

Ariadne Reinaldo Trindade

E-mail: dnetrindade@gmail.com

Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-graduação da Universidade do Estado do Pará (UEPA)

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9236-130X>

Norma Ely Beltrão

Professora da Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: normaelybeltrao@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1991-2977>

Paulo Amador Tavares

Doutorando em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: atavares.paulo@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2617-1548>

Ana Cláudia Caldeira Tavares Martins

Professora do Departamento de Ciências Naturais e do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Estado do Pará (UEPA)

Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação da Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (Bionorte)

E-mail: tavaresmartins7@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4972-036X>

RESUMO:

Nos ambientes urbanos da Amazônia, onde a perda das características da vegetação é notável, as áreas verdes são as principais responsáveis pela prestação de serviços ecossistêmicos. Os objetivos deste trabalho são: discutir os Índices de Área Verde (IAV) nas zonas urbanas e estimar os quantitativos anuais de carbono sequestrados pelas áreas verdes urbanas e periurbanas em quatro municípios do estado do Pará: Ananindeua, Castanhal, Marabá e Santarém. O IAV urbano e as estimativas de sequestro de carbono foram derivados a partir de informações de cobertura vegetal obtidas através de processamento digital de imagens de satélite. Observou-se que as maiores concentrações de cobertura vegetal estão localizadas na porção periurbana nos municípios estudados e as maiores ocorrências dessas áreas estão nos municípios de Marabá e Santarém, com os maiores IAV urbanas com valores de 106,14m²/hab e 90,09m²/hab, respectivamente, e com a maior capacidade de sequestro de carbono. Os municípios de Ananindeua (IAV=37,27m²/hab) e Castanhal (IAV=32,58m²/hab) obtiveram menores resultados por comporem a região metropolitana de Belém, onde há maior densidade populacional. Os resultados indicam a importância da conservação dos remanescentes florestais para minimizar impactos ambientais da expansão urbana no território amazônico.

Palavras-chave: Florestas Urbanas; Serviços Ecossistêmicos; Sensoriamento Remoto.



ABSTRACT:

In the urban environments of the Amazon, where the loss of vegetation characteristics is noticeable, green areas are the main responsible for the provision of ecosystem services. The objective of this work are: to discuss the Green Area Indexes (IAV) in urban areas and to estimate the annual amounts of carbon sequestered by urban and peri-urban green areas in four municipalities in the state of Pará: Ananindeua, Castanhal, Marabá and Santarém. Urban IAV and carbon sequestration estimates were derived from vegetation coverage information obtained through digital processing of satellite images. It was observed that the highest concentrations of vegetation cover are located in the periurban portion in the municipalities studied and the highest occurrences of these areas are in the municipalities of Marabá and Santarém, with the largest urban IAV with values of 106.14m² / inhab and 90.09m² / hab, respectively and with the highest carbon sequestration capacity. The municipalities of Ananindeua (IAV = 37.27m² / inhab) and Castanhal (IAV = 32.58m² / inhab) had lower results because they comprise the metropolitan region of Belém, where there is a higher population density. The results indicate the importance of conserving forest remnants to minimize environmental impacts of urban expansion in the Amazon.

Keywords: Urban Forests; Ecosystem Services; Remote Sensing.

RESUMEN:

En los entornos urbanos de la Amazonía, donde se nota la pérdida de las características de la vegetación, las áreas verdes son las principales responsables de la prestación de servicios ecosistémicos. Los objetivos de este trabajo son: discutir los índices de áreas verdes (IAV) en áreas urbanas y estimar las cantidades anuales de carbono secuestrado por áreas verdes urbanas y periurbanas en cuatro municipios del estado de Pará: Ananindeua, Castanhal, Marabá y Santarém. Las estimaciones del IAV urbano y del secuestro de carbono se derivaron de la información de cobertura de la vegetación obtenida mediante el procesamiento digital de imágenes de satélite. Se observó que las mayores concentraciones de cobertura vegetal se localizan en la porción periurbana en los municipios estudiados y las mayores ocurrencias de estas áreas se encuentran en los municipios de Marabá y Santarém, con el IAV urbano más grande con valores de 106.14m² / hab y 90.09m² / hab, respectivamente y con la mayor capacidad de secuestro de carbono. Los municipios de Ananindeua (IAV = 37,27m² / hab) y Castanhal (IAV = 32,58m² / hab) tuvieron resultados más bajos porque comprenden la región metropolitana de Belém, donde hay una mayor densidad de población. Los resultados indican la importancia de conservar los remanentes forestales para minimizar los impactos ambientales de la expansión urbana en la Amazonía.

Palabras llave: Bosques Urbanos; Servicios de Ecosistema; Detección Remota.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais absorvem e armazenam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂), possuindo um papel muito importante na regulação do clima global (FEARNSIDE, 2018). A Amazônia, enquanto maior floresta tropical do mundo em extensão, tem capacidade para a influenciar a longo prazo o balanço e fluxos terrestres de carbono e suas taxas flutuações (PHILLIPS et al., 2017). Dentre as alterações que as florestas estão sujeitas em nível mundial, destaca-se a fragmentação, que resulta em porções de vegetação progressivamente menores, isoladas por áreas ocupadas pelo desenvolvimento agrícola, industrial e urbano (ELIAS et al., 2018).

Na Amazônia Legal, tal fragmentação está relacionada com derrubada, queima e posterior substituição da floresta nativa para a atividade agropecuária (LISBOA et al., 2019). Entretanto, a



crescente urbanização das cidades, normalmente não planejadas, também acarreta taxas de supressão vegetal muito altas, principalmente em locais com elevada densidade demográfica e assentamentos informais (OLIVEIRA et al., 2017).

Estudos referentes aos fragmentos florestais urbanos são escassos (WATRIN et al., 2019). Lisboa et al. (2019) observaram que no período de 1985 a 2018, no estado do Pará, a maioria de fragmentos florestais foram convertidos em determinados tipos de usos ou outro tipo de cobertura florestal, devido à intensidade de desmatamento, ao avanço das atividades agropecuárias e ao processo de urbanização na Amazônia Oriental.

Constata-se que os processos contínuos de crescimento e urbanização da população humana levam diretamente à degradação dos ambientes naturais (MELO et al., 2016). Deste modo, a substituição do ambiente natural pela superfície construída tem o potencial de modificar o clima das cidades numa intensidade ainda maior do que a promovida pelas mudanças climáticas globais, e as florestas urbanas podem ser utilizadas para mitigar as mudanças no clima tanto em escala micro quanto em escala regional (SILVA et al., 2019).

A maioria das cidades amazônicas possui pouca área verde urbana (FERREIRA et al., 2012). Deste modo, gestores públicos e moradores têm destacado o papel das florestas secundárias urbanas para as cidades (SANTANA et al., 2015), uma vez que os espaços verdes urbanos têm sido cada vez mais reconhecidos como um dos elementos cruciais no planejamento urbano sustentável em todo o mundo, podendo fornecer importantes serviços ecossistêmicos para os residentes locais (FAN et al., 2017).

Esses serviços estão associados às diversas funções ecológicas que a vegetação pode desempenhar tais como, purificação do ar, fixação de carbono atmosférico, regulação de umidade e temperatura, fertilidade e umidade dos solos e proteção contra erosão (PEREIRA et al., 2018). Dentre esses serviços, existe uma necessidade em se entender melhor a relação entre a diversidade florística e o estoque de carbono em florestas tropicais, a fim de balizar políticas de conservação destinadas à redução de emissões de CO₂ para a preservação ambiental (CAVANAUGH et al., 2014). A regeneração natural de florestas secundárias é amplamente considerada um mecanismo eficaz de baixo custo para sequestro de carbono, pois armazenam grandes quantidades de carbono na vegetação e no solo, trocando carbono com a atmosfera através de fotossíntese e respiração (SAHU et al., 2016; CHAZDON et al., 2016).

Desta forma, estimar os índices de áreas verdes e acompanhar a dinâmica de carbono nos fragmentos florestais urbanos são medidas importantes devido sua forma de armazenamento e para que sejam abordadas estratégias que possam ser adotadas visando sua conservação, especialmente no espaço territorial da região Amazônica que sofre com inúmeras pressões.



No estado do Pará percebe-se um rápido processo de urbanização em cidades de porte médio. Apesar do importante papel da capital Belém, assim como sua região metropolitana na qual estão inseridos os municípios de Ananindeua e Castanhal, os municípios de Marabá e Santarém, localizados respectivamente no sudeste e noroeste paraense, vêm se tornando espaços decisivos para os projetos atuais de desenvolvimento regional, como centros político-econômicos (NUNES et al., 2018). As áreas urbanas e periurbanas desses municípios vem crescendo devido à migração da área rural, a melhoria da infraestrutura urbana, e à intensificação de projetos de desenvolvimento econômico que criam postos de trabalho e atraem pessoas em busca de oportunidades.

Neste processo de transformação urbana, torna-se relevante buscar formas de manter as áreas verdes ainda existentes e que sofrem pressão para conversão em outros usos urbanos. Uma justificativa para isso seria valorizar essas áreas ressaltando os serviços ecossistêmicos ofertados, em especial, aqueles relacionados com as mudanças climáticas. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é estimar, através de imagens de sensoriamento remoto, os índices de áreas verdes e de sequestro de carbono da biomassa florestal das áreas verdes urbanas e periurbanas dos municípios de Ananindeua, Castanhal, Marabá e Santarém, no estado do Pará.

2. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

2.1 ÁREA DE ESTUDO

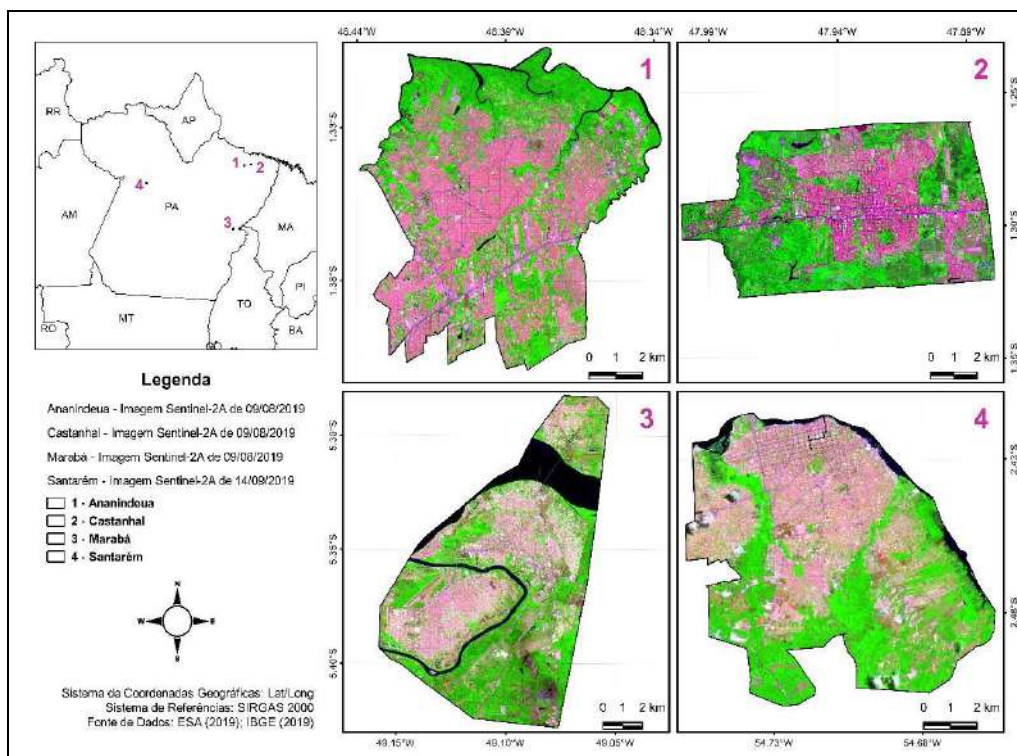
A área de estudo corresponde às quatro maiores cidades médias do estado do Pará, Brasil. Sendo elas, Ananindeua, Castanhal, Marabá e Santarém, conforme a Figura 1.

O município de Ananindeua (1), pertencente a Mesorregião Metropolitana de Belém (RMB), possui área territorial de 190,451 km² e população estimada no ano de 2019 de 530.598 habitantes (IBGE, 2019). A vegetação da área de estudo possui características de florestas secundárias em vários estágios e apresenta áreas que estão sujeitas a inundação, onde há a ocorrência de vegetação de várzea (PARÁ, 2019). Embora o tecido urbano ocupe grande parte da região, a área peri urbana do município ainda consiste em florestas secundárias, várzea e agricultura (PARÁ, 2019).

O município de Castanhal (2), também pertencente a RMB, com área territorial de 1.029,300 km² e população estimada de 200.793 habitantes (IBGE, 2019). É representado, predominantemente, pela floresta secundária, proveniente da remoção da cobertura florestal primária, também possuem extensas pastagens artificiais, áreas cultivadas com espécies frutíferas, como o maracujá, o mamão Havaí, citros e outras, e ao longo dos riachos e outros corpos d'água, encontra-se a Floresta da Galeria (PARÁ, 2019).



Figura 1: Localização das áreas urbanas dos municípios de Ananindeua, Castanhal, Marabá e Santarém



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

De acordo com a classificação de Köppen, os municípios de Ananindeua e Castanhal, estão localizados na zona climática Af, com precipitação média anual de 3.000 a 4.000 mm (ALVARES *et al.*, 2013; PARA, 2019).

O município de Marabá (3) possui área territorial estimada de 15.128,06 km² e 266.932 habitantes (IBGE, 2016). Sua vegetação é diversificada, com áreas de Floresta Densa Submontana, Floresta Aberta Mista (Cocal), Floresta Aberta Latifoliada (Cipoal), Floresta Densa dos terraços, Florestas Ciliares e Matas de Galeria. Na classificação de Köppen, este Município se encontra na faixa de transição de AW para Am (IBGE, 2016).

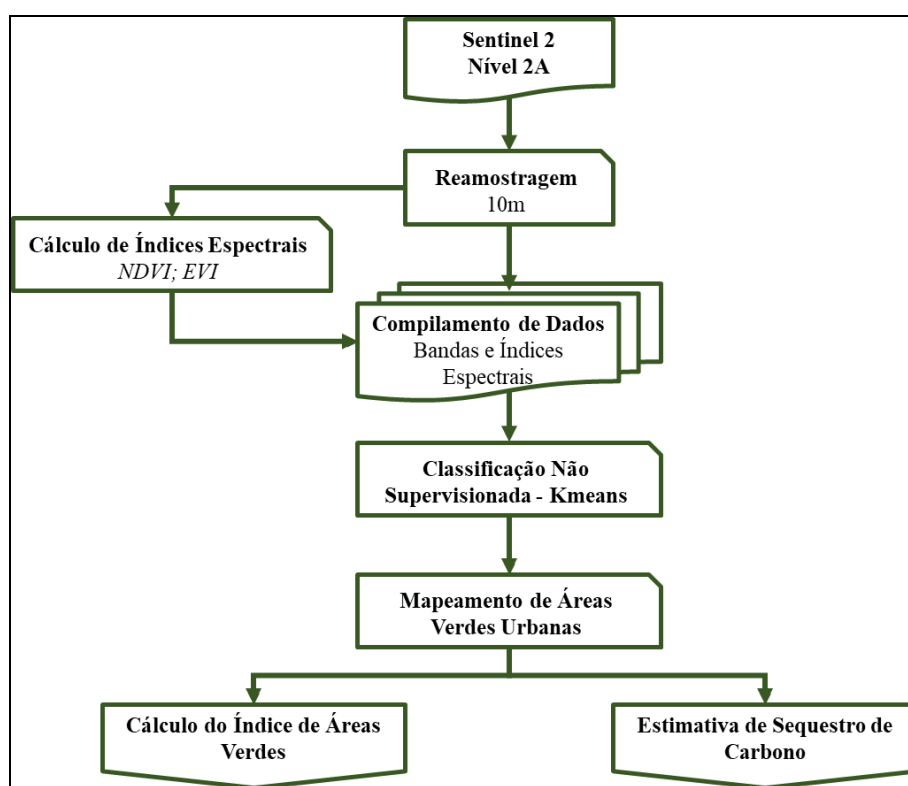
O município de Santarém (4) possui área territorial estimada de 17.898,39 km² e população de 302.667 habitantes (IBGE, 2019). Sua vegetação é Floresta Equatorial Latifoliada e Campos Cerrados, áreas de Capoeira e áreas com influência de inundação fluvial, e temperatura do ar sempre elevada, com média anual de 25,6 °C, com pluviosidade de 2.000 mm anuais, com tipo climático da região Ami (FAPESPA, 2019).



2.2 CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS VERDES URBANAS

A classificação de áreas verdes urbanas foi desenvolvida para os quatro municípios da área de estudo a partir de cenas Sentinel-2, nível 2A, as quais já possuem as correções radiométrica e atmosférica aplicadas. As imagens de Ananindeua, Castanhal e Marabá foram adquiridas para o dia 9 de agosto de 2019, e a cena de Santarém foi obtida para o dia 14 de setembro de 2019, devido à disponibilidade de cenas com baixo percentual de cobertura de nuvens. A figura 1 mostra o processamento aplicado para classificação das imagens Sentinel-2 obtidas.

Figura 2: Fluxograma de processamento da classificação de áreas verdes urbanas para os municípios estudados.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Após a aquisição das imagens, aplicou-se o processo de reamostragem para 10m, de tal maneira que todas as bandas das imagens Sentinel-2 ficassem com 10m de tamanho de pixel e a precisão da imagem final fosse aprimorada. Os índices espectrais estimados NDVI e EVI (Tabela 1) foram aplicados na imagem para aumentar a probabilidade de acerto dos alvos de vegetação estudados (TAVARES et al., 2019). A compilação foi aplicada para unificar as bandas espectrais e os índices radiométricos em um único produto. Assim, o produto processado teve 12 bandas espectrais e 2 índices radiométricos

**Tabela 1:** Índices espectrais aplicados no estudo.

Nome	Sigla	Equação	Referência
Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index)	NDVI	$\frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$	(ROUSE et al., 1974)
Índice de Vegetação Otimizado (Enhanced Vegetation Index)	EVI	$\frac{G * (\rho_{NIR} - \rho_{Red})}{L + \rho_{NIR} + C1 * \rho_{Red} - C2 * \rho_{Blue}}$	(HUETE et al., 2002)

Notas: ρ_{NIR} é a banda de infravermelho próximo (0,842 μm), ρ_{Red} e ρ_{Blue} fazem menção aos espectros vermelho (0,665 μm) e azul (0,490 μm), respectivamente, G (2,5), L (1,0), C1 (6,0) e C2 (7,5) são valores constantes da equação do EVI. Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

A classificação aplicada no estudo foi do tipo não supervisionada, sendo a análise de agrupamentos K-Means (TZORTZIS; LIKAS, 2009) selecionada. A classificação utilizada do tipo não supervisionada provém de uma análise de agrupamentos K-Means, que ocorre quando um algoritmo leva em consideração duas propriedades em sua estrutura de criação e é considerado um algoritmo de agrupamento não supervisionado, por gerar agrupamentos a partir de números de classes pré-determinadas (MACQUEEN, 1967; BRAZ et al., 2020).

A classificação foi realizada no software de processamento digital de imagens SNAP 7.0, da *European Space Agency* (ESA), sendo utilizadas todas as bandas e todos os índices espectrais obtidos com as imagens Sentinel-2. Foram selecionadas 10 classes - devido à quantidade de feições diferenciadas encontradas em um ambiente urbano - utilizadas 200 interações para a análise de agrupamentos e 31.415 sementes aleatórias foram criadas para o desenvolvimento da classificação não supervisionada. A imagem resultante foi então vetorizada e os polígonos referentes à vegetação urbana nos municípios filtrados e separados para posterior obtenção do Índice de Áreas Verdes (IAV) e da estimativa de sequestro de carbono.

2.3 ÍNDICE DE ÁREAS VERDES (IAV)

O IAV foi estimado a partir das imagens classificadas e para os polígonos de vegetação densa tanto para a área urbana total, quanto desconsiderando-se a área periurbana. Considerou-se para esse cálculo a população urbana estimada para o ano de 2019 (IBGE, 2019). Por fim, o IAV foi calculado pela razão entre a área verde urbana total e a população urbana estimada. Os valores finais foram dados em hectares por habitante.



2.4 ESTIMATIVA DE SEQUESTRO DE CARBONO

Após a identificação da área de cobertura vegetal, utilizou-se um método de estimativa de sequestro de carbono, conforme utilizado por Assumpção (2019), o qual foi derivado das Diretrizes para Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa do IPCC (EGGLESTON et al., 2006). Salienta-se que esse método estima apenas a capacidade de sequestro de carbono para a camada superficial das áreas verdes. Assim, a quantidade de carbono sequestrado estimada para cada hectare de vegetação densa nos municípios estudados foi estimada seguindo a Equação 1.

$$PC = A * CD * FC \quad (1)$$

Onde, PC é o potencial de captura anual de carbono (em toneladas de CO₂); A é a área vegetada (em hectare) identificada por geoprocessamento; CD é o coeficiente de produtividade da floresta estudada (em tonelada/ano), sendo considerado o valor de 2,55 toneladas anuais fazendo referência às florestas tropicais úmidas; e FC é o coeficiente de fração de carbono da biomassa, o valor utilizado foi de 0,49.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

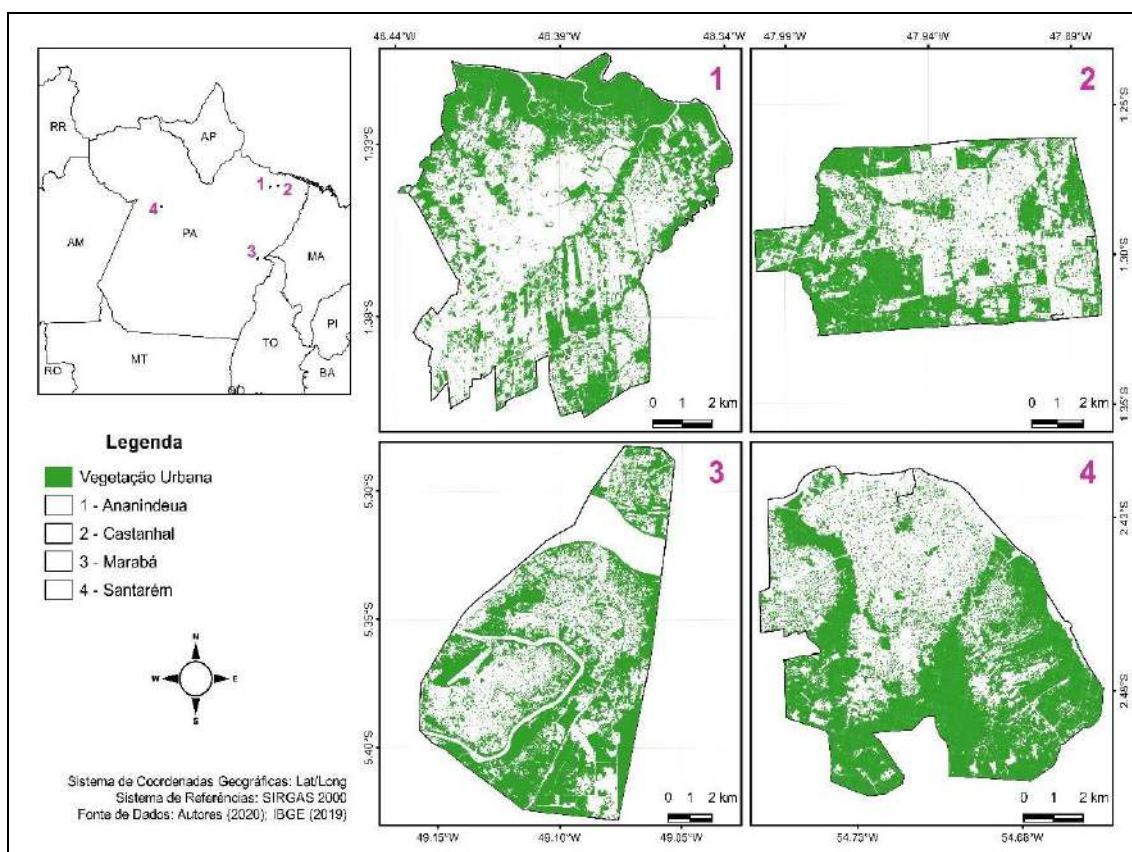
3.1 ÁREAS VERDES URBANAS

Com a aplicação da classificação não supervisionada (Kmeans) no compilado de imagens produzidas, foi possível fazer a extração das áreas verdes urbanas dos quatro municípios estudados (Figura 3), mostrando como resultado o mapeamento de vegetação urbana; nesta figura o verde indica vegetação densa e a porção branca, a área urbanizada. A compreensão visual da figura 2 ilustra que o mapeamento feito a partir da classificação automática e da pós classificação manual obteve uma elevada acurácia, sendo capaz de extrair mesmo os polígonos de vegetação densa próximos de áreas de vegetação degradada.

É possível notar que as áreas com maiores concentrações de cobertura vegetal estão localizadas na porção periurbana nos municípios, e esta área representa uma estimativa, com a seleção de polígonos mais relevantes de ocupação humana. De modo geral, os locais com menor cobertura vegetal e maior parte de áreas construídas estão distribuídos nas áreas centrais. Os municípios de Ananindeua e Castanhal fazem parte da Região Metropolitana de Belém (RMB) e estão diretamente influenciados pelo crescimento urbano de Belém.



Figura 3: Áreas verdes urbanas nos municípios de Ananindeua (1), Castanhal (2), Marabá (3) e Santarém (4).



Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Tendo por base os valores limites de NDVI e EVI, que variam entre -1 e 1, observa-se que à medida que a urbanização aumenta, o vigor de vegetação diminui, o que por sua vez, o torna um bom indicador da quantidade de vegetação (LA BARRERA; HENRÍQUEZ, 2017), sendo que essa distinção foi perceptível na classificação não-supervisionada realizada. Hashim et al. (2019) relatam um valor limite de NDVI, para floresta tropical urbana capaz de identificar os tipos de vegetação na área urbana (0,50 a 1,0), indicando vegetação alta, como árvores em áreas urbanas, enquanto os valores mais baixos representam baixa vegetação ou áreas não vegetadas. Deste modo, com a aplicação dos índices espectrais, pôde-se desenvolver uma classificação de vegetação urbana que condiz com a realidade.

A tabela 2 apresenta os valores totais de área verde encontrados nas áreas urbanas estudadas e o racional de áreas verdes urbanas por habitante, chamado aqui de IAV urbana.



Tabela 2: Índices de áreas verdes urbanas nos municípios do estudo.

Municípios	Área verde urbana (m ²)	População estimada urbana (hab)	IAV urbana (m ² /hab)
Ananindeua	19.729.300	529.293	37,27
Castanhal	5.794.300	177.865	32,58
Marabá	23.635.500	222.684	106,14
Santarém	20.101.700	223.122	90,09

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

Para a análise dos resultados, considerou-se a somatória das áreas verdes, expressa em metro quadrado, e de seu percentual, de forma a verificar que as quatro regiões em estudo possuem, juntas, um montante de verde urbano da ordem de 69.260.800 m² e um território de aproximadamente 211.170.000 m², ou seja, 32,80% da área urbana total de todos os municípios.

Na tabela 2, destaca-se que a maior ocorrência dessas áreas se encontra situada nos municípios de Marabá (23.630.000 m²) representando 34,27% de sua área urbana e Santarém (20.100.000 m²) com 38,13%. Assim sendo, é importante ressaltar que a restauração dos ecossistemas nestas cidades representa uma medida eficaz para reverter os processos de degradação ambiental resultantes da urbanização (SILVA et al., 2019). Além disso, os espaços verdes urbanos são essenciais para cidades com bom funcionamento e boa habitação (KABISCH et al., 2016).

O IAV evidencia que Marabá (106,14 m²/hab) e Santarém (90,09 m²/hab) possuem as maiores coberturas de área verde por habitantes. Tal ocorrência é derivada da presença de seus espaços verdes públicos, os quais em Marabá, refere-se às áreas de várzea, igapós, praças, lagos, rotatórias, canteiros, Parque Ambiental Linear “Rio Itacaiunas”, área de Preservação Permanente e corredores ecológicos (BIBAS; CARDOSO, 2016). Já em Santarém, às praças, quintais, o “Parque da Cidade” e, à produção orgânica de frutas e hortaliças nos quintais agroflorestais (GOMES et al., 2017).

As cidades de Ananindeua e Castanhal, por fazerem parte da RMB, sofrem impacto significativo do crescimento urbano, em que os espaços construídos tomam lugar das áreas verdes urbanas, levando conseqüentemente à fragmentação da vegetação. Estudos relatam que quando a estrutura da paisagem é modificada, pode ocorrer extinções locais e mudanças na composição e biodiversidade de comunidades (SILVA et al., 2019).

Ferreira et al. (2012) afirmam que do ponto de vista ecológico, esses fragmentos urbanos podem ser considerados como ilhas de biodiversidade, pois são lugares onde se pode conseguir



informações biológicas, necessárias para a restauração da paisagem fragmentada e a conservação de ecossistemas ameaçados. Desta forma, o estudo desses espaços pode indicar a quantidade de espaços verdes disponíveis à população e o impacto causado pela urbanização (ANGULURI; NARAYANAN, 2017).

Os índices de áreas verdes urbanas calculados nos municípios estudados são valores elevados se comparados com outros estudos como o observado em Gurupi, TO (1,46 m²/hab) (SILVA et al., 2016), Altamira, PA (0,87 m²/hab) (DE SOUZA et al., 2014), Mimoso do Sul, ES (16,69 m²/hab) (FIORESE et al., 2018), Goiânia, GO (9 m²/hab) (RAMOS et al., 2020). Dessa forma, o índice de área verde varia de uma cidade para a outra, entretanto os municípios da área de estudo, apresentam os maiores valores encontrados nos trabalhos consultados acima, o que pode ser explicado pelo fato de que os quatro municípios objeto de estudo possuem a área verde urbana e o número de habitantes da zona urbana bem maior em comparação aos demais.

Somando as áreas verdes periurbanas dos quatro municípios, obtém-se um montante de 98.435.400 m², onde predominam áreas de preservação, com o Parque Estadual do Utinga Camillo Vianna em Ananindeua. Nesses espaços também pode estar presente agricultura periurbana, que é capaz de contribuir para o desenvolvimento de um município na medida em que afeta e proporcione melhorias ambientais, sociais, econômicas e alimentares (SANTANA et al., 2017). Portanto, as atividades rurais realizadas nessas áreas precisam considerar, entre outros fatores, a preservação dos fragmentos florestais existentes e estar em consonância com a expansão urbana do município (FIORESE et al., 2018).

Dessa maneira, estas áreas, por se constituírem em locais onde predominam a vegetação arbórea, proporcionam inúmeros benefícios a população assegurando a qualidade ambiental do espaço urbano, tais como conforto térmico, estabilização de superfícies por meio da fixação do solo pelas raízes das plantas, atenuação da poluição do ar, sonora e visual e abrigo para fauna (BARROS et al., 2015).

3.2 ESTIMATIVA DE SEQUESTRO DE CARBONO

Em uma floresta, o sequestro de carbono (C) em biomassa acima do solo é um dos principais serviços ecossistêmicos, através da adsorção na fotossíntese e armazenamento, que possui a função de produzir biomassa e conseqüentemente estocar ou fixar carbono. Quanto maior o porte de uma planta, por exemplo, maior sua biomassa e conseqüente maior o carbono acumulado (OLIVEIRA et al., 2017). Por essa razão, após a classificação de áreas verdes urbanas, a partir de cenas Sentinel-2 que possibilitou a identificação e quantificação de cobertura vegetal nos municípios estudados por



meio de uma compilação de índices espectrais estimados e com base no trabalho de Assumpção et al. (2019), determinou-se o potencial de captura de carbono.

Deste modo foi possível obter o potencial de captura anual de carbono para todas as áreas urbanas estudadas (Tabela 3), considerando tanto a área urbana total quanto desconsiderando-se as áreas periurbanas. No entanto, Assumpção et al. (2019) admitem que as referências se limitam em considerar apenas o incremento de carbono na parte superficial da vegetação, desconsiderando os incrementos em componentes da biomassa do solo.

Tabela 3: Quantitativo de áreas verdes urbana e estimativa de sequestro de carbono em 4 municípios do Estado do Pará.

Municípios	Área Verde Urbana (ha)	Quantidade de Carbono sequestrada (t/ano)	Área verde urbana - semi periurbana (ha)	Quantidade de Carbono sequestrada (t/ano)
Ananindeua	3.702,44	4.626,20	1.972,93	531,70
Castanhal	3.725,09	4.654,50	579,43	56,16
Marabá	4.777,50	5.969,49	2.363,55	36,98
Santarém	4.564,59	5.703,46	2.010,17	41,74

Fonte: Elaborado pelos autores, 2020.

As áreas verdes urbanas de Ananindeua (3.702,44 ha), Castanhal (3.725,09 ha), Marabá (4.777,50 ha) e Santarém (4.564,59 ha) correspondem a 43,42%; 48,49%; 42,41% e 54,53%, respectivamente, da área urbana total considerada. O quantitativo total de área verde urbana dos quatro municípios é de 16.769,62 hectares. Esses valores estão acima dos registrados no trabalho de Aguiar et al. (2017) em que foram encontrados valores no intervalo de 59,18 a 128,89 t/ha em uma unidade de produção na Floresta Nacional do Tapajós. E de um fragmento florestal com regeneração de 30 anos em Iguatu, CE, com cerca de 27,19 t/ha. Com este resultado, fica clara a importância da conservação de fragmentos florestais de florestas tropicais e a importância de manter todas as áreas em regeneração (PEREIRA JUNIOR et al., 2016).

Diante disto, os espaços urbanos, em sua grande maioria, sofrem com a falta de planejamento e não possuem áreas disponíveis para uma arborização adequada nas vias públicas e praças (BRIANEZI et al., 2014). E a cobertura vegetal tem grande importância na proteção ambiental, porque evita o impacto direto das gotas de chuva no solo, reduzindo a desagregação das partículas e com isso impedindo o aumento dos índices de erosão, ao mesmo tempo em que evita compactação do solo (COELHO et al., 2015).

Além de melhorar as condições químicas e físicas do solo, o aumento na biomassa através da queda das folhas e galhos protege o solo e garante a permanência da umidade por mais tempo,



além da formação da matéria orgânica durante os períodos sucessionais da vegetação, que se dá devido ao aumento da entrada e acúmulo de carbono orgânico no solo (NOVAK et al., 2018).

Por fim, o Brasil tem o potencial de 70% de sumidouro de carbono das florestas neotropicais do mundo e a Amazônia possui a maior parte dessa contribuição, entretanto a captação de carbono excede as emissões combinadas devido a combustíveis fósseis e desmatamento, degradação e fragmentação (BRIENEN et al., 2015; PHILLIPS et al., 2017). Diante disso, se faz necessário estudos que monitorem a compensação de carbono e atividades de conservação desses remanescentes florestais que podem ser impactados com o crescimento dessas cidades em potencial expansão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da presente pesquisa permitiram verificar a importância da conservação de fragmentos florestais como potencial de captura de carbono em áreas verdes urbanas por meio das análises realizadas nos municípios estudados. Constatou-se que as maiores taxas de cobertura vegetal estão localizadas nas áreas periurbanas dos municípios, sendo essas, grandes responsáveis pelo fornecimento de diversos serviços ecossistêmicos, como o sequestro de carbono. A elevação nos valores de IAV urbana também são decorrentes desses espaços e com isto, se faz necessário ter uma atenção especial a esses espaços que ainda estão conservados, mas que podem ser ameaçados na medida em que os centros urbanos forem crescendo.

Nas cidades de Ananindeua e Castanhal foram encontradas as menores taxas de cobertura vegetal, o que pode ser justificado por uma influência direta do crescimento da capital do estado do Pará, a cidade de Belém. E que pode ser exemplo para o que pode vir a acontecer com as cidades de Marabá e Santarém, que tiveram os maiores índices de cobertura vegetal e possuem maior capacidade de sequestro de carbono.

O estudo específico dessas áreas pode ajudar na tomada de decisões e na adoção de políticas públicas. Cabe ressaltar que a restauração dos ecossistemas urbanos nas cidades pode ajudar a reverter os processos de degradação ambiental ocasionados pelo crescimento urbano desordenado, possibilitando ganhos ambientais de médio prazo, a medida em que os serviços ecossistêmicos prestados aumentem com o crescimento dessas áreas, melhorando assim, a qualidade de vida urbana dos habitantes.



REFERÊNCIAS

- AGUIAR, D. R.; GAMA, J. R. V.; BELDINI, T. P. Estoque de carbono por grupo ecológico na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Espacios**, v. 38, nº 32, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, nº 6, p. 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ANGULURI, R.; NARAYANAN, P. Papel do espaço verde no planejamento urbano: perspectivas para cidades inteligentes. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 25, p. 58-65, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.007>
- ASSUMPCÃO, M. P.; TAVARES, P. A.; COUTINHO, E. C. Balanço de carbono em cidades da Amazônia: estudo de caso em Belém, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, p. 1-27, 2019. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180186>.
- BARROS, A. P. S.; AZEVEDO, A. C. J.; DIAS, E. R. S.; OLIVEIRA, H. M. P. Planejamento urbano, áreas verdes e qualidade de vida: uma análise comparativa entre os bairros Terra Firme e Cidade Velha – Belém/PA. **Revista Georaguaiá**, v. 7, n. 2, p. 68-85, 2017.
- BIBAS, L.; CARDOSO, A. C. Redesenhos para Marabá PA: Aspectos socioambientais e desenho urbano. **Revista Arquitextos**. v. 199, n. 7, 2016.
- BRAZ, A.; OLIVEIRA, I.; CAVALCANTI, L.; ALMEIDA, A.; CHÁVEZ, E. Análise de cluster para a tipologia da paisagem. **Mercator**, v. 19, 2020. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19011>
- BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. A. B.; GONÇALVES, W.; ROCHA, S. J. S. S. Balanço de emissões e remoções de Gases de Efeito Estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**, v. 21, nº 2, p. 182-191, 2014. <https://doi.org/10.4322/floram.2014.017>
- BRIENEN, R. J. W.; PHILLIPS, O. L.; FELDPAUSCH, T. R.; GLOOR, E.; BAKER, T. R.; LLOYD, J. Long-term decline of the Amazon carbon sink. **Nature** v. 519, p. 344-347, 2015.
- CAVANAUGH, K. C.; GOSNELL, J. S.; DAVIS, S. L.; AHUMADA, J.; BOUNDJA, P.; CLARK, D. B. Carbon storage in tropical forests correlates with taxonomic diversity and functional dominance on a global scale. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, nº 5, p. 563-573, 2014. <http://dx.doi.org/10.1111/geb.12143>.
- CHAZDON, R. L., BROADBENT, E. N., ROZENDAAL, D. M. A., BONGERS, F., ZAMBRANO, A. M. A., AIDE, T. M., ET AL. Carbon sequestration potential of second-growth forest regeneration in the Latin American tropics. **Science Advances**, v. 2, nº 5, 2016. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501639>
- COELHO, I. A. M.; DUARTE, S. M. A.; COELHO, O. A. M. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens. **Revista GEAMA**, Recife, v. 2, nº 1, p. 7-24, 2015.



- DE SOUZA, O. P. S.; DE SOUZA, P. T. S.; DE FREITAS, A. D. D.; PARAENSE, V. C.; SOUZA, D. V. Indicadores de área verde e cobertura arbórea para as praças do município de Altamira, Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, nº 18, p. 1955-1962, 2014.
- EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japan: IGES, 2006.
- ELIAS, G. A.; MARTINS, H. B.; VINHOLES, A. R.; MARQUES, B. H.; ZANETTE, V. C.; SANTOS, R. Árvores de um fragmento florestal urbano em Santa Catarina, sul do Brasil: florística e estrutura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1755-1769, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835335>
- FAN, P.; XU, L.; YUE, W.; CHEN, J. Acessibilidade do espaço verde urbano público em uma periferia urbana: o caso de Xangai. **Landscape and Urban Planning**, v. 165, p. 177-192, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.11.007>
- FAPESPA, Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Estatísticas Municipais Paraenses: Santarém**. / Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. – Belém, 2019.
- FEARNSIDE, P. M. Brazil's Amazonian forest carbon: the key to Southern Amazonia's significance for global climate. **Regional Environmental Change**, v. 18, nº 1, p. 47-61, 2018.
- FERREIRA, L. V.; PAROLIN, P.; MUÑOZ, S. H.; CHAVES, P. P. O efeito da fragmentação e isolamento florestal das áreas verdes da Região Metropolitana de Belém. **Pesquisas Botânica**, nº 63, p. 357-367, 2012.
- FIGLIANO, C. H. U.; MADEIRA, L.; SILVA FILHO, G.; HENRIQUE, D.; BINOTI, B.; MARTINS, L. D. Áreas verdes urbanas e periurbanas do município de Mimoso do Sul-ES, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 15 nº 28, p. 2018.
- GOMES, T. V.; CARDOSO, A. C. D.; COELHO, H. S.; OLIVEIRA, K. D. Santarém (PA): um caso de espaço metropolitano sob múltiplas determinações. **Cadernos Metrôpole**, v. 19, nº 40, p. 891-918, 2017. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2017-4009>
- HASHIM, H.; ABD LATIF, Z.; NA, A. **Classificação urbana de vegetação com NDVI conconf**. Arco. Photogramm. Sensoriamento Remoto Inf. Espacial. Sci., XLII-4 / v. 16, p. 237-240, 2019. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W16-237-2019>
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195–213, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2).
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.
- KABISCH, N.; STROHBACH, M.; HAASE, D.; KRONENBERG, J. Urban green space availability in European cities. **Ecological Indicators**. v. 70, p. 586–596, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.029>



LA BARRERA, F.; RUBIO, P.; BANZHAF, E. The value of vegetation cover for ecosystem services in the suburban context. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 16, p. 110-122, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.02.003>

LISBOA, L. S.; ALMEIDA, A. S.; LAMEIRA, W. J. Análise temporal da fragmentação florestal no leste da Amazônia legal. **Novos Cadernos NAEA**, v. 22, nº 3, 2019. <http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v22i3.6571>.

MACQUEEN, J. B. **Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations**. In: BERKELEY SYMPOSIUM ON MATHEMATICAL STATISTICS AND PROBABILITY, 5, 1967, Berkeley. Proceedings. Berkeley: University of California, p. 281-297, 1967.

MELO, N. A.; DELEVATI, D. M.; PUTZKE, J.; LOBO, E. A. Phytosociological Survey in Water Preservation Areas, Southern, Brazil. In: **The Botanical Review**, v. 82, p. 359-370, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12229-016-9172-z>

NOVAK, E.; CARVALHO, L. A.; SANTIAGO, E. F.; BRUMATTI, A. V.; SANTOS, L. L.; SALES, L. C. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, nº 3, p. 21-30, 2018. <https://dx.doi.org/10.19084/RCA17300>

NUNES, D. A.; TRINDADE JUNIOR, S. C.; TRINDADE, G. O.; Cidades médias na Amazônia brasileira: da centralidade econômica à centralidade política de Marabá e Santarém (Estado do Pará), **Confins**, v. 29, 2016, <https://doi.org/10.4000/confins.11376>

OLIVEIRA, M. T.; GANEM, K. A.; BAPTISTA, G. M. M. Análise sazonal da relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, nº 4, 2017.

PARÁ, **Estatística Municipal de Ananindeua**. Governo do Estado do Pará, 2019.

PARÁ, **Estatística Municipal de Castanhal**. Governo do Estado do Pará, 2019.

PARÁ, **Estatística Municipal de Marabá**. Governo do Estado do Pará, 2016.

PARÁ, **Estatística Municipal de Santarém**. Governo do Estado do Pará, 2019.

PEREIRA JÚNIOR, L. R., ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; RAYMER, P. C. L.; RIBEIRO FILHO, J. C.; PEREIRA, F. J. S. Estoques de carbono em uma floresta tropical seca no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, nº 1, p. 32-40, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160004>

PEREIRA, H. S.; KUDO, S. A.; SILVA, S. C. P. Topofilia e valoração ambiental de fragmentos florestais urbanos em uma cidade amazônica. **Ambiente e sociedade**, v. 21, 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc170159vu1811ao>.

PHILLIPS, O. L.; BRIENEN, R. W.; Colaboração RAINFOR. A absorção de carbono pelas florestas maduras da Amazônia mitigou as emissões de carbono dos países amazônicos. **Gerenciamento de Balanço de Carbono**, v. 12, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13021-016-0069-2>

RAMOS, H. F. A; NUNES, F. G.; DOS SANTOS, A. M. Índice de áreas verdes como estratégia ao desenvolvimento urbano sustentável das Regiões Norte, Noroeste e Meia Ponte de Goiânia-go,



Brasil. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 29, nº 1, p. 86-101, 2020. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29.n1.72844>.

ROUSE, W.; HAAS, H.; SCHELL, J.; DEERING, W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains With ERTS. **Remote Sensing Center**, v. A20, p. 309–317, 1974.

SAHU, S. C.; SURESH, H. S.; RAVINDRANATH, N. H. Forest Structure, Composition and Above Ground Biomass of Tree Community in Tropical Dry Forests of Eastern Ghats, India. **Notulae Scientia Biologicae**, v. 8, nº 1, p. 125-133. 2016. <http://dx.doi.org/10.15835/nsb.8.1.9746>

SANTANA, A. C. de; SEQUEIRA, G. R.; OLIVEIRA, C. M. de; GOMES, S. C. Mercado institucional e agricultura urbana e perirubana em Curuçambá, Ananindeua, Pará: oportunidades e desafios. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 13, nº 1, p. 316-338, 2017.

SANTANA, C. A. A.; FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M.S. Estrutura e similaridade em florestas urbanas na região metropolitana do Rio de Janeiro. **Interciência**, v. 40, nº 7, p. 479-486, 2015.

SILVA, A. D. P.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, L. M. Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO. **Floresta**, v. 46, nº 3, p. 353-361, 2016. <https://doi.org/10.5380/rf.v46i3.40052>

SILVA, A. L.; LONGO, R. M.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M. F. H. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciência Florestal**, v. 29, nº 3, p. 1254-1269, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509830201>

SILVA, E. M. F.; BENDER, F.; MONACO, M. L. S.; SMITH, A. K.; PAOLA, S.; BUCKERIDGE, M. S.; ELBL, P. M.; LOCOSSELI, G. M. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. **Estudos Avançados**, v. 33, nº 97, p. 81-102, 2019. <https://dx.doi.org/10.1590/s0103-4014.2019.3397.005>

TAVARES, P. A.; BELTRÃO, N.; GUIMARÃES, U.; TEODORO, A. Integration of Sentinel-1 and Sentinel-2 for Classification and LULC Mapping in the Urban Area of Belém, Eastern Brazilian Amazon. **Sensors**, v. 19, nº 5, p. 1140, 2019. <https://doi.org/10.3390/s19051140>.

TZORTZIS, Grigorios F.; LIKAS, Aristidis C. The global kernel κ -means algorithm for clustering in feature space. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 20, nº 7, p. 1181-1194, 2009. <https://doi.org/10.1109/TNN.2009.2019722>.

WATRIN, O. S.; RUSCHEL, A. R.; RODRIGUES, C. F. A.; SILVA, T. M.; SOARES, M. H. M. **Capoeira do Black: histórico e análise da dinâmica espacial de pequeno fragmento florestal no perímetro urbano de Belém, PA**. Embrapa Amazônia Oriental: Belém, 2019. 28p. (Documentos 451 - Embrapa Amazônia Oriental).