



ALTERAÇÕES NO ZONEAMENTO CLIMÁTICO PARA O CULTIVO DE URUCUM (*Bixa orellana*) DEVIDO MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Mudanças Climáticas

João Antonio Lorençone¹

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido²

Pedro Antonio Lorençone³

Rafael Fausto de Lima⁴

Guilherme Botega Torsoni⁵

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo realizar o zoneamento agroclimático do urucum (*Bixa orellana* L), para o Brasil no cenário atual e o cenário SSP-5 8.5 de mudanças climáticas do CMIP6. Os dados de temperatura do ar e precipitação diária para o cenário atual foram coletados por meio da plataforma WorldClim version 2.1, para a última normal climatológica em formato GeoTiff. Esse estudo foi realizado para todo o território brasileiro. As variáveis climáticas futuras foram obtidas pela plataforma WorldClim 2.1, para o modelo IPSL-CM6A-LR, nos períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 e para o cenário SSP-5 8.5. Dessa forma, foram realizados o zoneamento por meio de software de sistemas de informações geográficas (QGIS), automatizado com a linguagem Python. Ainda, foram elaborados gráficos para melhor representar os resultados. O zoneamento climático do Urucum para o cenário atual demonstrou 5 classes. A classe que mais predominou foi marginal por excesso hídrico (42,99 %), seguida pela classe Apto (32,47%), com destaque para a região central do país: Mato Grosso do Sul (91,61 %), Goiás (80,80 %) e Tocantins (92,6%). O cenário RCP-5 8.5 alterou o zoneamento climático para o Urucum em todos os períodos. A classe de aptidão reduziu em todos os períodos, com média para os períodos de 27,91% (2021-2040), 20,16% (2041-2060), 12,11% (2061-2080), 6,50% (2081-2100). A partir do ano 2081 mais de 90% do território das regiões produtoras apresentou condições inaptas por excesso térmico. As mudanças climáticas proporcionam redução nas áreas aptas ao cultivo do Urucum, principalmente a longo prazo (2081-2100).

Palavras-chave: Temperatura do ar, precipitação pluvial, CMIP6, IPCC.

¹ Aluno do curso de Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Departamento de agrometeorologia, joao.lorencone@estudante.ifms.edu.br

² Prof. Dr. IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, Departamento agrometeorologia, lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

³ Aluno do curso de Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Departamento de agrometeorologia, pedro.lorencone@estudante.ifms.edu.br

⁴ Aluno do curso de Agronomia, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – Departamento de agrometeorologia, rafael.lima@estudante.ifms.edu.br

⁵ Prof. Dr. Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Campus Naviraí, Departamento de agrometeorologia, guilherme.torsoni@ifms.edu.br



INTRODUÇÃO

O urucum (*Bixa orellana* L.) se destaca por possuir muitas utilidades para seus frutos, tornando-a uma cultura de grande procura e valor mundial (REGO; BRAND; COSTA, 2010). É muito comum encontrar o urucum sendo utilizado na indústria alimentícia, como fonte de “colorau”, um corante natural das sementes, que possui a capacidade de colorir alimentos, possuindo um baixo custo de produção e baixa toxicidade (ALMEIDA, 2016). Na medicina o urucum é amplamente reconhecido por suas diversas aplicações, como antibacteriano, antifúngico, antidiarreico e antiofídico (BRAGA et al., 2007; CÁCERES et al., 1995)

A cultura sofre grande influência do clima (LOPES; LIMA; MACEDO, 2008), se desenvolvendo bem a uma temperatura do ar de 22 e 27 ° C (SATYANARAYANA; PRABHAKARA RAO; RAO, 2003). O urucum cresce, floresce e produz frutas durante a maior parte do ano, e as condições são considerados ideais se a precipitação anual for bem distribuída e maior que 1200 mm, com fornecimento mensal de 100-150 mm (CASTRO et al., 1994). Em geral o urucum é planta resistente e altamente adaptável, capaz de crescer em uma variedade de climas (BRITO et al., 2015), mas as condições energéticas e hídricas fora da faixa ideal, limita o desenvolvimento de safras com bons rendimentos (DE SÁ JÚNIOR et al., 2012).

O aumento de gases de efeito estufa, com destaque para óxido nitroso, dióxido de carbono e ozônio, são as principais causas das alterações climáticas, principalmente para o aquecimento significativo que o mundo vem sofrendo (ALLEN et al., 1998). No último século, a temperatura global aumentou 1 °C (+0,2), as previsões para 2100 são de aumentos entre 1,5°C e 6 °C (ADEFISAN, 2018). O setor agrícola é um dos mais vulneráveis às mudanças climáticas, pois depende diretamente da temperatura e da precipitação (BAETHGEN; MEINKE; GIMENE, 2003). Dessa forma, alguns estudos apontam que a produção de alimento será impactada negativamente, ao mesmo tempo em que a população continua com seu crescimento (ABABAEI; NAJEEB, 2020).

Apesar da diversidade de trabalhos com a mesma temática, são poucos

encontrados na literatura que realizam o Zoneamento agroclimático (ZAC) para o urucum no Brasil, um dos trabalhos que é referência para o urucum é o de (APARECIDO et al., 2017), que realizou o zoneamento de risco climático para o urucum no estado de Minas Gerais, demonstrando parte das regiões leste e norte do estado possuem aptidão climática para o cultivo do urucum, demonstrando que o estado possui potencial para a produção do urucum. Sendo que muitas regiões brasileiras podem apresentar aptidão ao cultivo do urucum (PEZZOPANE et al., 2010), e o ZAC é uma ferramenta para identificar essas áreas, entretanto são poucos os trabalhos para todo o Brasil.

Dessa forma esse trabalho tem como objetivo realizar o zoneamento agroclimático do urucum (Bixa orellana L), para o Brasil no cenário atual e o cenário SSP-5 8.5 de mudanças climáticas do CMIP6.

METODOLOGIA

O trabalho foi realizado para todo o Brasil, que possui uma extensão territorial de 8.516.000 km², dividido em cinco regiões: Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sul e Sudeste. O Brasil apresenta doze (12) classes de clima de Köppen (1948), em que a zona tropical “A” é a mais predominante neste país (ALVARES et al., 2013a).

As variáveis climáticas (temperatura do ar e precipitação acumulada) foram coletadas por meio da plataforma WorldClim 2.1⁶ (FICK; HIJMANS, 2017). Os dados se apresentavam em formato GeoTiff (.tif), com resolução de 30’’x30’’ (1 km²). Cada imagem consistia em 12 bandas (meses), para todo o globo. Os dados coletados foram da última normal climatológica disponível.

As variáveis climáticas futuras foram obtidas pela plataforma WorldClim 2.1¹, para o modelo IPSL-CM6A-LR (Boucher, 2020) do Institute Pierre-Simon Laplace Climate Modelling Centre (IPSL CMC)⁷ da França, com resolução de 30 segundos (1 km²). O modelo IPSL-CM6A-LR Esse modelo faz parte da fase seis do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6) do IPCC, com grandes contribuições para esse projeto (LURTON et al., 2020).

⁶ <https://www.worldclim.org/>

⁷ <https://cmc.ipsl.fr/>

Os modelos do CMIP6 demonstram ser mais precisos que a versão anterior (CMIP5). O modelo disponibiliza dados para todos os cenários do sexto relatório do IPCC, SSPs. Foi utilizado o cenário Shared Socioeconomic Pathways – 5 8.5 disponível para 4 períodos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2081 e 2081-2100) na plataforma WorldClim (RIAHI et al., 2017).

As variáveis climáticas foram definidas pelas necessidades das plantas de *B. orellana*: Temperatura do Ar (Tar) médio anual e a Precipitação Anual (Panual) total. As classes de aptidão climática para o cultivo foram estabelecidas combinando as duas variáveis climáticas (APARECIDO et al., 2017; LOPES; LIMA; MACEDO, 2008). As regiões foram consideradas climaticamente adequadas para cultivo quando Tar permaneceu entre 22 e 27 °C e PANUAL entre 800 e 1800 mm.a-1. As áreas marginalmente foram 4: marginal insuficiência térmica ($20 < T_{air} < 22^{\circ}C$), marginal por excesso térmico ($27 > T_{air} > 29^{\circ}C$), marginal déficit hídrico (Panual < 800 mm) e marginal excesso hídrico (>1800 mm). As classes consideradas inaptas foram: $T_{air} < 20^{\circ}C$ ou $T_{air} > 29^{\circ}C$.

Assim para a realização do ZAC, as imagens de temperatura do ar e precipitação acumulada foram abertas em um software de sistema de informações geográficas QGIS⁸. Primeiramente, as imagens foram recortadas apenas para o território brasileiro. Em seguida, foi realizado a média das imagens de temperatura do ar mensais e a soma das imagens de precipitação acumulada mensais. Assim, as imagens foram reclassificadas em função da chave de aptidão climática. A reclassificação possibilitou combinar as imagens anuais de cada variável, assim obtendo uma imagem com as classes de aptidão. Essa imagem foi convertida em polígono, para assim calcular a área de cada classe. Foi utilizado a linguagem de programação Python 3.8, para automatizar a elaboração do zoneamento de favorabilidade da *Phoma* spp. No total foram elaboradas 5 mapas (1 atual + 4 períodos futuros).

Para visualização da variação da temperatura do ar e da precipitação acumulada em função das mudanças climáticas, foram elaborados gráficos de Box-plots. Gráficos são ferramentas para disponibilizar informações de maneira clara (GRANT, 2018), os

⁸ <http://www.qgis.org/>

Boxplots se destacam por descreverem muito bem grandes bancos de dados (BABURA et al., 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação (Prec) e temperatura do ar (Tair) demonstraram alta variação sazonal e espacial (Figura 1). A Tair apresentou média variou de 7,90 a 29,50°C durante o ano, com média de 24,32°C (Figura 1 A B). O mês de novembro foi o mês mais quente (25,0°C), seguido por dezembro (25,11°C) (Figura 1 A). Por outro lado, junho e julho foram os meses mais frios do ano, 22,73 e 22,58°C, respectivamente. Alvares et al. (2013b) estudaram as condições climáticas médias de todos o país, encontrando resultados sazonais semelhantes.

Os estados da região norte foram os mais quentes, com média de 25,91°C, com destaque para Roraima (26,28°C), Amazonas (26,22°C) e Amapá (26,00°C), os estados mais quentes do Brasil (Figura 2 B). De maneira contrária, a região sul foi a mais fria (18,47°C), sendo Santa Catarina o estado mais frio do país (17,03°C). Regiões mais próximas da linha do equador possuem maior incidência de radiação solar, acarretando maior temperaturas, já localidades com maiores latitudes ocorre o inverso (KITAYAMA; USHIO; AIBA, 2021; PRAMANIK et al., 2019). As demais regiões, como Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste apresentaram médias de 21,21; 24,25 e 24,71°C, respectivamente.

A Precipitação acumulada média anual demonstrou alta variação tanto sazonal como espacial. A média mensal foi de 146 mm, porém variando de 0 a 593 mm em apenas um mês. O verão foi o período mais chuvoso (671 mm acumulados), representando 50% de toda a precipitação anual. As médias para o mês de janeiro e março foram de 227 e 229 mm, respectivamente. O inverno por outro lado, foi o período mais seco (205 mm acumulados), concentrando 11,69% do volume anual de chuvas (Figura 2 D). Julho e agosto obtiverem média de apenas 64 e 58 mm acumulados, respectivamente. Períodos como esse apresentam alto risco para culturas perenes, devido ao estresse hídrico.

A precipitação acumulada anual variou de 377 a 3858 mm, com média de 1748

mm. A região norte além da maior média Tair, também apresentou a média anual de precipitação (2227,55 mm). Amazonas e Amapá foram os estados mais chuvosos, com médias de 2522,58 e 2467,80 mm, respectivamente. A região Nordeste foi a mais seca, com apenas 1024,06 mm, com destaque para Pernambuco e Rio Grande do Norte que apresentaram menos de 760 mm anuais acumulados (Figura 1 C). Em regiões com alto estresse hídrico são necessárias técnicas como irrigação localizada, para suprir a necessidade hídrica com maior eficiência.

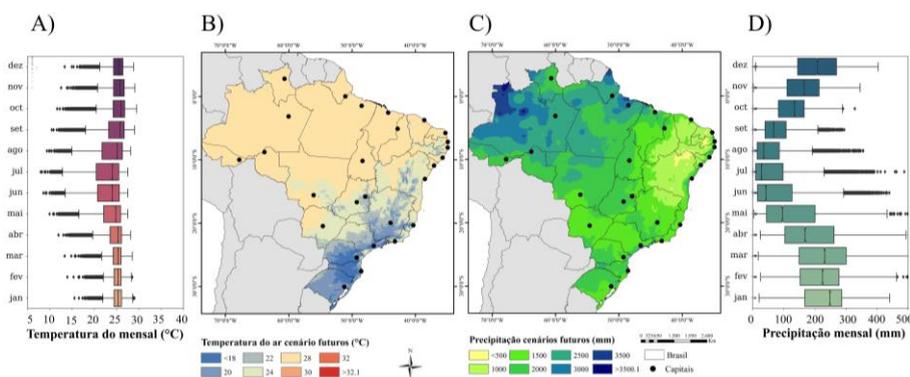


Figura 1 Distribuição sazonal (A e D) e espacial (B e C) da temperatura do ar média e precipitação acumulada para todo o Brasil.

O zoneamento do urucum para o Brasil no cenário atual apresentou 5 classes (Figura 2). A classe predominante foi marginal por excesso hídrico (42,99%), concentrada principalmente na região norte do país. Em localidades como Rurópolis – PA o cultivo do Urucum é possível e pode sofrer problemas com doenças que se beneficiam de alta umidade, como podridão. A classe de completa aptidão representou 32,47% do território nacional, com destaque para a região central do país: Mato Grosso do Sul, Goiás e Tocantins (Tabela 1). Esses estados apresentaram 91,61; 80,80 e 92,6% do território classificado como apto, respectivamente. Desses estados apenas Mato Grosso do Sul possui produção de Urucum, sendo uma cultura com alto potencial possuindo alto potencial produtivo, porém pouco explorada (Figura 2 B).

A classe inapto por insuficiência foi a terceira classe com maior área (Figura 2). Os estados do sul apresentaram mais de 78,9% do território inapto, o restante classificado como marginal por insuficiência térmica. Já a classe marginal por déficit hídrico

representou apenas 5,53%, concentrados apenas na região Nordeste. Cerca de 68,37% do estado do Pernambuco foi classificado como marginal por déficit hídrico. Nessa região é necessário a utilização de irrigação para o cultivo do Urucum, possibilitando alto rendimento;

O estado de São Paulo é o maior produtor da semente, com produção de 5467 toneladas em 2020 (IBGE, 2021), 34,07% do território estadual foi classificado como apto (Tabela 1). 38,06% de SP foi classificado como marginal por insuficiência térmica, porém possibilitando altas produções dependendo da cultivar. As localidades com maior produção são Monte Castelo – SP (1015 toneladas), Salmourão – SP (676 toneladas), Dracena – SP (600 toneladas) todas foram classificadas como aptas. Esses municípios se localizam na região oeste de São Paulo, divisa com o Mato Grosso do Sul (MS). O MS é um estado que possui alto potencial produtivo para a cultura (91,61% do território apto), porém apresentou produção de apenas 688 toneladas em 2020, sendo o sexto maior produtor.

O cenário RCP-5 8.5 alterou o zoneamento climático para o Urucum em todos os períodos (Figura 3). A classe de completa aptidão reduziu em todos os períodos, com média para os períodos de 27,91%, 20,16%, 12,11%, 6,50%. Durante 2021-2040 o zoneamento manteve muito das suas áreas aptas, porém ocorreu o acréscimo de áreas marginais e inaptas por excesso térmico na região Norte do país (Figura 3 A). Em 2041-2060 as classes mais comuns no país foram marginais por excesso térmico (42,51%) e marginal por insuficiência térmica (24,13%). Já durante 2061-2080 a maior parte de país foi classificada como inapta por excesso térmico (63,36%), todos os estados do norte apresentaram mais de 98% do território inapto.

A partir do ano 2081 a situação ficou grave, mais de 90% do território das regiões produtoras apresentou condições inaptas por excesso térmico. 80,08% do país foi classificado como inapto (79,95% inapto por excesso térmico), um aumento de 71,71% em relação ao cenário atual. As regiões aptas se concentraram exclusivamente na região sudeste do país: leste de São Paulo e Sul de Minas Gerais e sul do país (Figura 3 D). São Paulo apresentou uma redução de apenas 0,2% da classe Apto, porém no futuro a região leste apresentou maior potencial para o cultivo do Urucum, podendo impactar na



economia das localidades como Dracena - SP. Durante esse período ocorreu uma conversão das áreas inaptas por insuficiência térmica (atual) para completamente apta (2081-2100). Os estados do Sul apresentaram aptidão ao cultivo da cultura, média de 44,19%, com destaque para o norte do Paraná (60,88%). O Mato Grosso do Sul demonstrou.

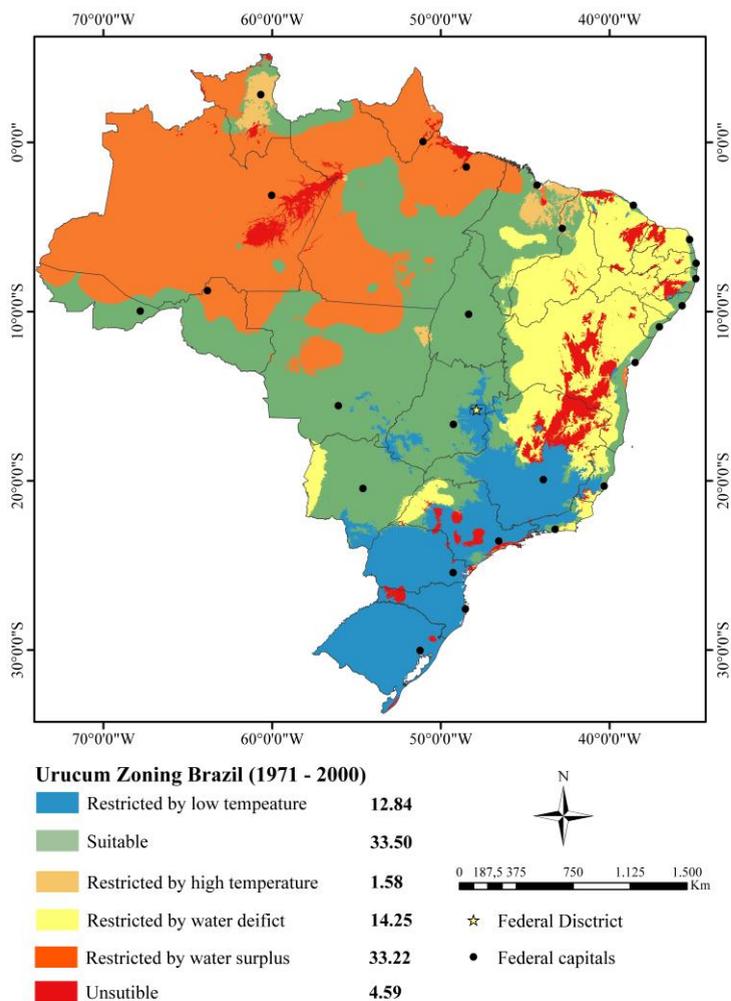


Figura 2. Zoneamento climático para o Urucum (Bixa orellana) no cenário atual em todo o território brasileiro.



Estados	Inapto insuficiência térmica	Marginal insuficiência térmica	Apto	Marginal déficit hídrico	Marginal excesso hídrico	Marginal excesso térmico	Inapto excesso térmico
AC	-	-	28,97%	-	71,03%	-	-
AL	0,00%	2,15%	52,91%	39,15%	5,78%	-	-
AM	0,02%	0,05%	0,01%	-	94,83%	5,09%	-
AP	-	-	-	-	97,02%	2,98%	-
BA	2,90%	12,59%	43,68%	39,36%	1,46%	-	-
CE	-	2,60%	48,95%	31,70%	-	16,74%	-
DF	0,93%	97,89%	1,18%	-	-	-	-
ES	16,89%	13,56%	69,55%	-	-	-	-
GO	0,08%	19,12%	80,80%	-	-	-	-
MA	-	-	69,23%	-	15,31%	15,45%	-
MG	21,24%	38,63%	38,74%	1,24%	0,16%	-	-
MS	-	8,39%	91,61%	-	-	-	-
MT	-	1,09%	46,86%	-	51,17%	0,88%	-
PA	-	-	10,59%	-	87,54%	1,87%	-
PB	0,09%	4,22%	46,50%	47,78%	1,28%	0,14%	-
PE	0,30%	15,19%	13,48%	68,37%	2,65%	-	-
PI	-	0,00%	71,28%	21,31%	-	7,41%	-
PR	70,22%	27,99%	1,78%	-	0,02%	-	-
RJ	22,74%	25,88%	50,18%	-	1,20%	-	-
RN	-	0,00%	28,68%	52,44%	-	18,88%	-
RO	-	0,02%	43,75%	-	56,20%	0,04%	-
RR	0,10%	1,75%	5,56%	-	63,69%	28,90%	-
RS	92,33%	7,67%	-	-	-	-	-
SC	94,50%	5,50%	-	-	-	-	-
SE	-	0,54%	65,07%	34,22%	0,18%	-	-
SP	26,46%	38,06%	34,07%	-	1,41%	-	-
TO	-	0,04%	92,60%	-	7,04%	0,32%	-
Brasil	8,27%	7,40%	32,47%	5,53%	42,98%	3,36%	-

Tabela 1. Porcentagem das classes de zoneamento climático do Urucum para cada estado brasileiro.

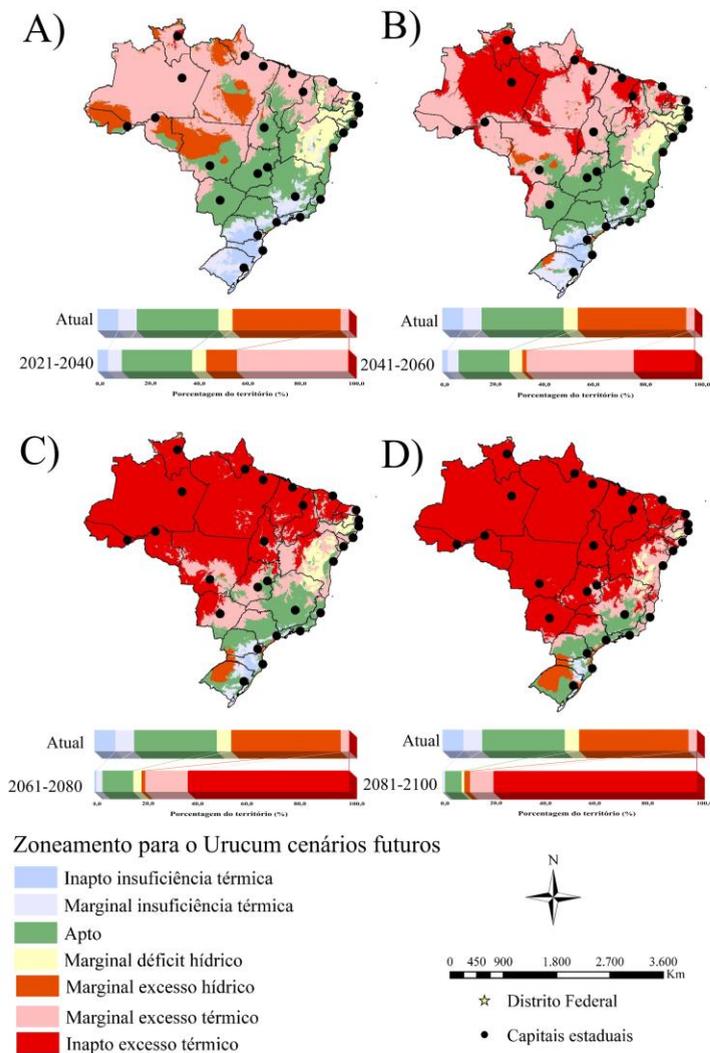


Figura 3. Zoneamento climático para o Urucum (Bixa orellana) no SPP-5 8.5 em todo o território brasileiro para os períodos 2021-2040 (A), 2041-2060 (B), 2061-2080 (C) e 2081-2100 (D).

CONCLUSÕES

A temperatura do ar apresenta maiores valores durante novembro e e menores durante junho e julho. A região norte é a mais quente do país, já o sul a mais fria. Em relação a precipitação, o verão concentra metade de todo o volume anual acumulado, por



outro lado o inverno representa apenas 11,69%. No cenário SSP-5 8.5 ocorre um aumento crescente para a temperatura do ar, e uma leve redução no volume de precipitações pluviais.

O zoneamento climático do Urucum para o cenário atual possui 5 classes. A classe que mais predomina é marginal por excesso hídrico (42,99%), seguida pela classe Apto (32,47%), com destaque para a região central do país: Mato Grosso do Sul (91,61), Goiás (80,80) e Tocantins (92,6%).

As mudanças climáticas alteram o zoneamento agroclimático do urucum. Em todos os períodos futuros ocorre uma redução nas áreas aptas, principalmente no Centro-Oeste do país e em Rondônia. A maior inaptidão no futuro será devido ao excesso térmico, sendo necessário estudos mais sobre a capacidade de adaptação da cultura do Urucum as mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

ABABAEI, B.; NAJEEB, U. Detection of major weather patterns reduces number of simulations in climate impact studies. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 206, n. 3, p. 376–389, jun. 2020.

ADEFISAN, E. Climate Change Impact on Rainfall and Temperature Distributions Over West Africa from Three IPCC Scenarios. **Journal of Earth Science & Climatic Change**, v. 09, n. 06, 2018.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMEIDA, H. DE. Climatologia aplicada à Geografia. **Universidade Estadual da**, 2016.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013a.

ALVARES, C. A. et al. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and applied climatology**, v. 113, n. 3, p. 407–427, 2013b.

APARECIDO, L. E. DE O. et al. Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. **Bragantia**, v. 77, n. 1, p. 193–200, 18 dez. 2017.



BAETHGEN, W. E.; MEINKE, H.; GIMENE, A. **Adaptation of agricultural production systems to climate variability and climate change: lessons learned and proposed research approach.** Climate Adaptation. net conference “Insights and Tools for Adaptation: Learning from Climate Variability. **Anais...**2003.

BRAGA, F. G. et al. Antileishmanial and antifungal activity of plants used in traditional medicine in Brazil. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 111, n. 2, p. 396–402, maio 2007.

BRITO, J. G. DE et al. Armazenamento de grãos residuais de urucum sob atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1185–1191, dez. 2015.

CASTRO, C. DE et al. A cultura do urucum. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. Brasília: Embrapa**, 1994.

DE SÁ JÚNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 108, n. 1, p. 1–7, 2012.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, out. 2017.

IBGE, I. B. D. G. E. E. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Produção Agrícola Municipal.** Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020>>. Acesso em: 28 jan. 2021.