Adélia de Jesus Nobre Nunes.
 - **Aquisição de Financiamento:** Regina Márcia Longo e Marcela Pereira Alferes.
 - **Investigação:** Marcela Pereira Alferes.
 - **Metodologia:** Regina Márcia Longo e Adélia de Jesus Nobre Nunes.
 - **Redação - Rascunho Inicial:** Marcela Pereira Alferes.
 - **Redação - Revisão Crítica:** Regina Márcia Longo e Adélia de Jesus Nobre Nunes
 - **Revisão e Edição Final:** Marcela Pereira Alferes.
 - **Supervisão:** Regina Márcia Longo.
-

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Nós, Marcela Pereira Alferes, Regina Márcia Longo e Adélia de Jesus Nobre Nunes, declaramos que o manuscrito intitulado “**Valoração econômica do sequestro de carbono em áreas verdes urbanas: um estudo comparativo entre Brasil e Portugal utilizando i-Tree Eco**”

1. **Vínculos Financeiros:** Não possuímos vínculos financeiros que possam influenciar os resultados ou interpretação do trabalho.
 2. **Relações Profissionais:** Não possuímos relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
 3. **Conflitos Pessoais:** Não possuímos conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.
-