Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

MODELAGEM PREDITIVA DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA *EUTERPE OLERACEA* (AÇAÍ) NO ESTADO DO PARÁ

Predictive modeling of the potential distribution of Euterpe oleracea (açaí) in the state of Pará

Modelización predictiva de la distribución potencial de Euterpe oleracea Mart. (açaí) en el estado de Pará

Luciana Cristina de Sousa Vieira
Programa de pós-doutorado
Universidade de São Paulo - Instituto de Estudos Avançados
São Paulo, SP, Brasil
vieirameteorologia@gmail.com

Diego Oliveira Brandão
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE
São José dos Campos, SP, Brasil
diegobrandao779@gmail.com

Carlos Afonso Nobre
Programa de pós-doutorado
Universidade de São Paulo - Instituto de Estudos Avançados
São Paulo, SP, Brasil
cnobre.res@gmail.com

Resumo: Este estudo avaliou a distribuição potencial de *Euterpe oleracea* Mart. (açaí) no estado do Pará, na Amazônia brasileira, com o objetivo de identificar os principais preditores ambientais associados à ocorrência da espécie e projetar alterações na adequabilidade ambiental sob cenários de

mudanças climáticas. Utilizou-se o algoritmo de máxima entropia (MaxEnt), com registros de ocorrência e variáveis ambientais, considerando o modelo climático MIROC6, os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 e os períodos de 2041–2060 e 2061–2080. O modelo apresentou elevada capacidade discriminatória (AUC = 0,93). A altitude apresentou a maior contribuição percentual (49,0%), seguida pela sazonalidade da precipitação (Bio15; 9,6%), amplitude térmica anual (Bio7; 5,5%), temperatura média do trimestre mais úmido (Bio8; 5,4%) e temperatura máxima do mês mais quente (Bio5; 5,2%). No cenário SSP2-4.5, a proporção do território paraense com alta adequabilidade ambiental (> 0,75) diminuiu de aproximadamente 10% nas condições atuais para 2,3% em 2050 e 1,6% em 2070, representando reduções relativas de 77% e 84%, respectivamente. As projeções indicam retração expressiva das áreas ambientalmente favoráveis à espécie, sem representar diretamente perdas populacionais ou produtivas. Os resultados contribuem para o planejamento territorial, a conservação ambiental e a definição de estratégias de adaptação dos sistemas produtivos de açaí às mudanças climáticas.
Palavras-chave: *Euterpe oleracea*; MaxEnt; mudanças climáticas; adequabilidade ambiental; Amazônia.

Abstract: This study assessed the potential distribution of *Euterpe oleracea* Mart. (açaí palm) in the Brazilian state of Pará, aiming to identify the main environmental predictors associated with species occurrence and project changes in environmental suitability under future climate scenarios. The Maximum Entropy (MaxEnt) algorithm was applied using occurrence records and environmental variables, considering the MIROC6 climate model, SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios, and the periods 2041–2060 and 2061–2080. The model showed high discriminatory performance (AUC = 0.93). Elevation had the highest percentage contribution (49.0%), followed by precipitation seasonality (Bio15; 9.6%), annual temperature range (Bio7; 5.5%), mean temperature of the wettest quarter (Bio8; 5.4%), and maximum temperature of the warmest month (Bio5; 5.2%). Under SSP2-4.5, the proportion of Pará's territory classified as highly suitable (> 0.75) was projected to decline from approximately 10% under current conditions to 2.3% by 2050 and 1.6% by 2070, representing relative reductions of 77% and 84%, respectively. These projections indicate a substantial contraction of areas with high environmental suitability for the species, without directly representing population declines or production losses. The findings provide scientific support for land-use planning, environmental conservation, and the development of climate change adaptation strategies for açaí production systems.
Keywords: *Euterpe oleracea*; MaxEnt; climate change; environmental suitability; Amazon.

Resumen: Este estudio evaluó la distribución potencial de Euterpe oleracea Mart. (açaí) en el estado de Pará, en la Amazonía brasileña, con el objetivo de identificar los principales predictores ambientales asociados con la presencia de la especie y proyectar cambios en la idoneidad ambiental bajo escenarios futuros de cambio climático. Se utilizó el algoritmo de máxima entropía (MaxEnt), con registros de presencia y variables ambientales, considerando el modelo climático MIROC6, los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 y los períodos 2041–2060 y 2061–2080. El modelo presentó una elevada capacidad discriminatoria (AUC = 0,93). La altitud mostró la mayor contribución porcentual (49,0 %), seguida de la estacionalidad de la precipitación (Bio15; 9,6 %), la amplitud térmica anual (Bio7; 5,5 %), la temperatura media del trimestre más húmedo (Bio8; 5,4 %) y la temperatura máxima del mes más cálido (Bio5; 5,2 %). Bajo el escenario SSP2-4.5, la proporción del territorio de Pará con alta idoneidad ambiental (> 0,75) se redujo de aproximadamente el 10 % en las condiciones actuales al 2,3 % en 2050 y al 1,6 % en 2070, lo que representa reducciones relativas del 77 % y 84 %, respectivamente. Estas

proyecciones indican una contracción considerable de las áreas con alta idoneidad ambiental para la especie, sin representar directamente disminuciones poblacionales ni pérdidas de producción. Los resultados aportan fundamentos científicos para la planificación territorial, la conservación ambiental y el desarrollo de estrategias de adaptación al cambio climático en los sistemas productivos de açaí.
Palabras clave: *Euterpe oleracea*; MaxEnt; cambio climático; idoneidad ambiental; Amazonía.

Submetido em: 20/11/2025
Aceito para publicação em: 05/11/2026
Publicado em: 15/11/2026

1. INTRODUÇÃO

Situado predominantemente na Região Norte, o bioma floresta Amazônica ocupa cerca de 49,29% do território brasileiro, abrangendo os estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia, Tocantins, Mato Grosso, Maranhão e Roraima, considerado assim, o maior bioma do Brasil. Dentro desse bioma podemos destacar vários ecossistemas como: florestas densas e terra firme, florestas de igapó, várzea, savana tropical, refúgios montanhosos e formações pioneiras (DE SOUZA, 2019).

Neste bioma, crescem mais de 12.000 espécies de árvores e 30 mil espécies de plantas que já foram catalogadas em todos os países amazônicos. Além deste bioma ter contribuições importantes para o planeta Terra como o sequestro de carbono, proteção dos mananciais de água, conservação da biodiversidade e entre outras funções (VIANA, 2002), o bioma Amazônia nos fornece muitos recursos alimentícios, contribuindo para a geração de empregos nas comunidades ribeirinhas e da cidade e eleva a economia local (DE SOUZA, 2019).

A palmeira do açaí é um exemplo dos recursos alimentícios que o bioma disponibiliza, tendo uma importância social, econômica e cultural sendo um forte símbolo de tradição para os ribeirinhos do estuário amazônico (COSTA, 2015).

O açaí (*Euterpe oleracea*) é uma palmeira típica da Amazônia que ocorre nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão e Amapá. Os Açaizais nativos, densos e quase homogêneos são comuns no estuário do rio Amazonas, em terrenos de várzea, igapós (terrenos constantemente inundados) e terra firme (NOGUEIRA *et al*. 1995). O Estado do Pará se destaca como o maior produtor nacional, com 95% do volume total produzido e observa-se que nas últimas décadas, a demanda pelo açaí no estado do Pará cresceu gradualmente, já que a produção e mercado da fruta de açaí são a base da economia de mais de 20 municípios paraenses (ALVEZ, 2013).

Nas áreas de várzea do estuário amazônico e terra firme, é possível encontrar populações naturais de açaí, mas é mais comum vê-las em maior quantidade e densidade em solos de várzea. Em certas áreas, especialmente no estuário do rio Amazonas, como no Pará, vastas extensões são dominadas quase exclusivamente por açaizeiros. Nessas áreas, a chuva é bem distribuída ao longo do ano, com mais de 2.000 mm anuais e poucos meses com chuva mensal inferior a 60 mm. Os açaizeiros são resilientes às inundações, o que os torna altamente

competitivos e frequentemente dominantes em algumas áreas. Essa espécie é típica de florestas maduras, cresce lentamente e requer muita umidade, mas tem baixa necessidade de luz, inclusive para o desenvolvimento das plântulas.

Nascimento (1993), destaca que há ocorrências de safras diferenciadas para o açaizeiro, no tempo e espaço em cada uma das microrregiões. Fato acondicionado pelas condições de solo, clima, quantidade de matéria orgânica, hidrologia, concorrência por luz e nutrientes (NASCIMENTO, 1993) e pelas práticas de manejo.

Dentre os fatores do ambiente que interferem no crescimento vegetal e na produtividade agrícola, a disponibilidade hídrica é a mais importante na maioria das regiões, visto que define a aptidão das regiões com relação às culturas. No caso da região amazônica, a abundância de água é um fator determinante para a palmeira do açaizeiro já que necessita de um ambiente com essas características para se desenvolver (CAMELI *et al*. 2023).

As mudanças climáticas já estão afetando a floresta amazônica, em especial o regime de chuvas da região. As emissões de gases de efeito estufa (GEE) aumentam a quantidade destes gases na atmosfera e, por consequência, o aquecimento global, que, por sua vez, altera o clima na região Amazônica, favorecendo climas mais secos, mudanças nos padrões de chuva, aumento da temperatura do ar e mais emissão de GEE (OTCA, 2007).

O Relatório do IPCC AR6 (IPCC 2021) indica que a temperatura média global aumentou em 1,1℃ em relação a era pré-industrial, de 1850 até 2020. CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) que faz parte do sexto relatório de avaliação do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (AR6) que divulgou os novos modelos de última geração CMIP6 (Bazzanela, 2021). O CMIP6 consiste nas “execuções” de cerca de 100 modelos climáticos distintos sendo produzidos em 49 grupos de modelagem diferentes. Foram produzidos diversos cenários para diferentes faixas de emissão de carbono na atmosfera. Esses cenários adicionais atualizados são chamados de SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 e SSP5-8.5. Esses cenários incluem variáveis sociais como aumento populacional, econômicos e bioecológicos (Teixeira, 2022).

Mudanças nos padrões observados de temperatura e precipitação em regiões brasileiras têm sido identificadas ao longo das últimas décadas (Luiz-Silva et al, 2022). Essas alterações refletem diretamente no ciclo hidrológico através da evapotranspiração e precipitação (Xue et al., 2022; Tenagashaw et al 2022; Jiménez-Navarro et al., 2021).

Em geral, a temperatura do ar está aumentando de forma estatisticamente significativa em todo o Brasil, enquanto a precipitação vem diminuindo na região Nordeste e aumentando na região Sul (Luiz-Silva et al, 2022). Em consonância, Ballarin et al. (2023) mostram que as temperaturas tanto máximas quanto mínimas sofreram um aumento de pelo menos 15% para dois dos novos cenários do CMIP6 (SSP2-4.5 e SSP5-8.5). O aumento será maior na Amazônia, Pantanal e em partes do Cerrado, especialmente nos meses do segundo semestre do ano. A precipitação apresentou uma alta variabilidade com o Pantanal, Caatinga e Cerrado para o segundo semestre do ano contendo os maiores decréscimos, superando -45%.

Para a Região Norte, a tendência de aquecimento tem sido relacionada a variações no clima regional, tais como uma estação seca mais longa e quente, particularmente no leste do estado do Pará e na região do MATOPIBA (Maranhão – Tocantins – Piauí – Bahia) (MARENGO et al. 2022). Tais condições, também podem estar associadas às mudanças na circulação atmosférica, associadas as mudanças no uso e cobertura da terra, como o desmatamento, avanço da agricultura, queimadas e garimpo (NOBRE et al. 2016, MARENGO et al. 2018b, DA SILVA CRUZ et al.2022). Isso parece ser mais intenso na região leste na área do arco de desmatamento (GATTI et al. 2021, MARENGO et al. 2022).

Diante dos estudos aqui mencionados sobre a importância que a temperatura e chuva tem sobre a ocorrência do açaí para a região norte e dos resultados do IPCC AR6 que mostram projeções de mudanças nos padrões destas duas variáveis do clima, uma ferramenta que pode fornecer uma compreensão preliminar sobre a potencial ocorrência do açaí no presente e para o futuro, são os modelos de distribuição potencial de espécie, que são modelos que associam as localizações de uma espécie para um conjunto de variáveis ambientais que são projetados para prever a distribuição desta espécie.

O cerne da abordagem é que o principal sinal das necessidades climáticas de uma espécie é a região atual onde ela se encontra (Guisan e Zimmermann, 2000; Guisan e Thuiller, 2005), e somente poderá colonizar outras áreas se as condições climáticas forem equivalentes.

Portanto, diante dos diversos quadros de mudanças climáticas e com base no entendimento da presença da espécie Euterpe oleracea Mart., o objetivo desta pesquisa é modelar a distribuição potencial desta espécie para identificar as áreas com condições

climáticas favoráveis à sua presença no estado do Pará, tanto no presente quanto em possíveis cenários futuros. Este estudo visa oferecer uma primeira visão da evolução espacial e temporal dessa espécie ao longo de médio e longo prazos no bioma, e pretende fornecer insights sobre como as mudanças climáticas podem afetar a sua ocorrência no estado do Pará, potencialmente resultando em impactos negativos na composição do ecossistema e acarretando perdas econômicas para a região, segundo uso da terra para o açaí.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Na Figura 1, é apresentada a localização da área de estudo, incluindo o mapa de altitude em metros, organizado por mesorregiões do estado do Pará. Os registros georreferenciados de ocorrência de Euterpe oleracea também são destacados, permitindo visualizar a distribuição espacial da espécie em relação aos gradientes ambientais regionais.

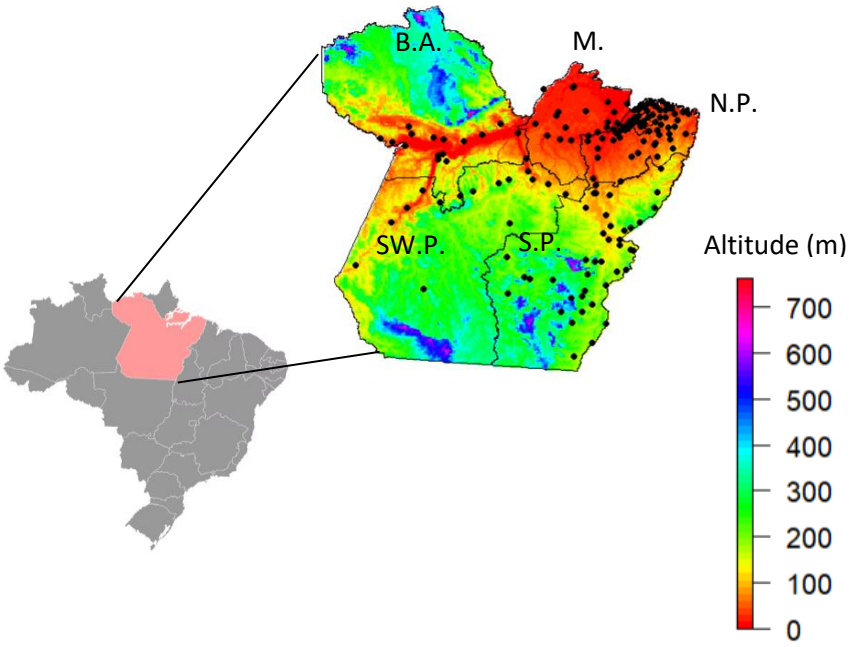
O estado do Pará, situado na região Norte do Brasil, possui extensão territorial de 1.245.870,704 km² e está integralmente inserido no bioma Amazônia (IBGE, 2009). Sua grande dimensão territorial, aliada à diversidade de tipos de solo, à ampla e complexa rede hidrográfica e às variações geomorfológicas, resulta em uma notável heterogeneidade ambiental, que influencia diretamente a distribuição da vegetação e de espécies nativas (OLIVEIRA *et al*., 2009).

Segundo a classificação climática de Köppen, o Pará apresenta predominantemente clima úmido, com elevados índices pluviométricos e pouca ou nenhuma deficiência hídrica ao longo do ano (OLIVEIRA *et al*., 2009). A precipitação média anual é de aproximadamente 2230 mm, com máximos concentrados na mesorregião do Marajó (Soure), onde podem atingir 3297 mm, e mínimos observados na mesorregião do Baixo Amazonas (Monte Alegre), com 1688 mm. Valores extremos de precipitação variam entre 4575 mm (Soure) e 1030 mm (Monte Alegre), evidenciando forte variabilidade espacial nos regimes de chuva.

As temperaturas também se mantêm elevadas ao longo do ano, com média anual de 26,3 °C, média máxima de 31,7 °C e mínima de 22,0 °C (OLIVEIRA *et al*., 2009). Essa combinação entre alta disponibilidade hídrica e regime térmico tipicamente tropical é característica da

dinâmica atmosférica amazônica e cria condições amplamente favoráveis ao desenvolvimento de espécies adaptadas a ambientes úmidos, como *Euterpe oleracea*.

Figura 1 - Mapa de altitude do estado do Pará, localizado no norte do Brasil. Os círculos pretos indicam a presença da espécie *Euterpe oleracea* Mart. Divisão do mapa baseado nas mesorregiões: Baixo amazonas (B.A.), Marajó (M.), Nordeste Paraense (N.P.), Sudeste Paraense (S.P.), Sudoeste Paraense (SW.P.).



2.2. Espécie selecionada

A *Euterpe oleracea* (açaí) é uma espécie nativa da Amazônia brasileira, onde o Estado do Pará é o principal centro de dispersão dessa palmácea. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento -CONAB, as populações de açaizeiros também são encontradas nos Estados do Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (DIAS *et al*. 2019).

No entanto, é na região do estuário do rio Amazonas que se concentram as maiores e mais densas populações naturais dessa palmeira, adaptada às condições elevadas de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar (FREIRE *et al.* 2013).

Esta espécie foi escolhida dada a sua importância como um dos mais importantes produtos da socioeconomia paraense, garantindo emprego, renda e segurança alimentar para a população (DOS SANTOS BENTES *et al*. 2017). Os dados de presença da espécie foram obtidos de dois bancos de dados online: GBIF (sigla em inglês para Global Biodiversity Information Facility) e SPLINK (speciesLink). Dados do IBGE para a presença da espécie também foram

utilizados, através de informações das áreas de cultivo da espécie. Utilizamos 136 pontos de registro de ocorrência para a espécie no estado do Pará.

2.3. Variáveis ambientais

A distribuição de uma espécie é determinada pelas condições ambientais e climáticas (ZHANGH *et al*. 2023). Um total de 19 variáveis bioclimáticas foram baixadas do banco de dados WorldClim, com resolução de 2,5 minutos.

O WorldClim é uma plataforma climática global que abriga conjuntos de dados para cenários climáticos passados, presentes e futuros (HIJMANS *et al*. 2005). Escolhemos o conjunto de 19 variáveis bioclimáticas (Figura 2) derivadas de valores mensais de temperatura e precipitação. Variáveis bioclimáticas foram baixadas para o período histórico (média para o intervalo de 1970 a 2000). Estas mesmas variáveis também estão disponíveis para as projeções futuras.

A escolha do modelo climático com dados de projeções futuras foi o MIROC6, obtido do CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6). O MIROC6 foi escolhido dentre os modelos do CMIP6, por ser um dos modelos com melhor performance para a representação do clima da América do Sul (BAZZANELA, 2022).

As projeções climáticas futuras obtidas a partir do modelo climático global MIROC6, integrante do CMIP6, considerou os cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5 para os períodos de 2041–2060 e 2061–2080. A utilização deste modelo climático permitiu analisar a resposta espacial da adequabilidade ambiental de *Euterpe oleracea* sob diferentes trajetórias de forçamento climático, mantendo uma estrutura consistente de dados para a comparação entre cenários.

Entretanto, reconhece-se que essa abordagem não contempla a variabilidade entre os diferentes modelos climáticos globais. Assim, as projeções apresentadas devem ser interpretadas como resultados condicionados às simulações do MIROC6, não representando a amplitude total de incertezas associadas ao conjunto de modelos CMIP6.

No presente estudo, dois caminhos socioeconômicos compartilhados, SSPs na sigla em inglês, (SSP245 e SSP585) foram escolhidos para prever a distribuição potencial do açaí no futuro: 2050 (média das previsões para 2041–2060) e 2070 (média das previsões para 2061–2080).

A SSP245 estabelece uma emissão de 650 ppm de CO_2 que implicaria um aumento médio da temperatura do ar de 2.4°C em relação à temperatura pré-industrial; o SSP585 seria o cenário mais catastrófico, que registrou uma emissão de 1370 ppm de CO_2 e um aumento na temperatura de aproximadamente 5°C para 2100 (NOLAN *et al*. 2018). O mapa de altitude foi utilizado também nas simulações.

As variáveis foram recortadas na extensão da área de estudo (Estado do Pará) e transformadas no formato válido (ascII) através do software QGIS 3.2.4, extensão de mapas aceita pelo algoritmo de modelagem Maxent.

Para estimar quais são as variáveis mais importantes no modelo, foi usado o teste de Jackknife, tanto para reduzir o viés de variáveis ambientais correlacionadas quanto para diagnosticar quais variáveis ambientais representam o preditor mais importante para gerar o MDE (Modelo de Distribuição de Espécies) (PRATES-CLARK *et al*., 2008).

2.4. Modelagem

O algoritmo empregado para a modelagem foi o MaxEnt (PHILLIPS *et al*., 2006; PHILLIPS *et al*., 2018), amplamente reconhecido como uma das ferramentas mais robustas para modelagem de distribuição potencial de espécies a partir de registros de presença e variáveis ambientais. O método busca estimar a distribuição espacial mais provável com base no princípio da máxima entropia, abordando uma questão central em ecologia: como e por que as espécies se distribuem no espaço (MEROW *et al*., 2013).

O MaxEnt relaciona os registros conhecidos de ocorrência com o conjunto de condições ambientais associadas a esses pontos, produzindo funções de resposta que descrevem a influência e a contribuição relativa de cada variável preditora na probabilidade de presença da espécie (ELITH *et al*., 2006). Para este estudo, utilizou-se a versão MaxEnt 3.4.4, que incorpora avanços computacionais e refinamentos nos algoritmos de regularização.

A avaliação do desempenho preditivo do modelo foi realizada por meio da métrica Área Sob a Curva ROC (AUC – Area Under the Curve). Os valores de AUC variam de 0 a 1, sendo que um valor próximo de 0,50 indica desempenho equivalente ao esperado pelo acaso, enquanto valores próximos de 1,0 representam alta capacidade discriminatória do modelo (ELITH *et al*., 2006).

Além disso, o AUC está diretamente associado ao Poder Preditivo (PP), definido como:

$$PP = 2 \times AUC - 1.$$

Em modelos binários de predição, o PP representa a probabilidade de um caso positivo selecionado aleatoriamente apresentar maior pontuação de adequabilidade do que um caso negativo também selecionado aleatoriamente, oferecendo uma interpretação mais intuitiva da habilidade discriminatória do modelo.

Essa abordagem integrada — combinando funções de resposta, contribuições relativas e métricas robustas de desempenho — assegura maior rigor às inferências ecológicas derivadas da modelagem da distribuição potencial de *Euterpe oleracea*.

3. RESULTADOS

3.1 Análise das variáveis bioclimáticas

O modelo apresentou um AUC de 0,93, evidenciando elevada capacidade discriminatória e confirmando a robustez preditiva da modelagem de distribuição potencial da espécie. Esse desempenho indica que o MaxEnt foi capaz de diferenciar com alta precisão áreas ambientalmente adequadas e inadequadas para Euterpe oleracea, refletindo consistência entre os registros de ocorrência e os gradientes ambientais analisados.

A análise da contribuição relativa dos preditores ambientais indicou que a altitude apresentou a maior contribuição percentual para o modelo MaxEnt (49,0%), seguida pela sazonalidade da precipitação (Bio15; 9,6%), amplitude térmica anual (Bio7; 5,5%), temperatura média do trimestre mais úmido (Bio8; 5,4%) e temperatura máxima do mês mais quente (Bio5; 5,2%). Em conjunto, essas variáveis representaram 74,7% da contribuição estimada pelo algoritmo.

Embora a altitude tenha apresentado a maior contribuição individual, esse resultado deve ser interpretado com cautela, considerando o predomínio de baixas altitudes no estado do Pará e a possível associação entre a elevação, a distribuição espacial dos registros de ocorrência e outros gradientes ambientais não explicitamente representados no modelo.

Assim, a elevada contribuição da altitude não deve ser interpretada isoladamente como evidência de controle fisiológico direto sobre a distribuição da espécie, mas como uma associação estatística que requer interpretação ecológica e avaliação de possíveis efeitos de correlação entre preditores.

Tabela 1 - Percentual de contribuição de cada variável ambiental e do dado de altitude sobre a presença da espécie *Euterpe oleracea*.

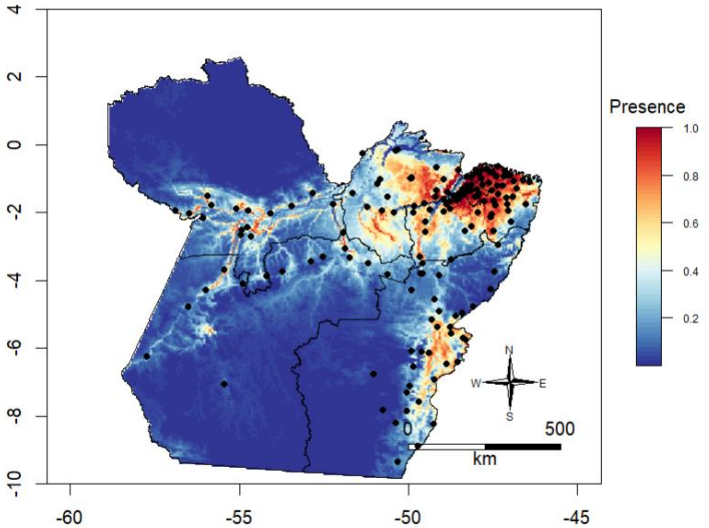
Variável	Contribuição percentual
Altitude	49%
bio15	9,6%
bio7	5,5%
bio8	5,4%
bio5	5,2%

Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Projeções do modelo MaxEnt para o presente e futuro.

O modelo de distribuição potencial para as condições climáticas atuais revelou a extensão completa da presença da *Euterpe oleracea*, utilizando um gradiente de probabilidade que varia de zero (indicando ausência) até 1,00 (indicando presença) da espécie-alvo. O resultado da simulação para o cenário presente é apresentado na (Figura 2).

Figura 2 - Simulação da distribuição potencial atual para *Euterpe oleracea* no estado do Pará.



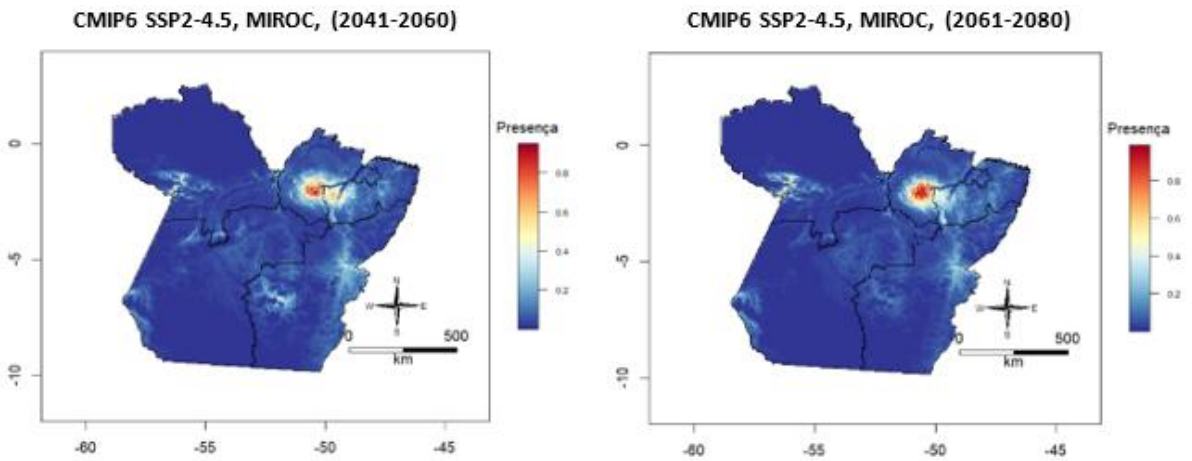
Fonte: Elaborado pelos autores

A Figura 2 mostra as áreas já conhecidas a partir dos registros de presença e outras áreas no bioma em condições ambientais adequadas ou não para a presença da espécie alvo. As áreas de alto potencial para a presença da espécie (>0,75) somaram cerca de 10% da área total do estado do Pará.

Segundo dados do MAPBIOMAS (2024) para classes de cobertura de terra, o estado do Pará possui cerca de 74,76% de área florestada, 18,63% de área destinada a agropecuária, 2,85% de formação de área natural não florestada, 0,27% de área não vegetada e 3,49% de corpos d'água. Nas áreas onde houve maior potencial de presença da espécie, são locais onde, segundo dados do MAPABIOMAS, há proximidade com corpos hídricos e maior densidade da floresta, como é o caso da mesoregião do Marajó e Nordeste Paraense. Apesar do ecossistema de várzea ser o ambiente característico da palmeira do açaizeiro, os diferentes padrões de adaptabilidade estrutural facilitam o amplo desenvolvimento reprodutivo em áreas de terra-firme (VIÉGAS *et al*. 2004). Este dado explica a presença da espécie em áreas de terra firme na mesoregião do sudoeste do Pará (S.P.).

O resultado para os cenários climáticos futuros centrados em 2050 (2041-2060) e 2070 (2061-2080) (Fig. 3a e 3b) mostraram que as áreas de alto potencial, quando comparadas às áreas de distribuição potencial atual, tenderiam a uma redução. Para o cenário SSP2-4.5 (2050) as áreas de alto potencial para a presença da espécie (>0,75) somaram cerca de 2,3% da área total do estado do Pará, e para o cenário SSP2-4.5 (2070), apenas 1,6% da área total do estado.

Figura 3 - Simulação da distribuição potencial projetadas para 2050 (a) e 2070 (b) sob o cenário SSP2-4.5 para Euterpe oleracea no estado do Pará.

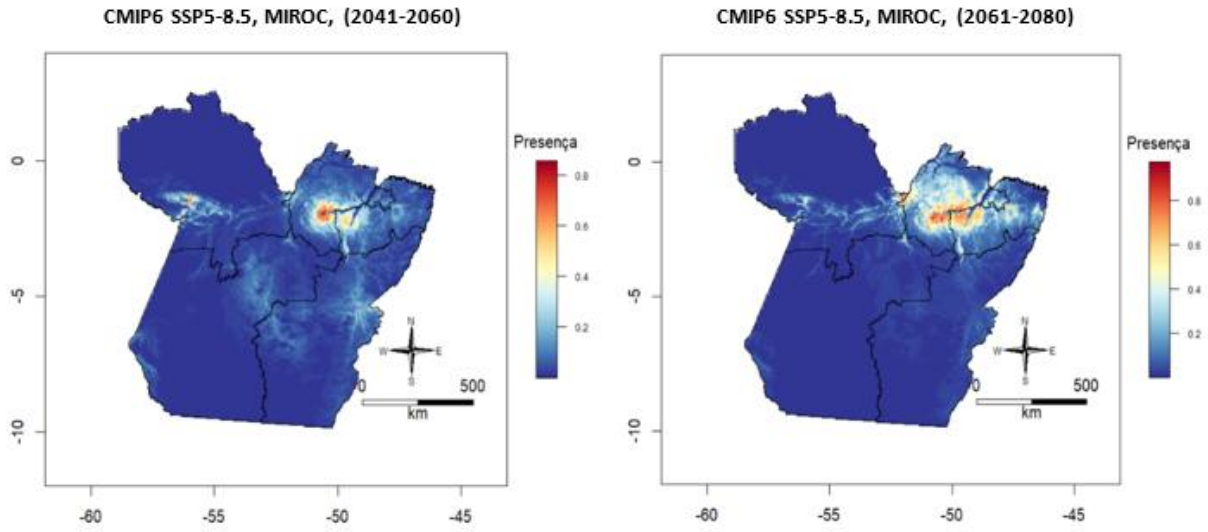


Fonte: Elaborado pelos autores

A *Euterpe oleracea* necessita locais com bastante disponibilidade de água, elevadas temperaturas médias anuais e grande insolação, importante para a maturação e qualidade dos frutos, condições observadas na mesorregião do Marajó, onde observamos que os altos valores de potencial da presença da espécie mantiveram-se no local. Os dados de bio15 para os períodos de 2050 e 2070 mostram que os valores máximos de precipitação tiveram redução de 1,7% e 3,5% respectivamente. No entanto, os valores de mínima, tiveram aumento de 4% e 2% respectivamente.

Na Figura 4, observamos os resultados para o cenário SSP5-8.5. Verificamos que a projeção deste cenário indica que com condições ambientais mais difíceis para a espécie alvo, em um clima mais seco e quente, o declínio da presença da espécie é maior, porém, não para a sua extinção, mantendo valores de presença acima de 0,75 na mesoregião do Marajó.

Figura 4 - Simulação da distribuição potencial projetadas para 2050 (a) e 2070 (b) sob o cenário SSP5-8.5 para Euterpe o*leracea* no estado do Pará.



Fonte: Elaborado pelos autores

O principal parâmetro de risco climático para o açaí é a necessidade hídrica. O açaizeiro é uma palmeira nativa das áreas de várzea da Amazônia e a expansão para sistemas comerciais de produção em terra firme, como as áreas na mesorregião do sudeste paraense (S.P.) requer a irrigação, pois mesmo os períodos curtos de falta de água podem reduzir muito a produção.

Justamente nestas áreas, as projeções indicam redução mais acentuada da precipitação, reduzido assim mais as áreas potenciais para a presença da espécie.

Os valores da faixa anual de temperatura (bio7) mostram que para o cenário SSP2-4.5 para os períodos de 2050 e 2070, as projeções indicam que poderá haver aumento das máximas em torno de 0,65℃ e 1℃ respectivamente, e as mínimas poderão aumentar 0,3℃ e 0,4℃ respectivamente.

Essa dinâmica espaço-temporal de expansão e contração verificada para a Euterpe oleracea Mart. no estado do Pará em resposta às mudanças climáticas preditas, já foi investigada em um estudo de estimativa climática sazonal da produtividade de açaí no Estado do Pará.

Um estudo publicado por DIAS *et al* (2019), mostrou que a produtividade de frutos de açaí (kg/ha) tende a sofrer mudanças significativas nos próximos 15 anos (2017 a 2032) devido a diversos fatores, por exemplo, as projeções consideram cenários futuros de clima regional, indicando um regime mais seco e mais quente do que as condições atuais. Essas mudanças climáticas podem afetar diretamente a produtividade do açaí, com variações na qualidade dos frutos e na quantidade produzida, especialmente em anos climáticos extremos de seca; a pesquisa utilizou modelos de regressão linear com variáveis preditoras como precipitação e temperatura para estimar a produtividade de frutos de açaí. Essas variáveis climáticas são fundamentais para o desenvolvimento e a produção da cultura do açaí, e mudanças significativas nelas podem impactar diretamente a produtividade da planta.

Os estudos de DIAS *et al*. (2019) indicam que, entre 2017 e 2032, os cenários climáticos futuros apontam para um aumento da aridez e das temperaturas em comparação com as condições observadas entre 1979 e 2012. Essas mudanças têm tanto impactos positivos quanto negativos na produtividade do açaí nas regiões consideradas para o período de próximos 15 anos. A pesquisa publicada chama a atenção para as mesorregiões do Baixo Amazonas e o Sudoeste do Pará como áreas de risco climático para a produção de açaí, onde as projeções do modelo indicaram uma redução na produtividade devido ao aumento da aridez.

O mesmo resultado encontramos para esta pesquisa, indicando que esta condição de clima futuro mais seco e quente, poderá levar a redução das áreas potenciais para a presença da espécie.

4. DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a distribuição potencial de *Euterpe oleracea* no estado do Pará está associada a gradientes ambientais relacionados à disponibilidade hídrica sazonal, à estabilidade térmica e à variação altitudinal, refletindo características ecológicas conhecidas da espécie. O modelo MaxEnt apresentou elevada capacidade discriminatória (AUC = 0,93), enquanto a contribuição das variáveis Bio15 (sazonalidade da precipitação), Bio7 (amplitude térmica anual) e altitude (49%) evidenciou a importância dos gradientes ambientais na estimativa da adequabilidade potencial do açaizeiro. A elevada contribuição da altitude deve ser interpretada com cautela, considerando sua possível associação com outros fatores ambientais e com a distribuição espacial dos registros de ocorrência.

A simulação para o cenário atual mostrou áreas de elevada adequabilidade ambiental especialmente nas mesorregiões do Marajó e Nordeste Paraense. Essa distribuição coincide com padrões ecológicos já reconhecidos para a espécie, que se desenvolve predominantemente em ambientes de várzea, mas apresenta flexibilidade adaptativa para ocupar áreas de terra firme, desde que exista disponibilidade adequada de água no solo. Esses resultados dialogam com os estudos de VIÉGAS et al. (2004), que apontam elevada plasticidade ecológica do açaizeiro, capaz de manter produtividade satisfatória em diferentes condições ambientais.

As projeções climáticas futuras indicaram uma redução expressiva da extensão territorial classificada com alta adequabilidade ambiental (> 0,75) para *Euterpe oleracea* no estado do Pará. Sob o cenário SSP2-4.5, a proporção de áreas altamente adequadas diminuiu de aproximadamente 10% nas condições atuais para 2,3% em 2050 e 1,6% em 2070, correspondendo a reduções relativas de 77% e 84%, respectivamente. Esses resultados sugerem uma contração progressiva das áreas com condições ambientais mais favoráveis à espécie nas projeções do modelo MIROC6, possivelmente associada às alterações nos regimes de precipitação e temperatura. Sob o cenário SSP5-8.5, também foi observada uma contração das áreas de alta adequabilidade, especialmente nas projeções para 2070, embora permaneçam núcleos favoráveis concentrados na mesorregião do Marajó.

A persistência dessas áreas no Marajó pode estar relacionada às características hidrológicas da região, fortemente influenciadas por marés, rios de grande porte e elevados índices pluviométricos. Essas condições podem contribuir para a manutenção de ambientes relativamente favoráveis à espécie diante das mudanças climáticas. Entretanto, como as condições hidrológicas locais não foram diretamente avaliadas nas simulações, essa interpretação deve ser considerada uma hipótese ecológica plausível.

Entre os fatores climáticos associados à distribuição potencial da espécie, destaca-se a sazonalidade da precipitação (Bio15), que representa a distribuição relativa das chuvas ao longo do ano. No estado do Pará, esse comportamento está associado à migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), à circulação atmosférica tropical, ao transporte de umidade do Atlântico e aos processos de convecção regional. As mudanças na temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical podem modificar os gradientes térmicos inter-hemisféricos e influenciar o posicionamento e a intensidade da ZCIT, alterando a distribuição sazonal das chuvas no norte e no leste da Amazônia. Modificações na circulação tropical, incluindo possíveis alterações na extensão e na intensidade da circulação de Hadley, também podem contribuir para mudanças na convergência de umidade e nos padrões regionais de precipitação.

Além das alterações climáticas de longo prazo, a variabilidade interanual associada ao fenômeno El Niño–Oscilação Sul (ENOS) também exerce influência sobre o regime de precipitação amazônico. Durante episódios de El Niño, alterações na circulação atmosférica tropical e na convecção sobre o Pacífico equatorial podem favorecer a redução das chuvas em setores da Amazônia, intensificando períodos de deficiência hídrica. Nesse contexto, Pinheiro (2026) destacou a possibilidade de redução das precipitações durante o inverno amazônico de 2027, associada ao El Niño, e seus potenciais impactos sobre a produção de açaí no estado do Pará. Essa perspectiva evidencia a vulnerabilidade dos sistemas produtivos às anomalias de precipitação, especialmente em áreas de terra firme, onde a disponibilidade hídrica depende da regularidade das chuvas e das práticas de irrigação. Embora o ENOS represente um fenômeno de variabilidade climática interanual, distinto das mudanças climáticas de longo prazo analisadas neste estudo, seus possíveis efeitos sobre a disponibilidade hídrica reforçam a importância de considerar diferentes escalas temporais na avaliação dos riscos climáticos para *Euterpe oleracea*.

Nesse contexto, as alterações projetadas na sazonalidade da precipitação podem representar um fator de pressão ambiental para *Euterpe oleracea*, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água no solo depende diretamente da regularidade das chuvas. O aumento da concentração da precipitação em determinados meses, acompanhado por períodos relativamente mais secos, pode intensificar a deficiência hídrica sazonal, particularmente em áreas de terra firme. Entretanto, como o presente estudo utiliza variáveis bioclimáticas derivadas de projeções do MIROC6, sem realizar diagnósticos específicos da circulação atmosférica ou da temperatura da superfície do mar, esses mecanismos devem ser interpretados como explicações climatológicas plausíveis, e não como relações causais diretamente demonstradas pelas simulações.

A amplitude térmica anual (Bio7) representa outro componente relevante para a interpretação da adequabilidade ambiental de *Euterpe oleracea*. Essa variável expressa a diferença entre a temperatura máxima do mês mais quente e a temperatura mínima do mês mais frio, permitindo caracterizar a magnitude da variação térmica anual nas áreas de ocorrência potencial da espécie. Em condições de aquecimento climático, alterações na amplitude térmica podem estar associadas a mudanças nas condições de estresse térmico experimentadas pelas plantas. Temperaturas elevadas, especialmente quando combinadas com baixa disponibilidade hídrica, podem aumentar o déficit de pressão de vapor atmosférico e a demanda evaporativa, favorecendo o fechamento estomático e a redução da assimilação de carbono. Esses processos podem comprometer o crescimento vegetativo e, potencialmente, o desenvolvimento reprodutivo do açaizeiro.

Observações locais obtidas junto a uma produtora de açaí no município de Santo Antônio do Tauá (obtidas em 18 de setembro de 2026), no estado do Pará, onde também foram registrados pontos de ocorrência de *Euterpe oleracea* utilizados neste estudo, indicam sinais de comprometimento das plantas durante períodos de temperaturas elevadas e baixa precipitação. Segundo o relato da produtora, a ausência de chuvas e o calor intenso têm sido acompanhados por ressecamento das folhas e perdas de plantas nas áreas sem irrigação frequente, enquanto os açaizeiros submetidos à irrigação diária apresentam melhores condições aparentes e manutenção dos cachos. Embora essas informações constituam evidências qualitativas e não tenham sido obtidas por meio de monitoramento fisiológico ou experimentos controlados, elas são compatíveis com a hipótese de que a combinação entre

temperaturas elevadas e deficiência hídrica pode aumentar a vulnerabilidade do açaizeiro. Esse registro local reforça a relevância de investigações de campo que integrem condições microclimáticas, disponibilidade de água no solo, práticas de irrigação e respostas fisiológicas da espécie, permitindo avaliar de maneira mais direta os mecanismos associados às mudanças na adequabilidade ambiental estimadas pelo modelo MaxEnt.

Do ponto de vista agronômico, a ocorrência simultânea de temperaturas elevadas e deficiência hídrica pode representar um risco particularmente importante para os sistemas de produção em terra firme, nos quais a disponibilidade de água depende da precipitação e, em determinadas condições, da irrigação. Alterações no balanço hídrico e térmico podem influenciar o desenvolvimento das inflorescências, o estabelecimento dos frutos e a produtividade. Ressalta-se, entretanto, que a Bio7 não representa diretamente a ocorrência de extremos de calor ou o estresse fisiológico das plantas. Dessa forma, sua contribuição para o modelo MaxEnt deve ser interpretada como uma associação entre o gradiente térmico anual e a adequabilidade ambiental estimada, sendo necessários estudos fisiológicos e experimentais para quantificar seus efeitos sobre a produtividade de *Euterpe oleracea*.

A convergência entre os padrões observados neste estudo e os resultados encontrados por DIAS *et al.* (2019) fornece um importante respaldo comparativo. Ambos os trabalhos apontam possíveis consequências da intensificação da aridez e do aumento das temperaturas para o açaizeiro em regiões mais secas do Pará, especialmente no Sudoeste e Baixo Amazonas. Enquanto o presente estudo identifica alterações na adequabilidade ambiental potencial, DIAS *et al.* (2019) investigaram mudanças na produtividade da espécie. Essa correspondência reforça a importância do estresse hídrico como possível fator de risco climático, sobretudo nos sistemas de produção em terra firme que dependem de irrigação.

Além disso, a redução projetada na precipitação e o aumento das temperaturas máximas podem estar associados a efeitos fisiológicos negativos sobre a espécie, incluindo maior estresse térmico, alterações na disponibilidade hídrica e possíveis impactos sobre a floração e a frutificação. Em longo prazo, essas condições podem representar riscos à produtividade dos açaizais manejados, com possíveis repercussões para a economia local e a segurança alimentar das populações paraenses, para as quais o açaí constitui um produto de elevada importância socioeconômica.

Entretanto, a redução projetada das áreas de alta adequabilidade ambiental deve ser interpretada como uma mudança na distribuição potencial das condições favoráveis à espécie, e não como evidência direta de declínio populacional, mortalidade de indivíduos ou perdas proporcionais na produção de frutos. A distribuição efetiva e a produtividade do açaizeiro também dependem de fatores não explicitamente representados nas simulações, incluindo condições hidrológicas locais, características dos solos, práticas de manejo, irrigação e capacidade de resposta da espécie às mudanças ambientais. Assim, embora as projeções indiquem possíveis pressões climáticas futuras, não permitem quantificar diretamente seus efeitos sobre a produção agrícola ou a dinâmica populacional da espécie.

A combinação entre elevada dependência hídrica, sensibilidade às variações térmicas e restrições associadas aos solos de terra firme evidencia a importância de estratégias de adaptação para os sistemas produtivos em regiões interioranas. Entre essas estratégias, destacam-se práticas de irrigação, manejo adequado do solo e identificação de áreas ambientalmente mais favoráveis dentro das propriedades rurais. Paralelamente, a conservação de ambientes naturais de várzea e de formações florestais densas constitui uma medida relevante para a manutenção da biodiversidade, da diversidade genética e das condições ecológicas necessárias ao desenvolvimento da espécie.

Em síntese, as projeções indicam uma possível restrição da distribuição potencial de *Euterpe oleracea* no estado do Pará, com maior permanência de áreas altamente adequadas em regiões naturalmente mais úmidas, especialmente no Marajó e em áreas adjacentes. Embora os resultados estejam condicionados às projeções climáticas do MIROC6 e às variáveis consideradas no modelo, a redução estimada das áreas de elevada adequabilidade ambiental reforça a necessidade de políticas públicas voltadas ao manejo sustentável, à conservação de áreas úmidas e ao planejamento produtivo adaptado às mudanças climáticas, contribuindo para a resiliência dos sistemas socioecológicos e para a continuidade da cadeia produtiva do açaí no estado do Pará.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos na modelagem da distribuição potencial de *Euterpe oleracea* Mart. no estado do Pará indicam que a adequabilidade ambiental da espécie poderá ser significativamente modificada pelas alterações climáticas projetadas para as próximas décadas.

As mudanças projetadas na temperatura e na sazonalidade da precipitação estão associadas à retração das áreas classificadas como altamente favoráveis à espécie, especialmente em regiões de terra firme, onde a disponibilidade hídrica representa um fator limitante para o desenvolvimento do açaizeiro. Nessas áreas, a manutenção de condições adequadas ao cultivo poderá depender da adoção ou intensificação de sistemas de irrigação, particularmente durante períodos de deficiência hídrica, a fim de reduzir os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e a produção de frutos.

Sob o cenário SSP2-4.5, a proporção do território paraense com alta adequabilidade ambiental (> 0,75) apresentou redução projetada de aproximadamente 10% nas condições atuais para 2,3% em 2050 e 1,6% em 2070, correspondendo a uma redução relativa de 84% até o final do período analisado. Esses resultados indicam possíveis restrições climáticas futuras à distribuição potencial da espécie, sem representar, necessariamente, perdas proporcionais de populações naturais ou da produção de açaí.

A utilização do modelo MaxEnt permitiu identificar padrões espaciais de adequabilidade ambiental e explorar possíveis alterações na distribuição potencial da espécie sob diferentes cenários climáticos. Embora as projeções tenham sido realizadas com dados climáticos do modelo MIROC6, os resultados fornecem subsídios relevantes para o planejamento territorial, a conservação ambiental e o manejo sustentável do açaizeiro. Nesse contexto, a interpretação das projeções reforça a importância de estratégias de adaptação, incluindo a conservação de ambientes úmidos, o aprimoramento tecnológico dos sistemas de produção em terra firme e a adoção de práticas de manejo que favoreçam a resiliência dos sistemas produtivos diante de condições climáticas potencialmente mais quentes e secas.

É importante destacar que fatores não representados diretamente na modelagem, como condições hidrológicas locais, características dos solos, práticas de manejo, irrigação, pressões antrópicas e expansão do cultivo em áreas de terra firme, também influenciam a distribuição

efetiva e a produtividade da espécie. Dessa forma, as projeções de adequabilidade ambiental não devem ser interpretadas como estimativas diretas de perdas populacionais ou produtivas. A consideração desses fatores, juntamente com a utilização de diferentes modelos climáticos e avaliações de campo, poderá contribuir para o aprimoramento das projeções e para uma compreensão mais abrangente da vulnerabilidade do açaizeiro às mudanças climáticas.

Assim, este estudo reforça a importância de integrar informações provenientes da modelagem de distribuição potencial às estratégias de conservação e planejamento agrícola no estado do Pará. A utilização dessas informações pode contribuir para orientar medidas preventivas, identificar áreas prioritárias para conservação e adaptação e fortalecer a resiliência dos sistemas socioecológicos amazônicos, considerando a relevância ambiental, econômica e social do açaí para as populações locais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP pelo apoio financeiro por meio da bolsa de Pós-Doutorado, que viabilizou o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVEZ VALLES, C. M. **Impacto da dinâmica da demanda dos frutos de açaí nas relações socioeconômicas e composição florística no estuário amazônico**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/handle/2011/10963.

AMARAL, M. T.; VALE, R. C. dos S. Biodiversidade e mudanças climáticas: um olhar sobre a Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1–13, 2010. Disponível em: https://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/biodiversidade%20e%20mudancas.pdf.

BAZZANELA, A. C.; DERECZYNSKI, C.; REGOTO, P. The CMIP6 representation of South American climatological systems. *In:* AGU FALL MEETING, 2021. **AGU Fall Meeting abstracts**. [S. l.]: American Geophysical Union, 2021. Resumo A45F-1914.

BENTES, E. dos S.; HOMMA, A. K. O.; SANTOS, C. A. N. dos. Exportações de polpa de açaí do estado do Pará: situação atual e perspectivas. *In:* CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 55., 2017, Santa Maria. **Inovação, extensão e cooperação para o desenvolvimento**. Brasília, DF: SOBER, 2017. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1074510. Acesso em: 21 abr. 2024.

CAMELI, R.; SILVA, C. H. R. da. Bioeconomia e performance geoeconômica no cenário de mudanças climáticas: o caso de Bailique/AP – Brasil. **RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar**, [S. l.], v. 4, n. 10, e4104231, 2023. DOI: https://doi.org/10.47820/recima21.v4i10.4231. Disponível em: https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4231.

CORREA, W. de S. C. *et al.* Avaliação das simulações de temperatura e precipitação de um subconjunto de modelos do CMIP6 para o Brasil. **Derbyana**, São Paulo, v. 43, e774, 2022. DOI: https://doi.org/10.14295/derb.v43.774. Disponível em: https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/774.

COSTA, A. P. D. **A influência da intensificação da produção de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) na diversidade de atividades produtivas de ribeirinhos no estuário amazônico**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Instituto Amazônico de Agriculturas Familiares, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/items/9d6f0c2f-7231-43a6-8ceb-5de987c2f4d3.

CRUZ, J. da S.; BLANCO, C. J. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. F. de. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 811, 152348, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348.

DIAS, T. S. da S. *et al.* Estimativa climática sazonal da produtividade de açaí (*Euterpe oleracea*) no estado do Pará – cenários futuros. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 2, p. 517–533, 2019. DOI: https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p517-533. Disponível em: https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p517-533.

ELITH, J. *et al.* Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 129–151, 2006.

FREIRE, A. S. C. *et al.* Analysis of the establishment of seedlings of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) in the understory of a forest of Amazon floodplain. **Earth Interactions**, [S. l.], v. 17, n. 9, p. 1–11, 2013.

GATTI, L. V. *et al.* Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, London, v. 595, p. 388–393, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41586-021-03629-6.

GUISAN, A.; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 8, n. 9, p. 993–1009, 2005.

GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 135, p. 147–186, 2000.

HIJMANS, R. J. *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, [S. l.], v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Painel El Niño**: boletim de setembro é divulgado. Brasília, DF: INMET, 30 set. 2026. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/noticias/el-ni%C3%B1o.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editado por S. Solomon *et al.* Cambridge: Cambridge University Press, 2007. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2013**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editado por T. F. Stocker *et al.* Cambridge: Cambridge University Press, 2013. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Summary for policymakers. *In:* INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2021**: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 3–32. DOI: https://doi.org/10.1017/9781009157896.001. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/.

MARENGO, J. A. *et al.* Increased climate pressure on the agricultural frontier in the eastern Amazonia–Cerrado transition zone. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 12, 457, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-04241-4. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-021-04241-4.

MARENGO, J. A. *et al.* Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, [S. l.], v. 6, 228, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228. Disponível em: https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228.

MEROW, C.; SMITH, M. J.; SILANDER JR., J. A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. **Ecography**, [S. l.], v. 36, n. 10, p. 1058–1069, 2013.

MOURÃO, L. **Do açaí ao palmito**: uma história ecológica das permanências, tensões e rupturas no estuário amazônico. 1999. 355 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

NASCIMENTO, W. M. O. do. **Açaí**: *Euterpe oleracea*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. (Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia, 18). Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/173039/1/Informativo-da-RSA-000gbz50dd802wx5ok01dx9lc8peulnc.pdf.

NOBRE, C. A. *et al.* Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, DC, v. 113, n. 39, p. 10759–10768, 2016. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113.

NOGUEIRA, O. L. *et al.* **A cultura do açaí**. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 1995. 49 p. (Coleção Plantar, 26).

NOLAN, C. *et al.* Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. **Science**, Washington, DC, v. 361, n. 6405, p. 920–923, 2018.

OLIVEIRA, M. do C. F. de *et al.* Variabilidade do clima no estado do Pará. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: [s. n.], 2009.

ORGANIZAÇÃO DO TRATADO DE COOPERAÇÃO AMAZÔNICA. **As mudanças climáticas e a Amazônia**: magnitude do problema e perspectivas de ação para os países membros da OTCA. Brasília, DF: OTCA, 2007. 137 p. (Série de documentos técnicos).

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. **Maxent software for modeling species niches and distributions**. Versão 3.4.1. [S. l.: s. n.], [2017]. Programa de computador. Disponível em: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/. Acesso em: 18 set. 2018.

PINHEIRO, L. O. Navegação em foco – El Niño vai diminuir a produção de açaí em 2027. **Portal da Navegação**, [S. l.], 15 out. 2026. Disponível em: https://portaldanavegacao.com/2026/10/15/navegacao-em-foco-el-nino-vai-diminuir-a-producao-de-acai-em-2027/.

PRATES-CLARK, C. C.; SAATCHI, S. S.; AGOSTI, D. Predicting geographical distribution models of high-value timber trees in the Amazon Basin using remotely sensed data. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 211, n. 3–4, p. 309–323, 2008.

SOUZA, F. G. de; LIMA, R. A. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Educamazônia – Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, Humaitá, v. 23, n. 2, p. 100–110, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/6714.

TEIXEIRA, L. P. **Modelagem de nicho ambiental de espécies vegetais da Caatinga como ferramenta para avaliação dos impactos das mudanças climáticas e do progresso das ODS's 13 e 15 no bioma semiárido brasileiro**. 2022. 74 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/68387.

VIANA, V. M. **As florestas brasileiras e os desafios do desenvolvimento sustentável**: manejo, certificação e políticas públicas apropriadas. 2002. Tese (Livre-docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

WORLDCLIM: global climate and weather data. [S. l.: s. n.], [20--]. Disponível em: https://www.worldclim.org/. Acesso em: 5 fev. 2024.

ZEIMES, C. B. *et al.* Modelling zoonotic diseases in humans: comparison of methods for hantavirus in Sweden. **International Journal of Health Geographics**, [S. l.], v. 11, 39, 2012. DOI: https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-39. Disponível em: https://doi.org/10.1186/1476-072X-11-39.