

Relatório sobre a Cobertura Arbórea em Recortes Territoriais selecionados - SP

15 de abril de 2020

1. Introdução

Este relatório apresenta o produto do contrato celebrado entre a Associação dos Amigos de Alto de Pinheiros (SAAP) e a Arquitetura Plena, contemplando o cálculo do Índice de Cobertura Arbórea em recortes selecionados para os anos de 2010 e 2017. As duas datas foram escolhidas em vista da disponibilidade de imagens de alta resolução disponibilizadas pela prefeitura que pudessem embasar o mapeamento da cobertura arbórea com qualidade e acurácia.

Os dados de 2010 foram extraídos do mapeamento da cobertura arbórea da Região Metropolitana de São Paulo, de domínio público (Wagner & Hirye, 2020), feito a partir de ortofotos com resolução espacial de 1m e com a utilização do modelo de inteligência artificial U-net. A partir desses dados, foram calculados os índices de cobertura arbórea para a área de atuação da SAAP e para os distritos que compõe a Subprefeitura de Pinheiros. O objetivo foi comparar a cobertura arbórea na área de atuação da SAAP no contexto da Subprefeitura de Pinheiros e, também, no contexto do município de São Paulo.

Para o ano de 2017, foi realizado o mapeamento da cobertura arbórea a partir de ortofotos disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de São Paulo, com resolução espacial de 12 cm. Embora o método de mapeamento de 2017 tenha sido o mesmo utilizado no mapeamento de 2010, a diferença de resolução das imagens não permite a comparação direta dos dois mapeamentos. O mapeamento de 2017 pode ser considerado como referência para mapeamentos em datas posteriores, devido a sua altíssima resolução espacial, que permitiu a identificação de árvores pequenas ou com poucas folhas. A partir dessa referência, pode-se chegar ao índice de cobertura arbórea de 38,46% na área de atuação da SAAP. Adicionalmente, apresenta-se a discriminação da cobertura arbórea em praças, lotes e sistema viário (calçadas, ruas e canteiros).

O relatório ora apresentado, é composto por esta introdução, pela descrição sucinta dos materiais e métodos utilizados nos mapeamentos de 2010 e 2017 e pela análise dos resultados obtidos em cada ano. Ao final, na conclusão, retomamos de maneira sintética os principais resultados e, na bibliografia, elencamos os dados utilizados e fontes consultadas.

2. Materiais e Métodos

Tanto o mapeamento da cobertura arbórea de 2010 quanto o de 2017 utilizaram um modelo rede convolucional para segmentação de imagens conhecido como U-net (Ronneberger *et al.*, 2015). Trata-se de uma classificação por *pixel*, na qual se prevê a probabilidade de cada *pixel* pertencer a uma classe específica. No caso dos mapeamentos de cobertura arbórea, foram definidas duas classes: árvore e não árvore.

As imagens utilizadas na classificação são ortofotos com data de referência de 2010 e 2017. A imagem de 2010 possui 3 bandas espectrais (vermelho, verde e azul) e a de 2017, 4 bandas espectrais (vermelho, verde, azul e infra vermelho). A resolução espacial das ortofotos (tamanho do *pixel* das imagens) de 2010 é de 1m e a de 2017 é de 0,12m. A diferença no número de bandas das ortofotos de 2010 e 2017, além da diferença na resolução espacial, demandou a construção de modelos específicos para cada data. É importante ressaltar que essas diferenças invalidam a comparação direta do resultado dos mapeamentos de 2010 e 2017.

Os modelos foram treinados com pequenas imagens nas quais a cobertura arbórea foi delimitada manualmente. Para o treinamento do modelo de 2010, foram utilizadas 1.283 pequenas imagens de tamanho 64 x 64 *pixels*. Para 2017, 5.168 pequenas imagens, com o dobro do tamanho (128 x 128 *pixels*).

Os dados foram projetados no sistema UTM, zona 23 Sul, tendo como *datum* de referência o WGS 84.

A validação dos mapeamentos resultantes foi feita por meio das seguintes medidas de precisão:

- (1) Acurácia Global, que expressa a probabilidade de um indivíduo ser classificado corretamente. Esta probabilidade é calculada pela soma das amostras da classe árvore que foram classificados corretamente e das amostras da classe não árvore que foram classificados corretamente, divididos pelo número total de indivíduos testados.
- (2) Escore F1, que é uma medida sintética que representa a precisão (*p*) e o *recall* (*r*). A precisão é o número de resultados positivos corretos dividido pelo número de todos os resultados positivos retornados pelo classificador. Já o *recall* é o número de resultados positivos corretos dividido pelo número de todas as amostras relevantes (todas as amostras que deveriam ter sido identificadas como positivas). Tanto o escore F1, quanto a precisão e o *recall* variam em uma escala entre a acurácia máxima (valor igual a 1) e acurácia nula (valor igual a 0).

No modelo de 2010, foram utilizadas 322 amostras para a validação e, no modelo de 2017, 1.292 amostras. Como para as imagens de treinamento, as amostras de validação têm tamanho 64 x 64 *pixels*, no caso de 2010, e 128 x 128 *pixels*, no caso de 2017.

3. Resultados obtidos para o ano de 2010

O mapeamento de 2010 mostrou um excelente nível de precisão, com uma acurácia global de 96,4% e escore F1 de 0,941, sendo que a precisão foi equivalente a 0,945 e recall, 0,937.

A partir desse mapeamento, foram calculados os índices de cobertura arbórea para os seguintes recortes:

- (1) a área de atuação da SAAP;
- (2) os distritos que compõe a Subprefeitura de Pinheiros: Alto de Pinheiros, Itaim Bibi, Jardim Paulista e Pinheiros;
- (3) a subprefeitura de Pinheiros; e,
- (4) a cidade de São Paulo.

A situação da cobertura arbórea em 2010, para os recortes territoriais selecionados é apresentada no Quadro 1, que apresenta também o dado de população, de acordo com último dado censitário.

Quadro 1 – Índice de Cobertura Arbórea em 2010 e outros dados de acordo com recortes territoriais selecionados.

Recorte territorial	Área (ha)	Cobertura Arbórea em 2010 ^a (ha)	Índice de Cobertura Arbórea em 2010 (%)	População em 2010 ^b (hab.)
Área de atuação da SAAP	359,76	125,75	34,95%	16.090
Distrito Alto de Pinheiros	749,57	203,96	27,21%	43.117
Distrito Itaim Bibi	1.003,07	125,10	12,47%	92.570
Distrito Jardim Paulista	625,25	152,93	24,46%	88.692
Distrito Pinheiros	826,02	170,57	20,65%	65.364
Subprefeitura de Pinheiros	3.203,91	652,56	20,37%	289.743
Município de São Paulo	138.582,00	45.157,56	32,59%	11.253.523

Fontes: ^a Dados calculados a partir do mapeamento da cobertura arbórea de 2010 (Wagner & Hirye, 2020).

^b Para o recorte territorial da SAAP, foram utilizados os dados calculados a partir dos dados de setores censitários de 2010, com a ressalva de que a população residente nesse ano era menor do que a indicada (Campos et al., 2015). Para os recortes territoriais de distritos, os dados foram obtidos no sítio eletrônico da Prefeitura Municipal de São Paulo (<http://www.prefeitura.sp.gov.br>, acessado em março de 2020) e foram somados para a população total da subprefeitura de Pinheiros.

Para a cidade de São Paulo, foi utilizado o dado da Tabela 202, disponível no sítio eletrônico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Tabela 202 (<https://sidra.ibge.gov.br>, acessado em março de 2020).

A cobertura arbórea na área de atuação da SAAP é de 125,75 ha, o que corresponde a pouco mais de um terço da área total desse território (34,95%). Certamente a situação no território de atuação da SAAP contribui para o alto índice de cobertura arbórea observado no distrito de Alto de Pinheiros (27,21%). Esse é

o distrito com melhor índice de cobertura arbórea dentre os que conformam a subprefeitura de Pinheiros. O distrito do Itaim Bibi é o que tem o pior índice, apenas 12,71% do seu território possui cobertura arbórea. Em situação intermediária estão os distritos do Jardim Paulista, com 24,46%, e o de Pinheiros, 20,65%.

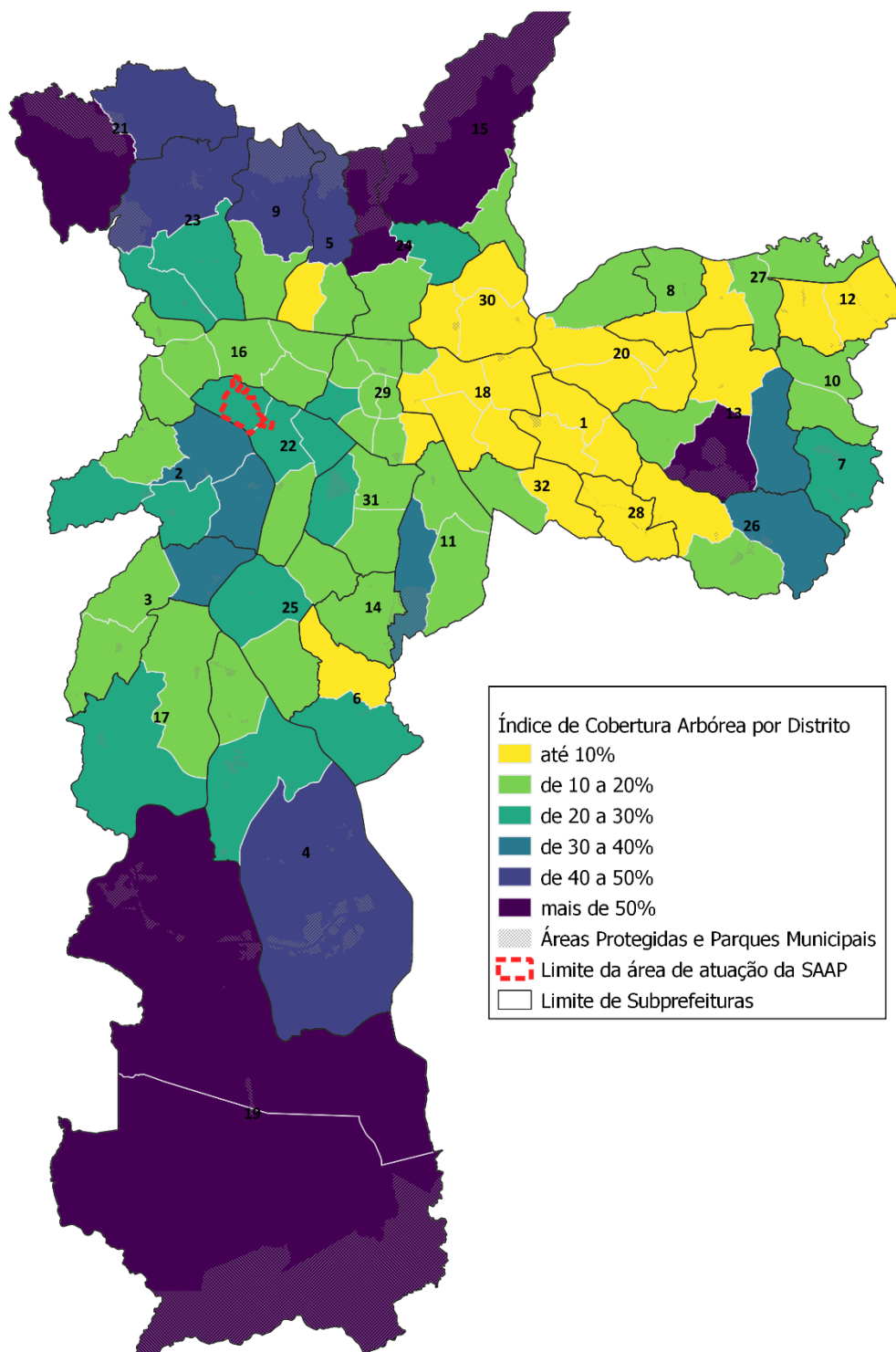
A subprefeitura possui 652,56 ha de cobertura arbórea de um total de 3.201,91 ha, o que resulta em um índice de 20,37%. Importante observar que a cerca de 1/5 de toda a cobertura arbórea da subprefeitura de Pinheiros está localizada na área de atuação da SAAP.

Em termos absolutos, a área arborizada no território da SAAP corresponde a mais da metade da área arborizada do distrito de Alto de Pinheiros, embora sua área total seja menos da metade da área total do distrito. Também é possível observar a importância dessa área arborizada em relação à subprefeitura de Pinheiros: ela corresponde a cerca de 1/5 de toda a cobertura arbórea dessa subprefeitura.

É possível identificar uma relação inversa entre a cobertura arbórea e o total de moradores em cada recorte territorial. Isso é observado nas situações extremas: por um lado, menor população na área de atuação da SAAP e no distrito de Alto de Pinheiros, onde observa-se o maior índice de cobertura arbórea, por outro lado, maior população no distrito do Itaim Bibi, onde há o menor índice de cobertura arbórea. Essa relação, entretanto, não é a mesma para os distritos de Pinheiros e Jardim Paulista, que possuem índices de cobertura arbórea semelhantes (cerca de 21% e 25%, respectivamente), sendo que o distrito de Pinheiros é menos populoso. Nesse caso, deve-se observar a influência do perfil de uso do solo no distrito de Pinheiros, onde se constata o crescimento dos usos comerciais e de serviços, que implicam em uma diminuição da população residente.

A situação da cobertura arbórea do Município de São Paulo é favorável: cerca de 1/3 de seu território está coberto por árvores. Isso é resultado de áreas bastante arborizadas como o território da SAAP e, por consequência, o distrito de Alto de Pinheiros, ou como o distrito do Jardim Paulista, mas também as áreas florestadas ao sul e norte do município, que correspondem às áreas de Mata Atlântica nas serras do Mar e da Cantareira. Parte dessas áreas, inclusive, encontra-se protegida por Unidades de Conservação. A cobertura arbórea no município de São Paulo, assim, está distribuída de maneira desigual, concentrando-se nos distritos da porção norte e sul do município, que abrigam remanescentes de Mata Atlântica e onde o índice de cobertura arbórea é superior a 40%, e, em menor proporção, nos distritos do extremo sudeste e centro-oeste do município (Figura 1).

Figura 1 – Índice de Cobertura Arbórea em 2010 por distrito do município de São Paulo.



Subprefeituras: (1) Aricanduva/Formosa/Carrão; (2) Butantã; (3) Campo Limpo; (4) Capela do Socorro; (5) Casa Verde; (6) Cidade Ademar; (7) Cidade Tiradentes; (8) Ermelino Matarazzo; (9) Freguesia/Brasilândia; (10) Guaianases; (11) Ipiranga; (12) Itaim Paulista; (13) Itaquera; (14) Jabaquara; (15) Jaçanã/Tremembé; (16) Lapa; (17) Mboi Mirim; (18) Mooca; (19) Parelheiros; (20) Penha; (21) Perus; (22) Pinheiros; (23) Pirituba/Jaraguá; (24) Santana/Tucuruvi; (25) Santo Amaro; (26) São Mateus; (27) São Miguel Paulista; (28) Sapopemba; (29) Sé; (30) Vila Maria/Vila Guilherme; (31) Vila Mariana e (32) Vila Prudente.

Os distritos do extremo sudeste pertencentes às subprefeituras de Cidade Tiradentes (n° 7, na Figura 1), Itaquera (n° 13) e São Mateus (n° 26) possuem entre 30% e 50% de cobertura arbórea. Essa situação é reflexo da presença do Parque do Carmo no distrito de mesmo nome, na subprefeitura de Itaquera, e do fato dessas áreas serem franjas periféricas da expansão da cidade que encontram um terreno acidentado e pouco propício à ocupação.

Na área mais densamente ocupada do município de São Paulo, os maiores índices de cobertura arbórea encontram-se nos distritos do centro-oeste do município: Butantã e Morumbi, ambos na subprefeitura do Butantã (n° 2, na Figura 1), e Vila Andrade, na subprefeitura de Campo Limpo (n° 3). Nesses três distritos, o índice de cobertura arbórea está entre 30% e 40%. Destaca-se que o relevo ondulado, com morros e encostas, dos distritos do Morumbi e Vila Andrade contribui para a manutenção da vegetação, além da existência de parques (como o Alfredo Volpi, Previdência e Burle Marx) e grandes enclaves com arborização expressiva (como a Cidade Universitária). O índice de arborização na área de atuação da SAAP encontra-se no mesmo patamar desses três distritos.

Os distritos Raposo Tavares e Vila Sônia (na subprefeitura do Butantã), Alto de Pinheiros e Pinheiros (na subprefeitura de Pinheiros) e Santo Amaro (na subprefeitura de mesmo nome), adjacentes aos três distritos citados anteriormente, possuem índice de cobertura arbórea entre 20% e 30%. Nessa mesma faixa, merece destaque o contínuo territorial formado pelos distritos de Alto de Pinheiros, Pinheiros, Jardim Paulista, Moema e Consolação.

4. Resultados obtidos para o ano de 2017

O mapeamento de 2017 apresentou qualidade ainda superior ao mapeamento de 2010. A acurácia global é de 98,12% e escore F1 é 0,969, com precisão de 0,972 e *recall* de 0,967. Essa acurácia é devido à maior resolução espacial e espectral das imagens, que permite a identificação de árvores menores e árvores que estão com poucas folhas (Figura 2).

Figura 2 – Detalhes do mapeamento de cobertura arbórea em 2017, mostrando árvores pequenas, com copa menor que 2m de diâmetro (à esquerda) e árvores com poucas folhas (à direita), localizadas na Praça do Pôr do Sol.





A partir desse mapeamento, o índice de cobertura arbórea calculado para a área de atuação da SAAP é de **38,46%**, o que em termos absolutos, equivale a **138,37 ha**. A situação atual da cobertura arbórea pode ser vista no Mapa 1, apresentado a seguir, que mostra a cobertura arbórea sobreposta às ortofotos.

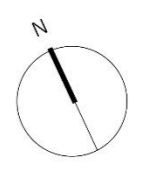


MAPA 1 COBERTURA ARBÓREA NA ÁREA DE ATUAÇÃO DA SAAP EM 2017 E ORTOFOTOS

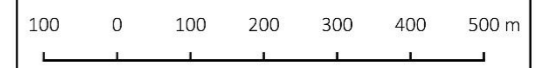
Legenda

-  Cobertura Arbórea
-  Limite SAAP

NOTA:
Ortofotos com data de referência de jan-2017,
com 0,12m de resolução espacial e 3 bandas
espectrais (RGB). Disponível em [http://
geosampa.prefeitura.sp.gov.br](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br), acesso em
abr-2020.



Sistema de Referência
WGS84
Zona 23 S



Escala 1:10.000

Abril de 2020

Do total da cobertura arbórea na área de atuação da SAAP, observa-se que a cobertura arbórea dos lotes é pouco superior à das ruas, canteiros e calçadas (64,2 ha e 57,72 ha, respectivamente) e que a cobertura arbórea em praças é, proporcionalmente, diminuta (apenas 20,58 ha). Entretanto esses números devem ser relativizados pela proporção que cada tipo de área ocupa. Nesse sentido, observa-se que as praças da área de atuação da SAAP são extremamente arborizadas: 2/3 de toda a área de praças possui cobertura arbórea. Pouco mais da metade das áreas que compõem o sistema viário possuem cobertura arbórea, enquanto nos lotes, essa proporção é pouco maior que 1/4. O Quadro 2, abaixo, apresenta os dados de cobertura arbórea por tipo de área.

Quadro 2 – Cobertura arbórea, área total e índice de cobertura arbórea em 2017 no território de atuação da SAAP, por tipo de área.

Tipo de Área	Área ^a (m ²)	Cobertura Arbórea em 2017 ^b (m ²)	Índice de Cobertura Arbórea em 2017 (%)
Lotes	236,94	65,2	27,52%
Sistema Viário (ruas, canteiros e calçadas)	102,24	57,72	56,46%
Praças	20,58	15,45	75,07%
Total Geral	359,76	138,37	38,46%



Fontes: ^a As áreas foram calculadas a partir dos dados georreferenciados “Quadra” e “Quadra Viária”, obtidos no sítio eletrônico do Mapa Digital da Cidade de São Paulo, mantido pela Prefeitura Municipal de São Paulo (<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>, acessado em abril de 2020).

^b Dados calculados a partir do mapeamento da cobertura arbórea de 2017. Importante observar que a cobertura arbórea corresponde à área das copas, sendo que não é possível determinar onde se árvore está plantada.

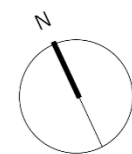
A arborização das vias conforma linhas contínuas de maciços arbóreos, como pode ser visto no Mapa 2, apresentado na sequência, que mostra a cobertura arbórea sobreposta às quadras. Nesse mapa é possível observar também que os maiores maciços arbóreos estão localizados nas principais praças, com exceção das praças Panamericana e Pôr do Sol.

MAPA DE COBERTURA ARBÓREA NA ÁREA DE ATUAÇÃO DA SAAP EM 2017 E ORTOFOTOS

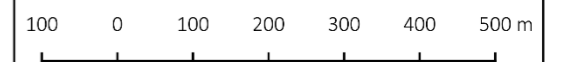
Legenda

-  Cobertura Arbórea
-  Limite SAAP

NOTA:
Ortofotos com data de referência de jan-2017, com 0,12m de resolução espacial e 3 bandas espectrais (RGB). Disponível em <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>, acesso em abr-2020.

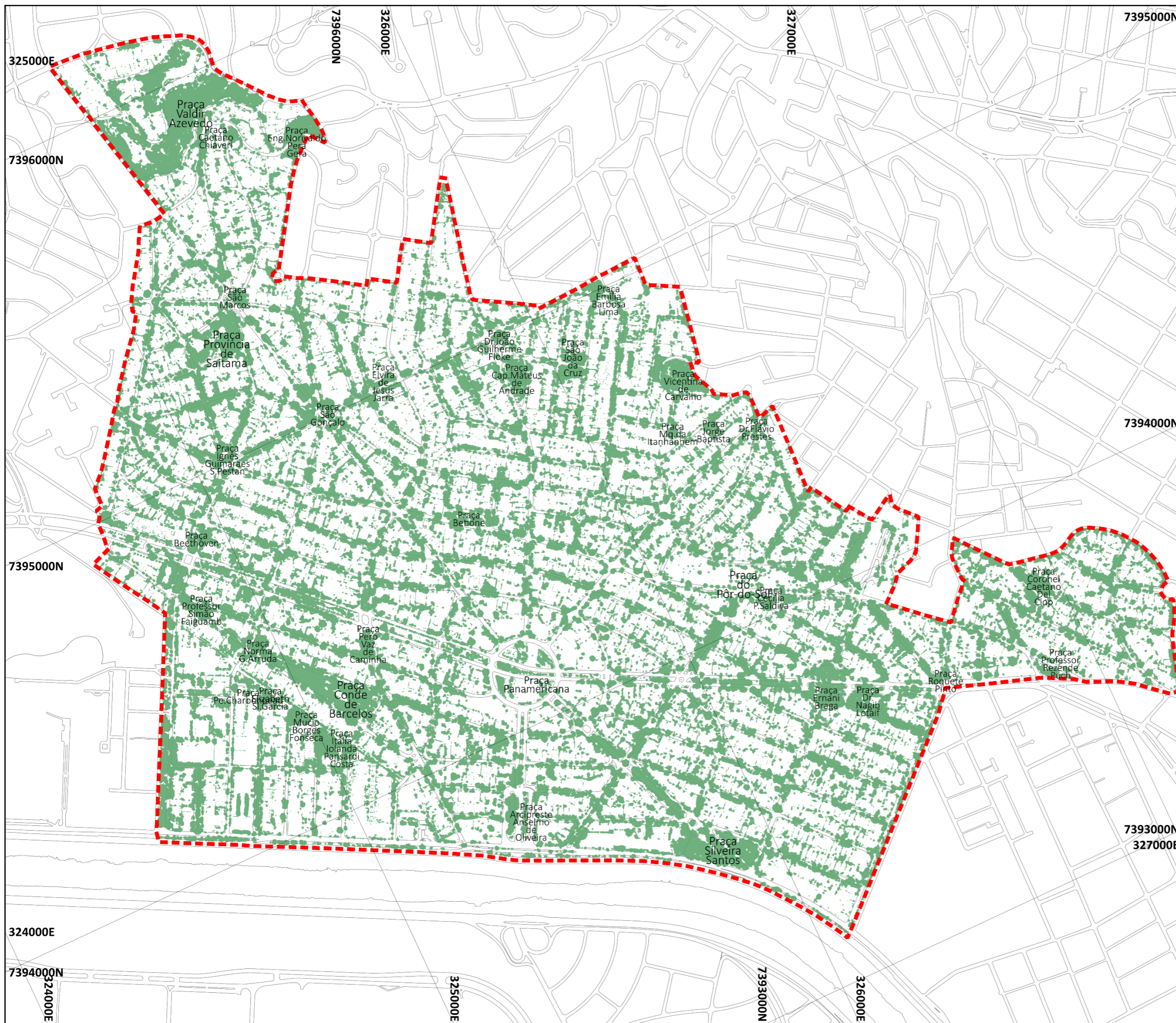


Sistema de Referência
WGS84
Zona 23 S



Escala 1:10.000

Abril de 2020



O Quadro 3 apresenta a cobertura arbórea detalhada por praça. A Praça Panamericana e a do Pôr do Sol são as que possuem o menor índice de cobertura arbórea (pouco mais de 1/3 de suas respectivas áreas). As demais praças possuem índices bastante expressivos, muitas delas com índice maior que 90%. Merecem destaque as praças Valdir Azevedo, Conde de Barcelos, Silveira Santos e Província de Saitama, devido ao tamanho de suas áreas e ao índice de cobertura arbórea (entre 80% e 92%).

Quadro 3 – Cobertura arbórea, área total e índice de cobertura arbórea em 2017 das praças inseridas no território de atuação da SAAP.

Praça	Área ^a (m ²)	Cobertura Arbórea em 2017 ^b (m ²)	Índice de Cobertura Arbórea em 2017 (%)
Praça Valdir Azevedo	40.218	35.554	88,40%
Praça do Pôr do Sol	34.766	11.968	34,42%
Praça Panamericana	17.048	6.060	35,55%
Praça Conde de Barcelos	16.251	14.890	91,63%
Praça Silveira Santos	13.676	12.582	92,00%
Praça Província de Saitama	13.589	10.894	80,17%
Praça Vicentina de Carvalho	8.643	8.201	94,89%
Praça Eng. Norivaldo Pera Gera	6.557	6.237	95,12%
Praça Ernani Braga	6.224	5.937	95,39%
Praça Cap. Mateus de Andrade	5.615	4.950	88,16%
Praça Arcipreste Anselmo de Oliveira	4.513	3.240	71,79%
Praça Dr. Nagib Lotaif	3.832	3.263	85,15%
Praça São João da Cruz	3.777	3.631	96,13%
Praça Dr. João Guilherme Floke	3.312	2.484	75,00%
Praça Betione	3.289	2.705	82,24%
Praça Pero Vaz de Caminha	3.032	2.831	93,37%
Praça Beethoven	2.822	2.639	93,52%
Praça Professor Rezende Puch	2.277	1.724	75,71%
Praça Cecília Perigo Saldiva	1.962	1.533	78,13%
Praça Jorge Baptista	1.446	1.281	88,59%
Praça Caetano Chiaveri	1.227	1.088	88,67%
Praça Professor Simão Faiguamb	1.187	1.166	98,23%
Praça Elvira De Jesus Jarra	1.135	1.013	89,25%
Praça Mucio Borges Fonseca	1.069	1.069	100,00%
Praça Itália Iolanda Pansardi Costa	1.036	1.031	99,52%
Praça São Gonçalo	1.002	857	85,53%
Praça Elizabeth SI Garcia	999	973	97,40%
Praça Emilia Barbosa Lima	986	975	98,88%
Praça São Marcos	984	823	83,64%
Praça Padre Charbonneau	975	741	76,00%
Praça Mq da Itanhanhem	818	743	90,83%

Praça	Área ^a (m ²)	Cobertura Arbórea em 2017 ^b (m ²)	Índice de Cobertura Arbórea em 2017 (%)
Praça Ighes Guimaraes S Pestan	473	435	91,97%
Praça Dr. Flávio Prestes	407	374	91,89%
Praça Norma G Arruda	331	331	100,00%
Praça Coronel Caetano Del Ciop	183	116	63,39%
Praça Roquete Pinto	145	123	84,83%
Total	205.806	154.462	75,05%

Fontes: ^a As áreas das praças foram calculadas a partir do dado georreferenciado “Quadra Viária”, obtido no sítio eletrônico do

Mapa Digital da Cidade de São Paulo, mantido pela Prefeitura Municipal de São Paulo (<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>, acessado em abril de 2020).

^b Dados calculados a partir do mapeamento da cobertura arbórea de 2017. Importante observar que a cobertura arbórea corresponde à área das copas, sendo que não é possível determinar onde se árvore está plantada.

5. Conclusões

Os mapeamentos da cobertura arbórea de 2010 e de 2017 foram obtidos a partir da utilização da mesma metodologia de inteligência artificial, baseada no modelo rede convolucional U-net. Entretanto, devido às características específicas das imagens utilizadas em cada classificação, os resultados de 2010 e 2017 não são diretamente comparáveis. As imagens utilizadas para o mapeamento de 2010 têm resolução espacial de 1m e apenas 3 bandas espectrais, enquanto que as imagens de 2017 têm 12cm de resolução espacial e 4 bandas espectrais.

A acurácia do mapeamento de 2017 resulta maior que a do mapeamento de 2010, o que torna possível considerar o mapeamento de 2017 como referência para a identificação da cobertura arbórea na área de atuação da SAAP. Nessa data, o índice de cobertura arbórea foi calculado em 38,46%, o que equivale a 138,37 ha de maciços arbóreos.

Embora com acurácia menor, a partir do mapeamento de 2010 foi possível comparar a situação da cobertura arbórea na área de atuação da SAAP com recortes territoriais selecionados. Observa-se que o índice de cobertura arbórea nesse recorte territorial é o mais favorável na comparação com os índices dos distritos que compõem a subprefeitura de Pinheiros ou mesmo com o índice do município de São Paulo como um todo. O índice na área de atuação da SAAP está em patamar superior ao índice dos distritos que compõem a Subprefeitura de Pinheiros, sendo comparável ao índice dos distritos mais arborizados inseridos na mancha urbana de São Paulo – Vila Andrade, Morumbi e Butantã.

Por fim, é importante ressaltar que o mapeamento da cobertura arbórea é insumo fundamental para o entendimento da situação da vegetação na área de atuação da SAAP, fornecendo uma base quantitativa e espacial para a gestão do patrimônio natural e contribuindo, portanto, para a manutenção e melhoria do padrão de qualidade de vida nessa área.

Bibliografia

Fontes consultadas

Campos, A. C. M. de A.; Queiroz, A. N.; Woods, M. K. Alto de Pinheiros: uma leitura do nosso bairro. SAAP: São Paulo, 2015.

Ronneberger, O.; Fischer, P.; Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *In* International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention; Springer: Cham, Switzerland.

Wagner, F. H.; & Hirye, M. C. M. (2019). Tree cover for the year 2010 of the Metropolitan Region of São Paulo, Brazil. *Data*, 4(4), pp. 1-8. <https://doi.org/10.3390/data4040145> .

Wagner, F.H.; Sanchez, A.; Tarabalka, Y.; Lotte, R.G.; Ferreira, M.P.; Aidar, M.P.M.; Gloor, E.; Phillips, O.L.; Aragão, L.E.O.C. (2019). Using the U-net convolutional network to map forest types and disturbance in the Atlantic rainforest with very high resolution images. *Remote Sensing in Ecology and Conservation* 5 (4), pp. 360-375. <https://doi.org/10.1002/rse2.111> .

Sítios eletrônicos

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): <https://sidra.ibge.gov.br>

Mapa Digital da Cidade de São Paulo: <http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>

Prefeitura Municipal de São Paulo: <http://www.prefeitura.sp.gov.br>