



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESCALAR PARA ESTUDO DA  
MACAÚBA NO VALE DO PARAÍBA PAULISTA**

Milena Silva Assunção

Relatório de Iniciação Científica do programa PIBIC, orientado pela Dra. Silvana  
Amaral Kampel, co-orientado pela Dra. Klécia Gili Massi

INPE  
São José dos Campos  
2023





MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESCALAR PARA ESTUDO DA  
MACAÚBA NO VALE DO PARAÍBA PAULISTA**

Milena Silva Assunção

Relatório de Iniciação Científica do  
programa PIBIC, orientado pela Dra.  
Silvana Amaral Kampel, co-orientado pela  
Dra. Klécia Gili Massi.

INPE  
São José dos Campos  
2023

## RESUMO

A macaúba, ou *Acrocomia aculeata*, é uma espécie de palmeira frequente no bioma Cerrado, mas que se desenvolve também em áreas de pouco déficit hídrico. Dessa espécie, desempenha um papel relevante na melhoria do microclima e mostra potencial para se adaptar às mudanças climáticas e melhorar a fertilidade do solo. Suas várias utilidades são notáveis. Sua torta é aplicável no tratamento de efluentes, a polpa fornece uma farinha nutritiva, o endocarpo é uma valiosa matéria-prima para biodiesel e produção de óleo vegetal. Além disso, a macaúba pode ser usada em cosméticos como uma fonte renovável de origem vegetal. Recentemente, o projeto Conexão Mata Atlântica no Vale do Paraíba Paulista propôs o cultivo da macaúba, como estratégia para o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Contudo, não há dados suficientes para se avaliar as consequências de plantios de *A. aculeata*, e consenso quanto a espécie ser nativa da região, e tão pouco se conhece sua dinâmica de povoamento e distribuição. Este projeto propõe estudar os maciços de macaúba no Vale do Paraíba Paulista, identificando suas regiões e dinâmica de ocorrência. O objetivo específico nesta primeira fase foi realizar uma revisão bibliográfica quanto à fisiologia, preferências ambientais e distribuição da espécie. Consultando-se as bases de dados do Google Acadêmico, Scielo e Elsevier, utilizando o nome vulgar e científico da espécie como critério de busca, foram acessados todos os artigos relacionados à distribuição, biologia da espécie, e mapeamentos realizados. Dos quais foram coletados e analisados dados relevantes para entender a ocorrência da macaúba no Vale. A macaúba é uma espécie predominantemente de Cerrado, que também ocorre na Mata Atlântica, Pantanal e transições de Cerrado com outros biomas. A espécie está preferencialmente associada ao clima tropical, de regime pluviométrico com duas estações distintas: uma chuvosa e outra seca. Ocorre também em áreas de clima subtropical úmido, com verões quentes e períodos de estiagem, ou ainda em áreas de clima subtropical de inverno seco, com temperaturas abaixo de 18 °C. A precipitação média anual pode variar de 900 mm a 1700 mm, enquanto a temperatura média anual encontra-se entre 18 °C e 25.4 °C. Macaúbas preferem solos férteis, como o Latossolo vermelho, podendo ser amarelado, escuro ou turvo. As macaúbas encontram-se associadas a locais com predominância de vegetação ripária e subcaducifólia, especialmente em fitofisionomias fechadas como cerradão e cerrado denso. Quanto à topografia, macaúbas são encontradas em declividade de encostas e meias encostas. No Vale do Paraíba, a espécie foi mapeada nos municípios de Aparecida, Cachoeira Paulista, Cunha, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Lorena, Roseira, Silveiras e Tremembé. Essas informações permitirão identificar outras áreas de ocorrência de macaúbas no Vale do Paraíba Paulista, usando técnicas e dados de sensoriamento

remoto. Atualizar e refinar mapeamentos existentes ajudará a estudar a dinâmica dos maciços e propor estratégias de monitoramento para atividades de pagamentos por serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave: *Acrocomia aculeata*. Macaúba. Ocorrência. Vale do Paraíba Paulista.

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1.1 Macaúba. Fonte: Árvores do Bioma Cerrado (2017) < <a href="https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/wp-content/uploads/2017/04/1-37.jpg">https://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/wp-content/uploads/2017/04/1-37.jpg</a> >.....	9
1.2 Vale do Paraíba Paulista. Fonte: Instituto Geográfico e Cartográfico (2023) < <a href="http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapas_rad41d.html">http://www.igc.sp.gov.br/produtos/mapas_rad41d.html</a> >.....	10
3.1 Camadas utilizadas no QGIS. Fonte: Autoria do próprio autor (2023)..	13
3.2 Imagem da superfície e sombra da macaúba, em pasto e meio de mata, do Google Satellite no QGIS. Fonte: Autoria do próprio autor (2023)...	13
3.3 Pontos identificando maciços no Vale do Paraíba Paulista. Fonte: Autoria do próprio autor (2023).....	13

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Altitude.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 Clima.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Temperatura.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Solo.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6 Vegetação.....</b>	<b>11</b>
<b>2.7 Declividade.....</b>	<b>11</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>14</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>16</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A *Acrocomia aculeata*, conhecida como macaúba, é uma espécie de palmeira predominante no bioma Cerrado, embora demonstre uma notável capacidade de adaptação em áreas com menor déficit hídrico (AQUINO et al., 2008; EMBRAPA, 2008). Essa adaptabilidade permite que ela cresça vigorosamente em diversas regiões do território brasileiro (PIRES et al., 2012). Além disso, desempenha um papel pioneiro em florestas subcaducifólias (MOTTA et al., 2002).

Essa palmeira desempenha um papel significativo na melhoria do microclima e possui potencial para ser empregada na adaptação às mudanças climáticas, bem como na promoção da fertilidade do solo (MOREIRA et al., 2018; LEITE et al., 2013). A multiplicidade de seus usos é notável. De acordo com Vieira et al. (2011), sua torta tem aplicabilidade no tratamento de efluentes. A polpa da macaúba é uma fonte de farinha altamente nutritiva (LESSA et al., 2022; DIAS et al., 2021). O endocarpo apresenta-se como uma valiosa matéria-prima de natureza bioenergética, demonstrando considerável potencial para a produção de biodiesel (ALVES et al., 2021; LOPES et al., 2013). Segundo Cardoso et al. (2017) a espécie possui potencial para produção de óleo vegetal similar ao dendê, com vantagem de cultivo em diferentes regiões. Além disso, sua utilização em cosméticos como uma fonte renovável de origem vegetal também é viável (DARIO et al., 2017).

Figura 1.1: Macaúba



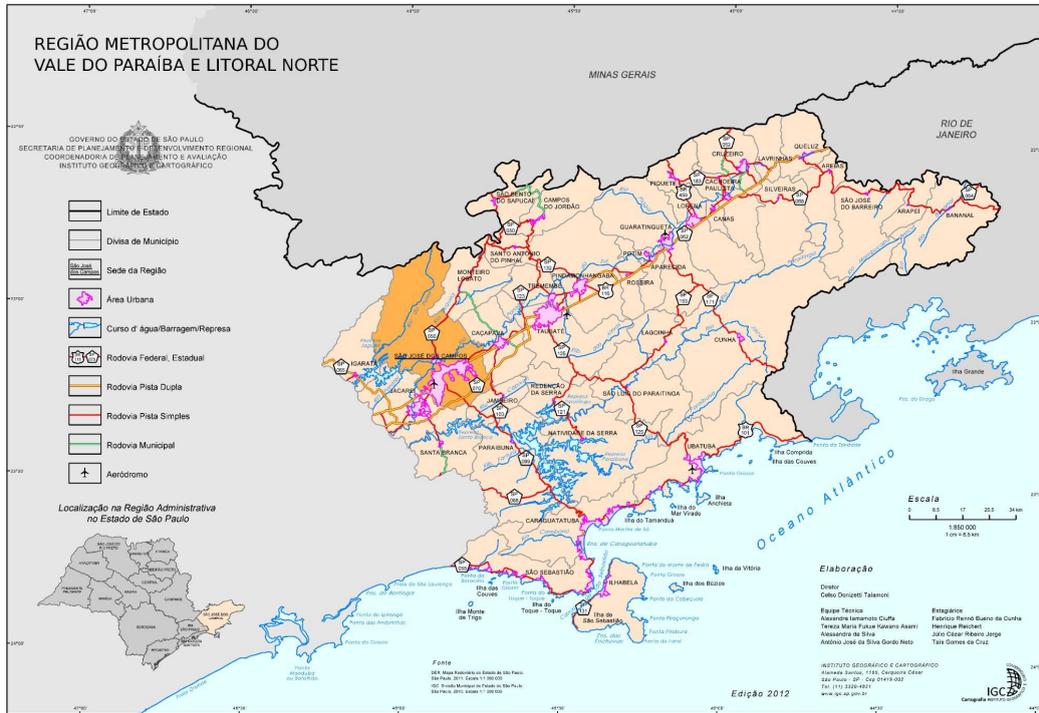
Fonte: Árvores do Bioma Cerrado (2017)

A região de estudo é o Vale do Paraíba Paulista, uma mesorregião localizada no estado de São Paulo. Esta área se destaca por ser alvo do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) do projeto denominado "Conexão Mata Atlântica". Dentro deste projeto, foi adotada a modalidade de Uso Múltiplo - Macaúba, com o propósito de promover e dar suporte ao cultivo da palmeira macaúba no Vale do Paraíba Paulista.

Para alcançar esse objetivo, o projeto utiliza um processo de seleção baseado em editais, e o último foi realizado em setembro de 2021. Através deste edital, foram selecionados proprietários ou legítimos possuidores de propriedades rurais na região a participarem ativamente do projeto, visando a implementação e desenvolvimento do cultivo da macaúba.

A região possui áreas de Cerrado e transição Cerrado-Mata Atlântica (CIMA; AMARAL; MASSI, 2023), bioma de de maior ocorrência de macaúba (AQUINO et al., 2008).

Figura 1.2: Vale do Paraíba Paulista



Fonte: Instituto Geográfico e Cartográfico (2023)

## 1.1 Objetivos

Este projeto procura contribuir com dados de sensoriamento remoto multiescala para mapear povoadamentos naturais de *Acrocomia aculeata*, identificar sua distribuição no Vale do Paraíba Paulista e descrevê-los.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Objetivando a capacidade de definir áreas favoráveis para a ocorrência da macaúba, foram analisados os tópicos altitude, clima, precipitação, temperatura, solo, vegetação e declividade na literatura.

### 2.1 Altitude

Segundo a Embrapa (2008) a altitude varia de 130 m a 1740 m. Outras pesquisas não obtiveram resultados abaixo ou acima deste.

## **2.2 Clima**

Segundo Borges et al. (2021) a maior ocorrência de macaúbas está relacionada a áreas com climas Aw (Clima tropical, com inverno seco), Am (Clima tropical úmido ou subúmido. É uma transição entre o tipo climático Af e Aw), Af (Clima tropical úmido ou superúmido, sem estação seca, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 18 °C) e Cfa (Clima subtropical, com verão quente) pela classificação climática de Köppen-Geiger.

## **2.3 Precipitação**

Segundo a Embrapa (2008) a precipitação anual ocorre entre 900 mm a 1700 mm.

## **2.4 Temperatura**

A menor temperatura média encontrada foi por Moreira et al. (2019) com 18 °C em Araponga - MG. Quanto a maior foi 25,4 °C, segundo Goldel et al. (2016) na Fazenda Barranco Alto - MS.

## **2.5 Solo**

De acordo com Teles et al., 2011 e Motta et al., 2002, constata-se que o solo apresenta fertilidade natural considerável. A principal ordem de solo nas localidades encontradas corresponde ao latossolo, contudo, é importante destacar a existência de variações de subordem, variando entre latossolo vermelho-escuro, turvo até o latossolo vermelho-amarelo (DOMICIANO et al., 2015; LEITE et al., 2013; MOREIRA et al., 2015). Adicionalmente, as concentrações de íons trocáveis (CTC) nos solos citados apresentam-se em níveis reduzidos (SCARIOT; LLERAS, 1991).

## **2.6 Vegetação**

Apesar de ser uma espécie tradicionalmente associada ao ecossistema de Cerrado, a macaúba demonstra uma notável capacidade de adaptação e crescimento em fitofisionomias mais densas, que são menos comuns dentro do contexto savânico brasileiro. Essas fitofisionomias incluem o Cerrado denso e o Cerradão, conforme documentado por Aquino et al. (2008). Inclusive as regiões de transição entre Cerrado e Mata Atlântica abrangem os climas preferenciais da macaúba (BORGES et al., 2021).

## **2.7 Declividade**

Localizada principalmente em encostas de morros (EMBRAPA, 2008).

### 3. METODOLOGIA

Inicialmente, uma visita exploratória foi realizada no Parque da Cidade Roberto Burle Marx em São José dos Campos, visando a observação das características distintas da macaúba. Esse procedimento teve como objetivo a capacidade de identificar a espécie à distância. Em paralelo, ocorreu uma revisão minuciosa da literatura científica, empregando recursos disponíveis nas bases de dados do Google Acadêmico, Scielo e Elsevier, utilizando o nome vulgar e científico da espécie. Tal análise teve por finalidade discernir as possíveis áreas de ocorrência da referida espécie.

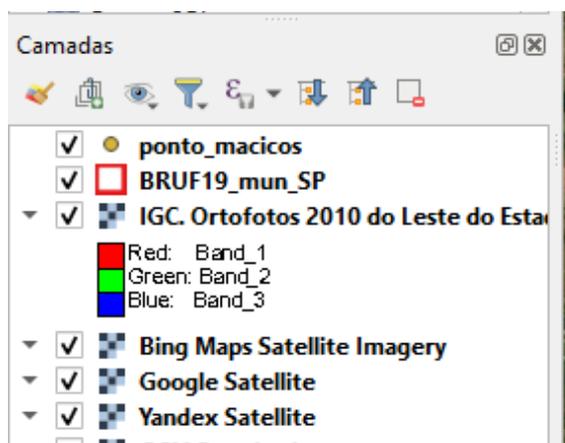
Adicionalmente, foi conduzida uma busca abrangente pela presença da *Acrocomia aculeata* na plataforma *speciesLink*, a qual consiste no Sistema de Informação Distribuído para Coleções Biológicas. Entretanto, nessa plataforma, não foram identificados registros verificados da espécie na região correspondente ao Vale do Paraíba Paulista.

Além disso, algumas coordenadas geográficas utilizadas a partir dos estudos encontrados foram mapeadas no Google Earth a fim de praticar a visualização da macaúba, para identificar os indivíduos em outras regiões no QGIS. Tal abordagem visava identificar, também, indivíduos na região.

Com as informações de ocorrência de macaúbas feitas por Oliveira (2021) iniciou o processo de mapeamento de maciços. Operado no *software* QGIS 3.32, com instalação do complemento *QuickMapServices*, utilizando as seguintes camadas:

- a) ortofoto do Leste Paulista do IGC, de 2010;
- b) tipo “Pontos”, para identificar os maciços;
- c) limite de municípios;
- d) imagens de satélite do Google, de 2023;
- e) imagens de satélite do Bing, de 2023;
- f) imagens de satélite do Yandex, de 2023.

Figura 3.1: Camadas utilizadas no QGIS



Fonte: Autoria própria (2023)

Foi identificado as macaúbas a partir de sua superfície e projeção da sombra, com escala de 1:2000. E ao deparar com perfil de macaúba aumentou-se o *zoom* para melhor visualização da espécie. Também foi utilizado as diferentes camadas de imagem de satélite para confirmar a catalogação.

Figura 3.2: Imagem da superfície e sombra da macaúba, em pasto e meio de mata, do Google Satellite no QGIS



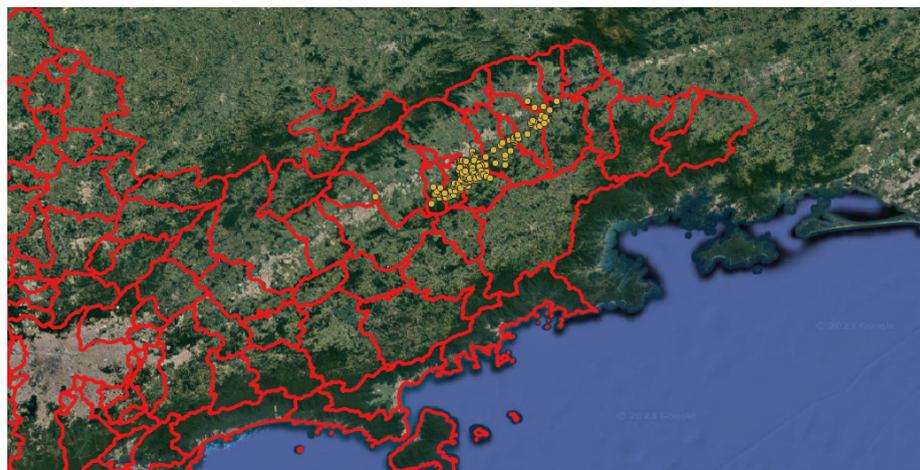
Fonte: Autoria própria (2023)

Os pontos, referentes aos maciços, foram analisados minuciosamente para obter descritivamente características da área de ocorrência da macaúba. Com as ortofotos, foram identificadas, as seguintes informações dos 135 pontos localizados:

- a) Município;
- b) Dispersão: como os indivíduos de macaúbas estão distribuídos;
- c) Local: o meio em que foram encontrados;
- d) Presença de água: presença de corpo hídrico em raio de 400 metros ao redor do ponto;
- e) Presença de encosta: presença de declividade no local onde está o/os indivíduos;
- f) Quantidade: número de indivíduos;
- g) Evolução: sucessão quanto ao número de indivíduos em relação a ortofoto de 2010 e as de 2023.

Os maciços identificados, estão dispostos nas cidades de Aparecida, Cachoeira Paulista, Cunha, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Lorena, Roseira, Silveiras e Tremembé. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 4.1.

Figura 3.3: Pontos identificando maciços no Vale do Paraíba Paulista



Fonte: Autoria própria (2023)

#### 4. RESULTADOS

Com as informações levantadas a partir das ortofotos, foi possível quantificar os pontos que subsidia a cada dado.

Os maciços localizados estão dispostos nas cidades: Aparecida, Cachoeira Paulista, Cunha, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Lorena, Roseira, Silveiras e Tremembé.

Tabela 4.1: Quantidade de maciços para cada classificação característico

Tópicos	Classificações	Quantidade de maciços
Dispersão	Separadas	103
	Juntas	51
Local	Mata	39
	Borda de mata	10
	Pastagem	95
	Capoeira (início de floresta)	7
Presença de corpo hídrico	Sim	7
	Não	128
Presença de encosta	Sim	71
	Não	64
Quantidade	$\leq 10$	69
	$\geq 11$ e $20 \leq$	58
	$\geq 21$	8
Evolução	Sim	17
	Não	117
	Decaimento	1

## 5. CONCLUSÃO

A maior ocorrência de macaúbas se localiza em áreas topográficas de encosta. Apesar de ser uma espécie que prefere áreas de pouco déficit hídrico e climas menos savânicos, costumeiro no Cerrado, a espécie costuma ocorrer em áreas de pastagem, mostrando seu pioneirismo em florestas subcaducifólias.

No Vale do Paraíba Paulista, a espécie foi mapeada nos municípios de Aparecida, Cachoeira Paulista, Cunha, Canas, Cruzeiro, Guaratinguetá, Lorena, Roseira, Silveiras e Tremembé. Essas informações permitirão identificar outras áreas de ocorrência de macaúbas no Vale, usando técnicas e dados de sensoriamento remoto.

Atualizar e refinar mapeamentos existentes ajudará a estudar a dinâmica dos maciços e propor estratégias de monitoramento para atividades de pagamentos por serviços ecossistêmicos.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVES, J. L. F. et al. Potential of macauba endocarp (*Acrocomia aculeata*) for bioenergy production: Multi-component kinetic study and estimation of thermodynamic parameters of activation. **Thermochimica acta**, v. 708, n. 179134, p. 179134, 2022.
- BORGES, C. E. et al. Distribution and future projection of potential cultivation areas for *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) worldwide: the emerging energy culture of the tropics. **Theoretical and applied climatology**, v. 146, n. 3–4, p. 1069–1078, 2021.
- CIMA, I. S.; AMARAL, S.; MASSI, K. G. Mapping Cerrado remnants in an anthropized landscape in southeast Brazil. **Remote Sensing Applications Society and Environment**, v. 32, n. 101032, p. 101032, 2023.
- DE FREITAS TELES, Héria et al. AMBIENTES DE OCORRÊNCIA NATURAL DE MACAÚBA. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 595-601, 2011.
- DE GOIS AQUINO, F. et al. **DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS ESPÉCIES ACROCOMIA ACULEATA (JACQ.) LODD. EX MART. E CARYOCAR BRASILIENSE CAMBESS. NO BIOMA CERRADO**. Disponível em: <[https://www.cpac.embrapa.br/publico/simposio/trabalhos/00452\\_trab2\\_ap.pdf](https://www.cpac.embrapa.br/publico/simposio/trabalhos/00452_trab2_ap.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2023.
- DIAS, E. F. et al. Macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp meal as alternative raw material for growing-pigs. **Livestock science**, v. 252, n. 104675, p. 104675, 2021.
- DOMICIANO, Gisele Pereira et al. Parâmetros genéticos e diversidade em progênes de Macaúba com base em características morfológicas e fisiológicas. **Ciencia rural**, v. 45, p. 1599-1605, 2015.
- GÖLDEL, Bastian et al. Impacts of large herbivores on spinescence and abundance of palms in the Pantanal, Brazil. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 182, n. 2, p. 465-479, 2016.
- LEITE, Luiz FC et al. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1257-1263, 2013.
- LOPES, D. DE C. et al. Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. **Energy economics**, v. 40, p. 819–824, 2013.
- LOPES LESSA, V. et al. Obtention and evaluation of physico-chemical and techno-functional properties of macauba (*Acrocomia aculeata*) kernel protein isolate. **Food research international (Ottawa, Ont.)**, v. 161, n. 111848, p. 111848, 2022.
- MOREIRA, S. L. S. et al. Root distribution of cultivated macauba trees. **Industrial crops and products**, v. 137, p. 646–651, 2019.

MOREIRA, S. L. S. et al. Intercropping of coffee with the palm tree, macauba, can mitigate climate change effects. **Agricultural and forest meteorology**, v. 256–257, p. 379–390, 2018.

MOTTA, Paulo Emílio Ferreira da et al. Occurrence of macaúba in Minas Gerais, Brazil: Relationship with climatic, pedological and vegetation attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1023-1031, 2002.

OLIVEIRA, A. A. S. **Mapeamento, análise e distribuição espacial dos macaubais do Vale do Paraíba Paulista**. Tese(Graduação em Tecnólogo em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Faculdade de Tecnologia de Jacareí – FATEC Jacareí. Jacareí. 2021.

PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial crops and products**, v. 44, p. 200–210, 2013.

RESENDE, R. T. et al. Data-based agroecological zoning of *Acrocomia aculeata*: GIS modeling and ecophysiological aspects into a Brazilian representative occurrence area. **Industrial crops and products**, v. 154, n. 112749, p. 112749, 2020.

SÃO PAULO. Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Pagamento por Serviço Ambiental: Uso Múltiplo-Macaúba**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <<https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=16821>>. Acesso em: 8 ago. 2023.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D. Reproductive Biology of the Palm *Acrocomia aculeata* in Central Brazil. **Biotropica**, v. 23, n. 1, p. 12, 1991.

VIEIRA, S. S. et al. Macauba palm (*Acrocomia aculeata*) cake from biodiesel processing: An efficient and low cost substrate for the adsorption of dyes. **Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland: 1996)**, v. 183, p. 152–161, 2012.