

Resultados 2022

Ano 1

**Serviços Ambientais prestados pela Floresta Urbana no
Parque Linear dos Ipês - Rafael de Lima Fernandes**

Christiane Nascimento de Brito

**Prefeitura de São Bernardo do Campo
Secretaria de Meio Ambiente e Proteção Animal
Departamento de Gestão Ambiental**

2022

1. Estrutura da floresta urbana

Com base nos dados de campo coletados durante a amostragem, o i-Tree quantificou a estrutura da floresta urbana (entendendo como floresta urbana nesse estudo apenas a vegetação arbórea e arbustiva lenhosa encontrados na área interna do Parque dos Ipês): solo (uso do solo na área), cobertura do dossel, composição de espécies, densidade arbórea, área foliar, saúde da árvore (de acordo com o percentual de ramos mortos), diversidade, origem geográfica das espécies.

1.1. Parque dos Ipês (Parque Linear dos Ipês – Rafael de Lima Fernandes) em São Bernardo do Campo

Foram amostradas 102 árvores em 67 parcelas na área interna do Parque. A vegetação urbana da área foi estimada pelo modelo em um total de 226 árvores cobrindo 4,8 hectares. A densidade de árvores na área foi estimada em 38 árvores por hectare, quantidade semelhante a cidades como Jersey City – New Jersey (35,5 árv/ha) e Phoenix - Arizona (31,8 árv/ha) e bem inferior a Baltimore - Maryland (118 árv/ha) e Atlanta - Georgia (275 árv/ha), nos Estados Unidos (Nowak et al., 2006). A composição de espécies obtida com base no trabalho de campo é de 22 espécies de árvores e 2 espécies de araecáceas (palmeiras ou coqueiros). Os exemplares com DAP menor que 7 cm representam 89% da população, caracterizando uma floresta extremamente jovem. As 4 espécies mais comuns são: *Handroanthus chrysotrichus* (39%), *Tabebuia heterophylla* (15%), *Inga edulis* (4%) e *Eugenia brasiliensis* (4%). Mais informações sobre as espécies na área do Parque dos Ipês podem ser observadas na figura 1.

Frequência de espécies no Parque dos Ipês

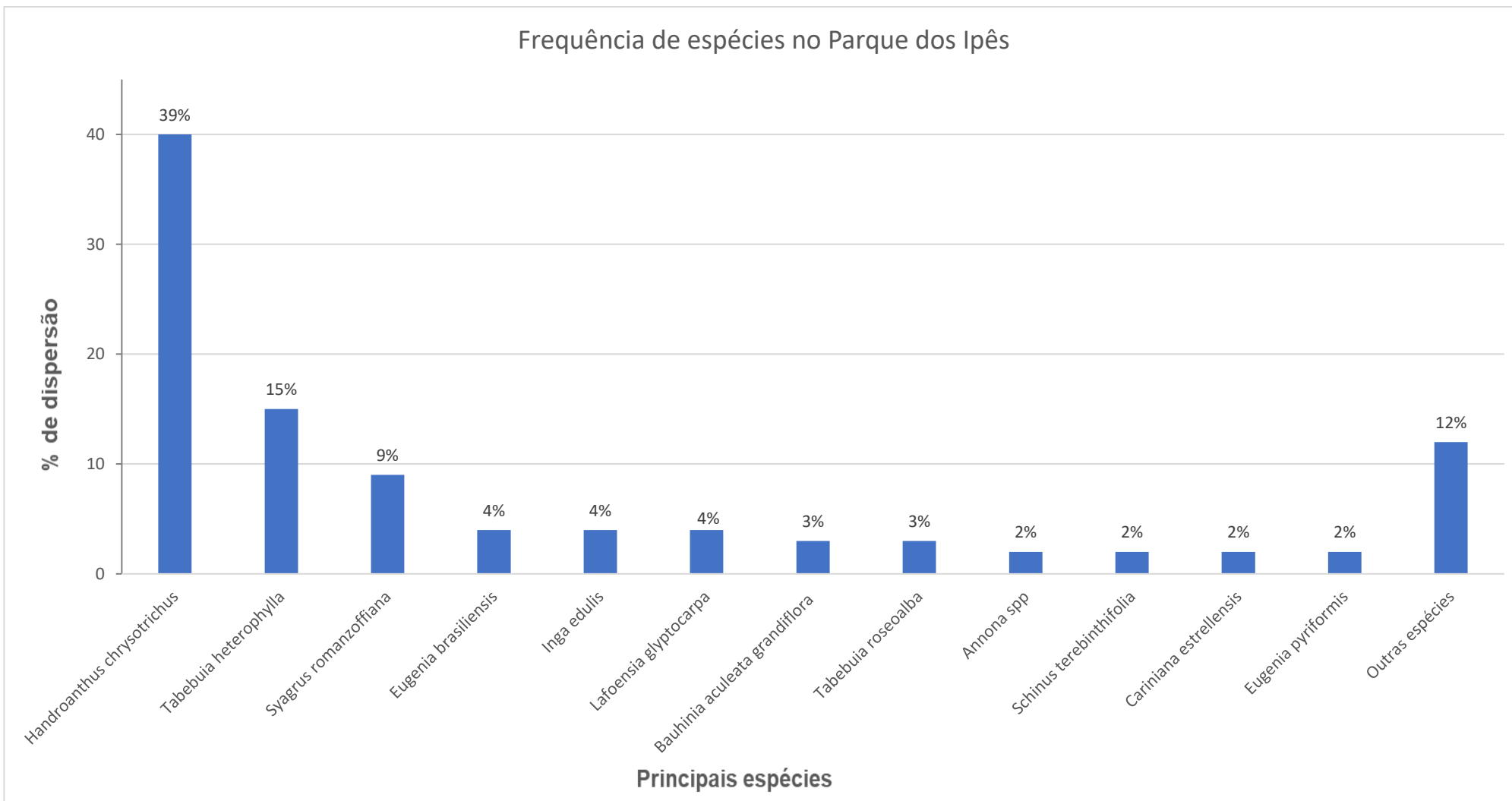


Figura 1: Dispersão de espécies na área de estudo Parque dos Ipês, com base nas observações realizadas em 67 parcelas.

Na área do Parque dos Ipês, cerca de 75% das árvores são espécies nativas da América do Sul. A árvores exóticas são originárias da América Central (12,5%) e Ásia (12,5%) – Figura 2.

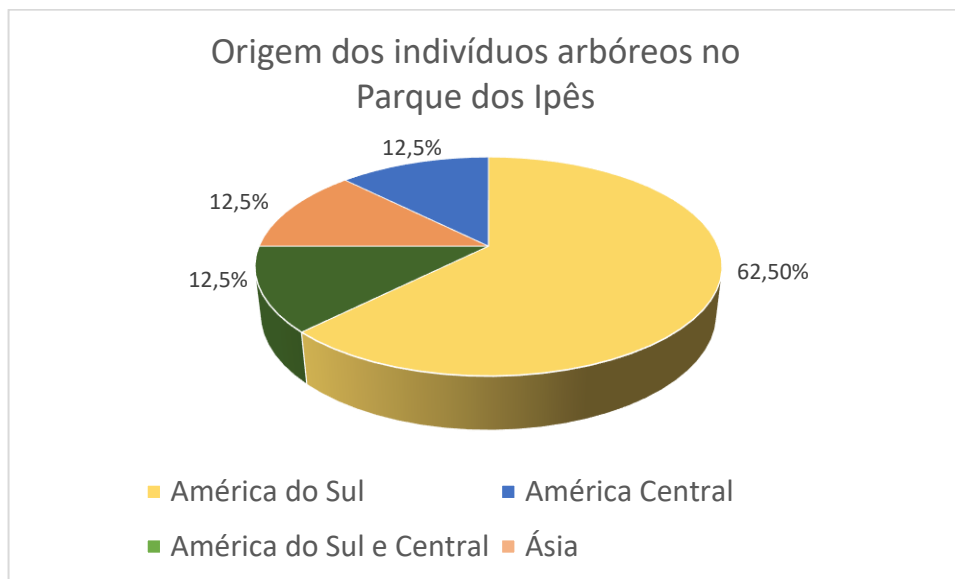


Figura 2: Percentual da população arbórea conforme origem na área do Parque dos Ipês

Grande parte da população arbórea (89%), como pode ser visto na Figura 3, apresenta diâmetro (DAP) entre 1,0 e 7,5 cm, seguida pelos diâmetros 7,6 a 15 cm (4%), 15,1 a 30,5 cm (5%) e 30,6 a 45,7 cm.

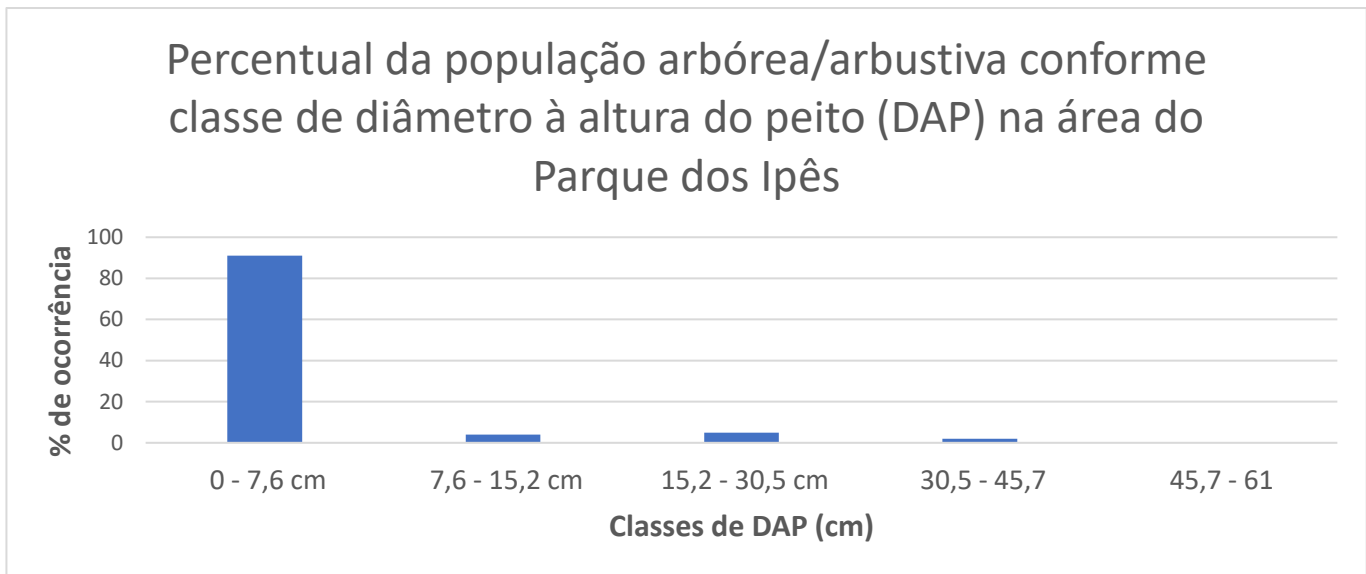


Figura 3: Percentual da população arbórea/arbustiva conforme classe de diâmetro à altura do peito – DAP na área do Parque dos Ipês.

O modelo estima que a vegetação arbórea/arbustiva recobre cerca de 7% da área do Parque dos Ipês e fornece 1066 m² de área foliar.

Na área do Parque dos Ipês, as espécies mais dominantes em termos de área foliar são: Mangueira, goiabeira e Ingá. As 10 espécies mais representativas estão listadas na Tabela 1. Os valores de importância (IV) são calculados como a soma entre a porcentagem da população de uma determinada espécie e a respectiva porcentagem de área foliar. O fato de uma espécie possuir um alto IV não significa que essas árvores devem ter o plantio incentivado no futuro. Ao contrário, significa que essas espécies atualmente dominam a estrutura da floresta nas áreas urbanas e, se quisermos aumentar a diversidade de espécies, devemos optar por espécies distintas.

Espécie (nome científico)	Espécie (nome vulgar)	População %	Área Foliar %	IV
Handroanthus chrysotrichus	Ipê amarelo cascudo	39,2	1,9	41,1
Mangifera indica	Mangueira	1	33	34
Psidium guajava	Goiaba	1	19,4	20,4
Inga edulis	Ingá	3,9	13,7	17,7
Tabebuia heterophylla	Ipê rosa	14,7	1	15,7
Schinus terebinthifolia	Aroeira pimenteira	2	9,7	11,7
Syagrus romanzoffiana	Jerivá	8,8	1,7	10,5
Ficus benjamina	Figueira benjamina	1	7,4	8,3
Lafoensia glyptocarpa	Mirindiba-rosa	3,9	0,8	4,7
Eugenia brasiliensis	Grumixama	3,9	0,5	4,4

Tabela 1: Lista com as 10 (dez) espécies mais importantes no quesito “área foliar” no Parque dos Ipês, onde IV representa os valores de importância.

1.2. Remoção anual de MP2.5 pela floresta urbana

Comparando as características da floresta urbana do Parque dos Ipês com as características da floresta urbana dos estudos em duas outras áreas no mesmo município, que levam o nome das Estações de Monitoramento da CETESB, áreas SBC (no Baeta Neves) e área Paulicéia (no bairro de mesmo nome), conforme descrito em BRITO (2021) (Tabela 2), fica claro o gradiente de cobertura vegetal nas três localidades estudadas, sendo a região chamada SBC (Baeta Neves) a mais vegetada. As estimativas da cobertura do dossel feitas pelo i-Tree Eco para cada um dos locais é bastante semelhante àquelas obtidas pelo i-Tree Canopy. O i-Tree Eco calcula a cobertura de dossel considerando os dados inseridos nas parcelas e extrapolando para o restante da área do projeto as características médias encontradas. Já o i-Tree Canopy, calcula a cobertura do dossel através da análise da imagem aérea da região. No i-Tree Canopy realizamos o treinamento do programa para alguns pixels sorteados, informando o que deve ser considerado como árvore e como não-árvore. Em seguida, o i-Tree Canopy extrapola a classificação para toda a área de estudo.

	Parque dos Ipês	São Bernardo Estratificado ¹		Pauliceia ¹	
				Área Equivalente	
Área do estudo (ha)	4,8	78,53		78,53	
Número de parcelas	67	60		55	
Número de árvores amostradas	102	153		23	
Estimativa do número total de árvores	226	3756	230	811	50
Estimativa da densidade de árvores (arv/ha)	38	48		10	
% de parcelas sem árvores	52%	33%		56%	
Cobertura do dossel estimada - i-Tree Eco	6,7%	20,3%		12,5%	
Cobertura do dossel estimada - i-Tree Canopy	5,9%	20%		9,1%	
Taxa de Remoção anual de MP _{2,5} (kg/ano)	1,81	116	7,1	51	3,11
Fluxo de Remoção anual de MP _{2,5} por m2 (g/m2/ano)	0,037	0,148		0,065	
% melhoria qualidade do ar	0,06%	0,23%		0,11%	
Média anual de MP _{2,5} (µg/m ³)	16,7 (± 12,3) ²	16,7 (± 12,3)		15,1 (± 11,4)	
¹ Brito, C.N. Deposição de material particulado sobre a vegetação urbana em áreas com diferentes condições de arborização na região metropolitana de São Paulo. Diadema, 2021. 98 f.					
² Dados de poluição considerados os mesmos da Estação Centro da CETESB, localizada no Bairro Baeta Neves.					

Tabela 2: Comparação de características da área de estudo (Parque dos Ipês) com outras duas áreas em São Bernardo do Campo, considerando observações in situ e estimativas do modelo. Os valores entre parênteses representam o desvio padrão amostral.

As áreas de estudo que usamos para comparação, área SBC, que compreende o Bairro Baeta Neves e a área Paulicéia, tem uma área de 78,53 ha, uma vez que, consideram um raio de 50 metros a partir da Estação de Poluição da CETESB. Dessa forma, para que alguns dados possam ser comparados, fizemos o cálculo de Área Equivalente.

Então, comparando as 3 áreas apresentadas na tabela 2, nota-se que a área do Parque dos Ipês, apesar de apresentar um número elevado de árvores, apresenta também uma floresta urbana jovem, com cobertura de dossel menor em comparação às outras áreas. Isso indica que a floresta urbana na área ainda não apresenta as condições adequadas de cobertura de dossel para atuar como uma ferramenta eficaz na remoção de poluição, e isso pode influenciar a média anual de concentração de MP_{2,5}. Por outro lado, os dados coletados na área Paulicéia indicam uma floresta urbana pequena e, apesar disso, por se tratar de árvores adultas, apresentou DAPs maiores e cobertura de dossel relevante.

Com base nos dados dendrométricos coletados e inseridos na base do i-Tree e nos dados meteorológicos e de poluição do ar previamente informados, o modelo fez os cálculos do fluxo líquido de MP_{2,5} por hora. Com os dados

horários de fluxo líquido informados pelo i-Tree, calculamos a remoção anual de MP_{2.5} pela vegetação, que foi de 1,81 kg/ano na área de estudo do Parque dos Ipês, e em área equivalente foi de 7,1 kg/ano na área SBC e 3,11 kg/ano na área Paulicéia, como mostra a Tabela 2. Na mesma tabela, são apresentadas estatísticas para a concentração de MP_{2.5}, porcentagem de melhoria da qualidade do ar e características da floresta urbana em cada área de estudo. A tabela 2 nos mostra ainda que as concentrações do poluente nas três áreas são bastante semelhantes, refletindo o caráter regional da poluição do ar em São Paulo.

A área SBC, por compreender parte do município com uma floresta urbana mais desenvolvida, com várias praças e parques arborizados, com cobertura de dossel estimada em mais de 20% e com arborização composta basicamente por árvores adultas e por conseguinte grande área foliar, foi a área com melhores resultados nos quesitos remoção anual de MP_{2.5} e melhoria na qualidade do ar.

Comparando a remoção anual de MP_{2.5} por m² obtida neste estudo com outras cidades do mundo, observam-se valores ligeiramente inferiores aos encontrados em Edimburgo estimada em 0,06 g/m²/ano (DOICK et al., 2017) e Tabriz (PARSA et al., 2019) estimado em 0,05 g/m²/ano, e muito menores que o valor encontrado em Strasburgo (SELMÍ et al., 2016) estimado em 0,3 g/m²/ano conforme demonstrado na Tabela 3. Edimburgo apresenta uma cobertura de dossel ao menos 2,5 vezes maior que a encontrada na área Parque dos Ipês. Já Tabriz, apresenta cobertura de dossel quase 1,5 vezes superior à deste estudo. Strasburgo, apresenta cobertura de dossel semelhante àquela encontrada na área Ibirapuera e fluxo de remoção de MP_{2.5} um pouco maior. Isso corrobora com alguns estudos que enfatizam a gama de serviços ambientais prestados pela floresta urbana (BARÓ et al., 2014; ESCOBEDO et al., 2011; NOWAK et al., 2006). Segundo esses autores, a remoção da poluição do ar pela vegetação varia principalmente em função das diferenças existentes na estrutura da floresta (composição de espécies, número de árvores, cobertura vegetal, densidade de árvores, distribuição do diâmetro do tronco), massa foliar e biomassa, origem e diversidade das espécies.

Local	Cobertura do dossel	Densidade de árvores (arv/ha)	Taxa de remoção anual de MP2.5 (kg/ano)	Fluxo de remoção anual de MP2.5 (g/m ² /ano)	% de melhoria da qualidade do ar	Referência
Edinburgo	17%	62	6900	0,06		Doick et al., 2017
Strasbourg (espaços verdes públicos)	54%	270	4510	0,3	0,20%	Selmi et al., 2016
Tabriz, Iran	9,4%	79	12210	0,05		Parsa et al., 2019
Brooklin industrial precinct in Victoria, Austrália		10	7			Jayasooriya et al., 2017
Ibirapuera ¹	63,8%	109	10,08	0,21	0,34%	Brito, 2021
SBC ¹	20,3%	47	7,1	0,148	0,23%	Brito, 2021
Paulicéia ¹	12,5%	10	3,11	0,065	0,11%	Brito, 2021
Parque dos Ipês	6,7%	38	1,81	0,037	0,06%	Este estudo
¹ Área equivalente						

Tabela 3 : Comparativo entre valores anuais de remoção de MP2.5 pela vegetação em cidades com diferentes frações de cobertura de dossel e densidade de árvores.

Analisando a tabela 3 podemos perceber que os fluxos de remoção de MP_{2.5} são maiores nas localidades com maior cobertura de dossel. O número de árvores por hectare influencia na quantidade de serviços ambientais da floresta urbana, mas não pode ser utilizado como o único parâmetro para definir a eficiência desses serviços ambientais (remoção de MP_{2.5}), já que o tipo de copa, o tipo de árvore (decíduas ou não) e massa foliar são fatores fundamentais. Assim, é justificável que a área Paulicéia, com apenas 1/6 da quantidade de árvores encontradas em Edimburgo, apresente praticamente o mesmo fluxo de remoção anual de MP_{2.5}. Outro fato que deve ser mencionado é que a maioria dos estudos consideraram uma cidade inteira, enquanto a área considerada neste estudo possui apenas 4,8 hectares. Por isso, os valores desse estudo para remoção em kg/ano são inferiores aos demais estudos, enquanto que os fluxos em g/m²/h são diretamente comparáveis.

2. DISCUSSÃO FINAL E CONCLUSÕES

Este trabalho quantificou a deposição de material particulado fino ($MP_{2.5}$) sobre a vegetação urbana no **Parque Linear dos Ipês – Rafael de Lima Fernandes** concluímos que apesar do Parque contar com uma vegetação extremamente jovem, ainda presta serviços ambientais necessários à qualidade de vida dos moradores do entorno.

Considerando a degradação ambiental anteriormente existente na área, podemos afirmar que a implantação do Parque e suas áreas vegetadas, já trouxeram um ganho ambiental para a região.

As árvores do local conseguiram melhorar a qualidade do ar em 0,06%, com remoção de 0,037 $g/m^2/ano$ se aproximando de cidades como Tabriz no Iran e Edimburgo na Escócia.

Comparamos ainda esses resultados com outras duas áreas com diferentes níveis de cobertura de dossel no município de São Bernardo do Campo obtidas no estudo “Deposição de material particulado sobre a vegetação urbana em áreas com diferentes condições de arborização na região metropolitana de São Paulo” (BRITO, 2021). Verificou-se que a remoção de $MP_{2.5}$ foi mais eficiente na área com maior cobertura de dossel e área foliar, resultando na remoção de 0,15 $g/m^2/ano$ (área SBC), e menor nas áreas com menor cobertura, sendo 0,06 $g/m^2/ano$ na área Paulicéia e 0,037 $g/m^2/ano$ na área Parque dos Ipês, com melhoria da qualidade do ar de 0,23%, 0,11% e 0,06%, respectivamente. Os dados da CETESB demonstram que no inverno ocorrem as maiores concentrações de $MP_{2.5}$, enquanto que estudos demonstram que a remoção costuma ser maior no verão. Isso pode ser explicado pelo fato de os meses de inverno serem mais secos, o que favorece a ressuspensão de partículas pela ação do vento, resultando em uma menor remoção líquida de $MP_{2.5}$ pela vegetação. São raros os estudos quantitativos sobre a remoção de poluentes pela vegetação urbana no Brasil, e este trabalho contribui para diminuir esta lacuna de conhecimento, destacando este importante serviço ambiental das florestas urbanas.

As estimativas de remoção foram realizadas utilizando o modelo i-Tree Eco, que, apesar de ter sido desenvolvido para uso na América do Norte, vem sendo

amplamente utilizado para essas estimativas em diversos locais do mundo. Sabe-se que qualquer modelo é uma representação simplificada da realidade, e, portanto, possui limitações. Uma das principais limitações do modelo i-Tree são os valores de referência considerados para a velocidade de deposição, que são baseados em medidas realizadas em tuneis de vento, que normalmente forçam o ar através da vegetação. Entretanto, no ambiente natural, o fluxo de ar pode passar acima ou ao redor da vegetação, tendo comportamento diferente daquele esperado pelo modelo. Outra limitação diz respeito à geometria espacial da vegetação, que afeta tanto a deposição quanto a dispersão dos poluentes e que não é considerada em modelos do tipo “big leaf” como o i-Tree Eco. Apesar das limitações, inerentes a qualquer modelo, um estudo recente mostrou que as estimativas de fluxo de deposição de MP realizadas pelo i-Tree Eco foram compatíveis com observações micrometeorológicas em uma floresta urbana na Itália (PACE et al., 2021).

Comparando as taxas de remoção de MP e as porcentagens de melhoria na qualidade do ar com os resultados obtidos em diferentes localidades do mundo, vimos que os valores são semelhantes, ou pelo menos da mesma ordem de grandeza. Diferenças na estrutura da floresta urbana são as responsáveis pela diferença nas estimativas de remoção de MP_{2.5} nas áreas já estudadas da cidade.

Ressaltamos que neste trabalho não foi considerada a remoção pela vegetação arbustiva não lenhosa e, de modo que as estimativas de deposição de MP podem estar subestimadas. A presença de arbustos pode trazer efeitos benéficos para a qualidade do ar pois funciona como uma barreira verde, aumentando a superfície para deposição de MP_{2.5} próximo à fonte emissora (veículos) (ABHIJITH et al., 2017). Em estudos futuros com o modelo i-Tree, recomenda-se considerar a vegetação arbustiva.

Numericamente, a porcentagem de melhoria da qualidade do ar em relação ao MP_{2.5} é pequena, de acordo com a estimativa do i-Tree Eco. Entretanto, as taxas anuais de remoção apresentadas neste trabalho são comparáveis às taxas de emissão de MP por veículos leves e pesados na RMSP (Região Metropolitana

de São Paulo), que equivalem a 1220 ton/ano (CETESB, 2020). Se toda a RMSP, que possui uma área de 8047 km², tivesse cobertura vegetal semelhante à área de estudo SBC, com remoção de 0,15 g/m²/ano de MP_{2.5}, projetamos uma remoção anual de 1207 ton/ano pela floresta urbana. Demonstramos, assim, a relevância deste serviço ambiental prestado pela vegetação urbana na mitigação da poluição do ar. Os resultados deste trabalho podem ser úteis às Secretarias municipais e gestores municipais para embasar políticas públicas relacionadas a arborização urbana, servindo como ferramenta na escolha de espécies e de locais adequados para mitigar os efeitos da poluição do ar por material particulado no município, contribuindo para melhorar a qualidade de vida e a saúde da população.

RELATÓRIO FOTOGRÁFICO



Foto1: Comunidade na área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB)



Foto 2: Detalhe habitações na área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB)



Foto 3: Início das remoções das habitações irregulares na área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB)



Foto 4: Remoções das habitações irregulares na área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB)



Foto 5: Início da limpeza da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB)

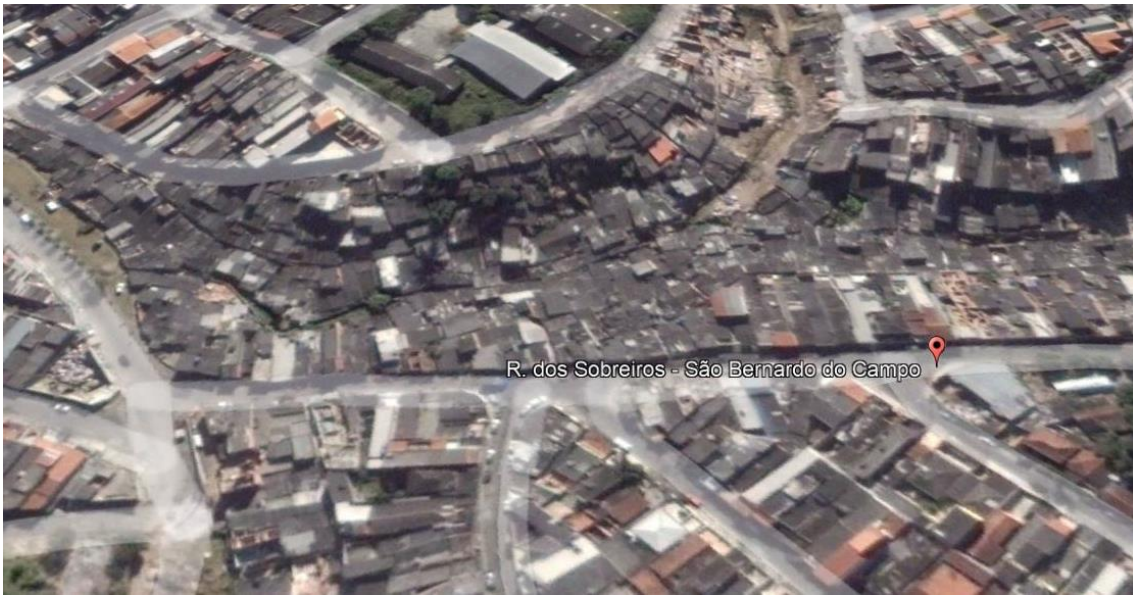


Foto 6: Imagem aérea da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Google Maps - 2011)



Foto 7: Imagem aérea da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Google Maps - 2013)



Foto 8: Imagem aérea da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Google Maps - 2015)



Foto 9: Imagem aérea da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Google Maps - 2021)



Foto 10: Foto da área onde hoje é o Parque dos Ipês (Acervo SEHAB - 2021)



Foto 11: Evento de plantio no Parque dos Ipês (Acervo SMA - 2020)



Foto 12: Evento de plantio no Parque dos Ipês (Acervo SMA - 2021)

Referências Bibliográficas

- Nowak, D. J., Crane, D. E. and Stevens, J. C.: Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban For. Urban Green.*, 4(3–4), 115–123, doi:10.1016/j.ufug.2006.01.007, 2006.
- Brito, C.N. Deposição de material particulado sobre a vegetação urbana em áreas com diferentes condições de arborização na região metropolitana de São Paulo. Diadema, 2021. 98f.
- Parsa, V.A., Salehi, E., Yavary, A.R., Van Bodegon, P.M. Analyzing temporal changes in urban forest structure and the effect on air quality improvement, *Sustainable Cities and Society*, Volume 48, 2019, 101548, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101548>.
- Selmi, W.; Weber, C.; Rivière, E.; Blond, N., Mehdi, L.; & Nowak, D.J. (2016). Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France. *Urban Forestry and Urban Greening*, 17, 192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.04.010>
- Doick, K., Handley, P., Ashwood, F., Vaz Monteiro, M., Frediani, K., & Rogers, K. (2017). Valuing Edinburgh's Urban Trees: An update to the 2011 i-Tree Eco survey - a report of Edinburgh City Council and Forestry Commission Scotland. Forest Research, Farnham. Forestry Commission Scotland.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D. J., & Terradas, J. (2014). Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, 43(4), 466–479. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0507-x>
- Escobedo, F.J., Kroeger, T., Wagner, J.E. Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices. *Environ Pollut.* 2011 Aug-Sep;159(8-9):2078-87. doi: 10.1016/j.envpol.2011.01.010. Epub 2011 Feb 11. PMID: 21316130
- Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S. and Pulvirenti, B.: Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review, *Atmos. Environ.*, 162, 71–86, doi:10.1016/j.atmosenv.2017.05.014, 2017.
- Pace, R.; Guidolotti, G.; Baldacchini, C.; Pallozzi, E.; Grote, R.; Nowak, D.J.; and Calfapietra, C. Comparing i-Tree Eco Estimates of Particulate Matter Deposition with Leaf and Canopy Measurements in an Urban Mediterranean Holm Oak Forest. *Environmental Science & Technology* 2021 55 (10), 6613-6622. DOI: 10.1021/acs.est.0c07679
- CETESB, 2020. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar no estado de São Paulo 2020 (acesso 09/08/2022). <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>

Christiane N. de Brito

Eng. Agrônoma

SMA-1