

Climate aptitude of cassava cultivation in the state of Piauí

Gabriel S. T. Fernandes^{*}, Ângelo da S. Gonçalves Junior^{**}, Arão de Moura Neto^{**}, Laila L. S. e Silva^{**}, Ana Caroline G. Miranda^{**}, Raiany de O. Silva^{***}, Edivania de A. Lima^{****}

^{*}Doutorando em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil. E-mail: agrogabrielt@gmail.com

^{**}Graduando (a) em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: laila.lucia@ufpi.edu.br, angelosgjunior@gmail.com, araoneto@ufpi.edu.br, carolmiranda@ufpi.edu.br,

^{***}Graduanda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: raianyoliveira95@gmail.com

^{****}Professora Doutora Associada I, Universidade Federal do Piauí, Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: edivania@ufpi.edu.br

Received 25 October 2021; accepted 28 November 2021

Abstract

The cultivation of cassava is of great socioeconomic importance for the State of Piauí, being considered as the main source of carbohydrates for the neediest layers of the population and a source of income for subsistence agriculture in the State. Therefore, the objective of this work was to identify the areas of climatic aptitude for the cultivation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in the State of Piauí, in two distinct periods: the first from 1980 to 2002 and the second from 2003 to 2018, in addition to verifying if there was any change in the spatial distribution of regions suitable for the cultivation of this crop in the mesoregions of the State. Data from the National Aeronautics and Space Administration (NASA/POWER) were used. The calculation of evapotranspiration and the Climatological Water Balance was performed, with which the effective moisture index (Im) was obtained, which was interpolated using the IDW method (inverse of the power of distance) by the QGIS 3.6.2 software. The Im was used as a criterion for the definition of climatically suitable zones for the cultivation of the crop, as it synthesizes the requirements of the crop in terms of water availability in the region. The results show that there was a reduction in moisture indices in the second period analyzed and, therefore, there was a change between the suitability areas, with a reduction in the state. Therefore, it was observed that the state has suitability for the cultivation of cassava, showing, however, an increase in the extension of zones of moderate suitability due to water deficit, because of the reduction in the moisture content.

Keywords: *Manihot esculenta*, water balance, moisture index.

Aptidão climática do Estado do Piauí ao cultivo de mandioca

Resumo

O cultivo da mandioca é de grande importância socioeconômica para o Estado do Piauí, sendo considerada como a principal fonte de carboidratos para as camadas mais necessitadas da população e fonte de renda para a agricultura de subsistência do Estado. Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho identificar as áreas de aptidão climática para a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no Estado do Piauí, em dois períodos distintos: o primeiro de 1980 a 2002 e o segundo de 2003 a 2018, além de verificar se ocorreu alguma modificação na distribuição espacial de regiões aptas ao cultivo desta cultura nas mesorregiões do Estado. Foram utilizados os dados da National Aeronautics and Space Administration (NASA/POWER). Foi realizado o cálculo da evapotranspiração e do Balanço Hídrico Climatológico, com os quais obteve-se o índice efetivo de umidade (Im), que foi interpolado utilizando o método IDW (inverso da potência da distância) pelo software QGIS 3.6.2. O Im foi utilizado como critério para a definição de zonas aptas climaticamente ao cultivo da cultura, pois sintetiza as exigências da cultura quanto à disponibilidade hídrica da região. Os resultados apontam que ocorreu redução nos índices de umidade no segundo período analisado e, com isso, houve mudança entre as áreas de aptidão, ocorrendo redução no Estado. Portanto, observou-se que o Estado possui aptidão para a cultura da mandioca apresentando, entretanto, um aumento na extensão das zonas de aptidão moderada por déficit hídrico, em decorrência da redução no índice de umidade.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*, balanço hídrico, índice de umidade.

1. Introdução

A região Nordeste do Brasil conta com um território de cerca de 121.911.200,0 ha dos quais, aproximadamente, 60.246.021,0 ha compõe uma área

denominada de polígono das secas, caracterizado pela ocorrência de chuvas irregulares e altas temperaturas, essas podem apresentar amplitude em torno de 6 °C (Ferreira e Mello, 2005). De acordo com dados do

IBGE (2011), nessa região há cerca de 53 milhões de habitantes. Essa área abriga 8 Estados, desde o Piauí até a Bahia, além de Minas Gerais (Ramalho, 2013).

O Estado do Piauí situa-se entre a região da Pré-Amazônia úmida e o Nordeste semiárido, sendo, dessa forma, uma zona de transição climática, apresentando características de ambas as regiões (Andrade Júnior et al., 2005). De acordo com Silva Filho (2010), o IBGE divide o Piauí em quatro mesorregiões, sendo elas: Norte, Centro-Norte, Sudeste e Sudoeste.

Os elementos climáticos, especialmente a temperatura e a pluviosidade, podem atuar restringindo o plantio, bem como, a condução de determinadas culturas em certas regiões, sendo assim, o zoneamento agroclimático surge como um importante mecanismo para a definição de áreas com maior ou menor risco climático, definindo assim as regiões que são mais indicadas para o cultivo desde que atendam à produtividade e rentabilidade econômica (Possas et al., 2012). Este dispositivo é um aparato que proporciona, ainda, a instituição de políticas de incentivo ao cultivo de determinada cultura em regiões de menor risco climático (Silva et al., 1995), permitindo o adequado ordenamento territorial, planejamento e execução de políticas públicas e de segurança agrícola, proporcionando o desenvolvimento sustentável da região (Andrade Júnior et al., 2009).

Assad e Pinto (2008) afirmam que são nove as culturas com maiores áreas plantadas do Brasil, sendo elas: arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja. A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família das Euforbiáceas, originária da América do Sul, provavelmente na região amazônica. É uma planta perene, arbustiva, que tem sua exploração em todo o território brasileiro (Cerada, 2008). Dentre suas características, enfatiza-se sua rusticidade, baixa exigência nutricional e tolerância à seca, além disso, destaca-se como possível solução para atenuar a falta de alimento em regiões áridas e que apresentam vulnerabilidade às mudanças climáticas (Jarvis et al., 2012; Rosenthal e Ort, 2012).

Este cultivo, constitui uma das principais fontes primárias de alimento a nível mundial (FAO et al., 2016), tem-se que aproximadamente 750 milhões de pessoas no mundo, dependem dessa cultura (Nhassico et al., 2008; Gabriel et al., 2014). No cenário mundial, o Brasil se enquadra como sendo um dos maiores produtores de mandioca, estando posicionado na quinta colocação do *ranking* com produção de aproximadamente 19 milhões de toneladas (FAO, 2017), das quais 25,1% correspondem à parcela do Nordeste (IBGE, 2017). Vale ressaltar que a prática majoritária do cultivo dessa cultura é realizada por pequenos agricultores,

em áreas menores e com baixa produtividade (Cerada, 2008).

A mandioca necessita de temperaturas superiores a 20 °C durante seu período vegetativo, sendo prejudiciais às temperaturas inferiores a 15 °C, e seu cultivo é indicado para a época posterior a seca nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (Cereda, 2007). De acordo com Assad e Pinto (2008), a mandioca se desenvolve melhor em áreas com solos profundos que apresentam boa aeração e capacidade de armazenar água.

Dentre as regiões do Brasil, o Nordeste deve sofrer graves perdas no que se refere ao cultivo da mandioca, em decorrência do aumento de temperatura, ocasionado pelo processo de aquecimento global, que deve levar a um forte aumento das áreas de alto risco de produção de mandioca no Semiárido e no Agreste nordestino, justamente onde a raiz possui maior significância, em termos de segurança alimentar (Assad e Pinto, 2008).

Diante do exposto, objetivou-se determinar e identificar as áreas de aptidão climática ao cultivo de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no Estado do Piauí, bem como mudanças no estabelecimento da cultura em dois períodos distintos

2. Material e métodos

O Estado do Piauí possui, ao longo de seu território, uma configuração climática de três tipos, os quais são classificadas, segundo Köppen, como: Aw – Clima tropical, Aw' – Tropical Úmido e BSh – Semiárido, sendo o tipo Aw' o mais chuvoso do Estado com média pluviométrica anual entre 1.000 mm e 1.800 mm (Medeiros, 1996).

Neste trabalho, devido à baixa cobertura de estações meteorológicas pertencentes ao Instituto de Nacional de Meteorologia (INMET) no Estado, foram utilizados os dados provenientes da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA/POWER), os quais são estimados a partir de sensores orbitais e algoritmos de transferência (Pinker; Laszlo, 1992) e, são disponibilizados a nível mundial. A plataforma pode ser acessada em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (Stackhouse, 2010). O banco de dados da NASA/POWER é utilizado em diversas partes do mundo, inclusive no Brasil, além disso, apresenta resultados satisfatórios e confiáveis quando comparados aos dados observados (White et al., 2011; Moeletsi e Walker, 2012; Monteiro et al., 2018).

Para análise dos dados meteorológicos, procedeu-se da divisão do Estado em suas mesorregiões, configurando, assim, quatro mesorregiões, sendo elas: Sudoeste Piauiense,

Sudeste Piauiense, Centro-Norte Piauiense e o Norte Piauiense.

Foram analisados os dados relativos a 82 municípios, onde cada um destes representa um ponto sobre o Estado (Figura 1). Coletou-se os dados relativos à temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Os respectivos dados de cada

município foram divididos em dois períodos: o primeiro de 1988 – 2002 e o segundo de 2003 – 2018. A partir desta separação, foram realizadas as médias diárias da temperatura do ar, e para a precipitação, realizou-se o somatório dos dados diários, seguindo-se da média mensal, sendo este processo realizado para os dois períodos.

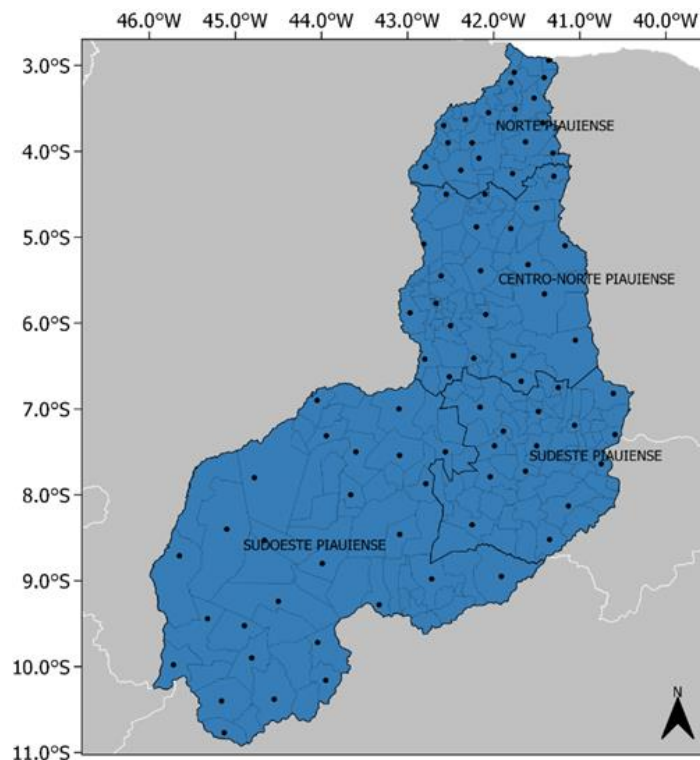


Figura 1 - Pontos de coleta de dados meteorológicos do Estado do Piauí.

Após a distribuição espacial dos pontos no Estado, procedeu-se a obtenção das médias mensais de temperatura do ar e precipitação, para cada ponto. A partir dos dados médios, procedeu-se o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) e a confecção do balanço hídrico mensal para cada município. A ETP foi calculada pelo método de Thornthwaite (1948), em razão da disponibilidade de dados e por ser mais recomendado para estudos que envolvem balanço hídrico climatológico (Sentelhas et al., 2008). Desse modo, realizou-se o balanço hídrico através da metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), através da planilha proposta por Rolim et al. (1998). A capacidade de armazenamento de água do solo (CAD) foi calculada, segundo adaptações na metodologia de Assad et al. (2001), a partir dos teores de areia, silte e argila de cada ponto. Esses teores foram obtidos, em planilhas do Projeto RADAN, a partir das coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto.

De posse dos dados relativos ao balanço hídrico, calculou-se, para cada município, o índice de efetivo de umidade (I_m) (Equação 1). Este índice foi utilizado como critério para classificação das zonas de aptidão para a cultura. A classificação de aptidão foi realizada conforme adaptação na metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2012) (Tabela 1).

$$I_m = \frac{100 * EXC - 60 * DEF}{ETP} \quad (1)$$

Onde: EXC – Excedente hídrico; DEF – Deficiência hídrica; ETP – Evapotranspiração potencial.

Para a confecção dos mapas de aptidão, os dados relativos ao Índice efetivo de umidade (I_m) foram interpolados utilizando o método IDW (inverso da potência da distância) pelo *software* QGIS 3.6.2 (QGIS Development Team, 2019).

Tabela 1. Critérios utilizados na avaliação de aptidão climática da cultura da mandioca.

Aptidão Climática	Im*
Aptidão moderada por excesso hídrico – dificuldade de colheita (AM+)	$Im \geq 40$
Aptidão plena, podendo apresentar período chuvoso prolongado (AP+)	$-10 < Im \leq 40$
Aptidão plena (AP)	$-35 < Im \leq -10$
Aptidão moderada por deficiência hídrica (AM)	$-45 < Im \leq -35$
Inaptidão por deficiência hídrica acentuada (IN)	$Im \leq -45$

*Índice efetivo de umidade.

3. Resultados e discussão

Na Figura 2, estão representadas as variações, nos dois períodos, das médias mensais de temperatura do ar e precipitação geral do Estado do Piauí. Com a análise das figuras, é possível observar que ocorreu um aumento de temperatura pouco superior a 0,5 °C nas zonas mais quentes e, salienta-se, ainda, que nas zonas mais frias ocorreram aumentos pouco maiores nos valores da temperatura.

Por outro lado, nas áreas mais chuvosas há a ocorrência de uma diminuição superior a 140 mm nos valores de precipitação geral, enquanto nas áreas mais secas a redução mais severa foi pouco superior a 110 mm.

Por outro lado, a agricultura, em decorrência de variações climáticas, está constantemente sujeita a riscos e insucessos, sendo a precipitação um dos elementos que pode apresentar grandes variações. Dentre os elementos climáticos, a precipitação pode apresentar grande variabilidade (Dantas; Carvalho; Ferreira, 2007). Marin e Nassif (2013) afirmam que a variabilidade e as mudanças climáticas causadas por processos naturais e por processos antrópicos devem afetar o processo de produção e a forma de vida humana, neste século. Gabriel et al. (2014) sustentam que um aumento na temperatura global influencia no ciclo de desenvolvimento da mandioca desde o estabelecimento da cultura, a partir da brotação de gemas, uma vez que a temperatura do solo está relacionada à temperatura do ar.

De acordo com Marengo (2008) nos cenários futuros, na região Nordeste aumentarão a frequência e a intensidade das secas e ocorrerá redução da

disponibilidade hídrica. Impactando sobre a vegetação, a biodiversidade e atividades que dependem dos recursos naturais. Neste espectro, o maior problema seria o aumento da seca e da falta de água na região podendo passar de semiárida para árida, afetando a alimentação, a sanidade e a saúde da população local.

O semiárido nordestino apresenta os mais expressivos índices de vulnerabilidade socioeconômica com significativa parte da população promovendo atividades agrícolas com baixo grau de tecnificação e elevada submissão da disponibilidade de recursos naturais. Assim, os possíveis abalos negativos sobre os recursos hídricos e suas consequências na agricultura de sequeiro, conseguirão comprometer a população da região (Angelotti; Fernandes Júnior; Sá, 2011).

Marengo e Valverde (2007) inferem que no semiárido nordestino a variabilidade climática, em especial as secas, têm sido sinônimos de aflições para as populações rurais do interior do semiárido nordestino e, sendo preocupação da sociedade e governo ao longo dos anos.

Os resultados apontam a existência de áreas de aptidão plena para o cultivo da mandioca (AP em todas as mesorregiões do Estado e áreas de aptidão plena podendo apresentar período chuvoso prolongado (AP+) nas mesorregiões Norte, Centro – Norte e Sudoeste, no período entre 1988 e 2002. Em contrapartida, as mesorregiões Norte Sudeste e Sudoeste apresentam zonas de aptidão moderada por deficiência hídrica (AM), no mesmo período (Figura 3), durante o mesmo período.

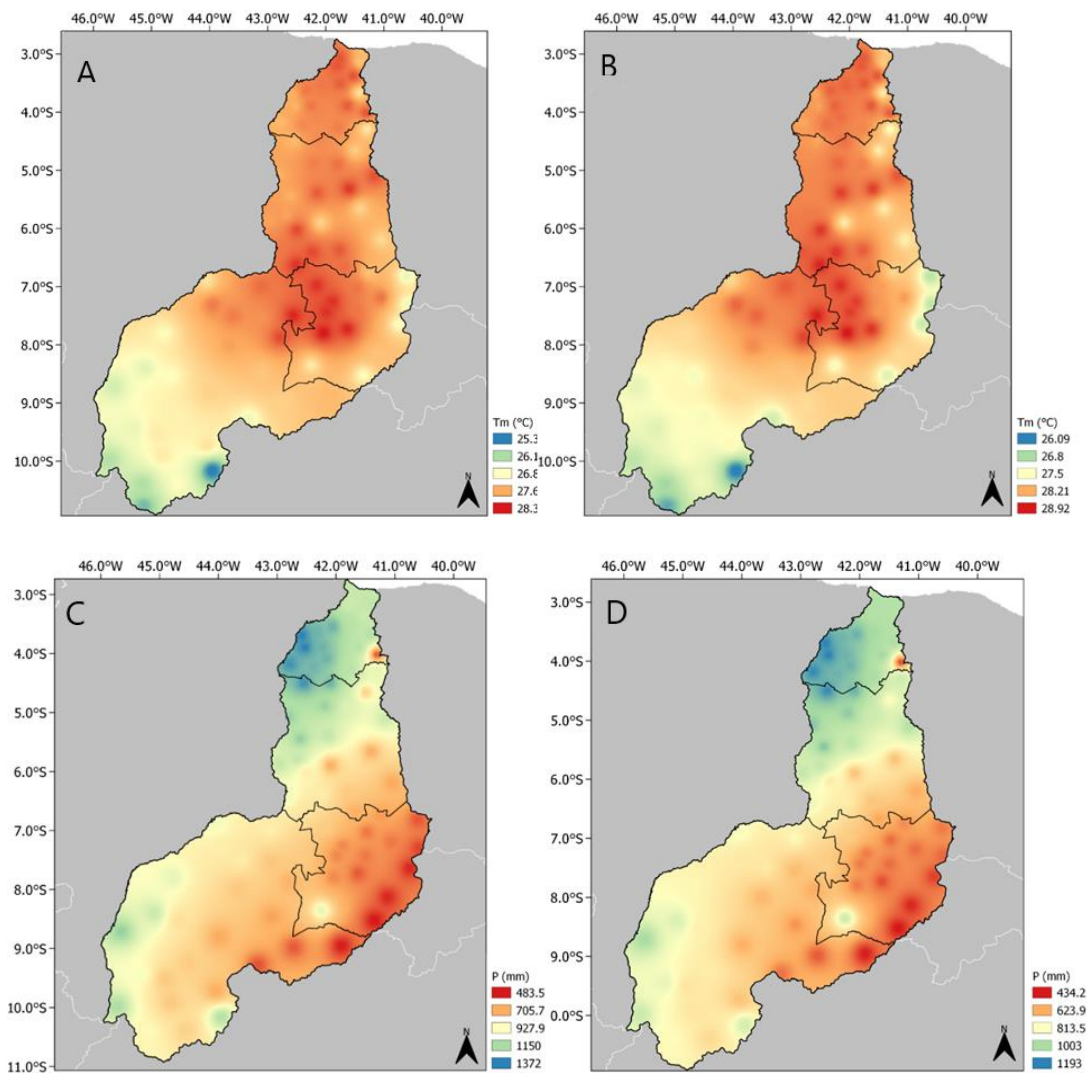


Figura 2- Médias mensais de temperatura do ar entre 1988 e 2002 (a), médias de temperatura do ar entre 2003 e 2018 (b), precipitação geral entre 1988 e 2002 (c) e precipitação geral entre 2003 e 2018 (d).

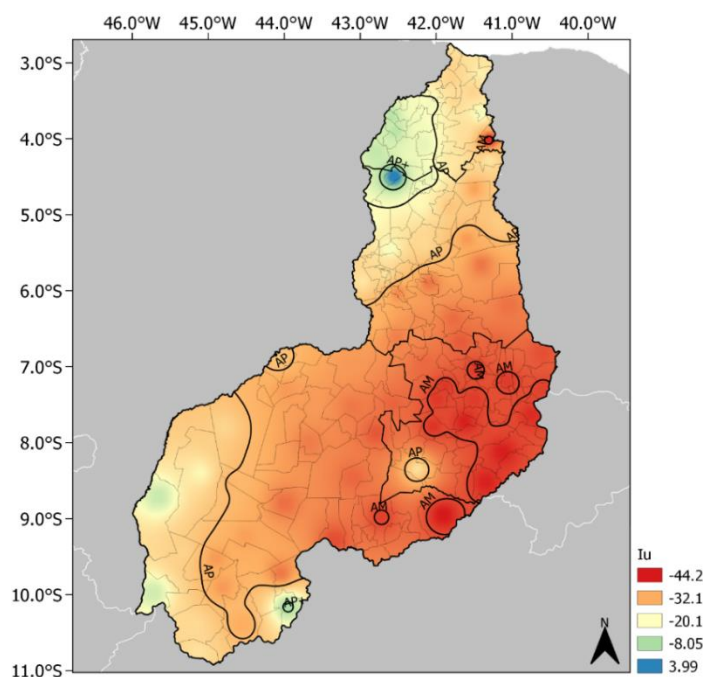


Figura 3- Áreas de aptidão ao cultivo de mandioca do Estado do Piauí no período 1988-2002.

Não foram identificadas na região áreas com aptidão moderada por excesso hídrico – dificuldade de colheita (AM+) ou de inaptidão por deficiência hídrica acentuada (IN), em nenhum dos dois períodos analisados.

Observando a Tabela 2, pode-se afirmar que a área com aptidão plena (AP) para a cultura da mandioca apresentou uma redução evidente, passando de 91,44%, para apenas 16,14%, entre os períodos analisados. Vê-se, também, que a área com aptidão plena, cuja característica é apresentar período chuvoso prolongado (AP+), desapareceu, ou seja, não há mais a presença de áreas com essa característica

no Estado. Porém, há um aumento considerável na área total das zonas de aptidão moderada, em decorrência da predominância de deficiência hídrica (AM), com essa área aumentando de 8,06% para 83,86%.

Assim, observa-se que o Estado apresenta aptidão ao cultivo da mandioca, porém com uma redução considerável nas áreas de aptidão plena (AP) e nas áreas de aptidão plena, podendo apresentar período chuvoso prolongado (AP+) (Figura 4). Esses fatos corroboram com o grande aumento nas áreas de aptidão moderada por deficiência hídrica.

Tabela 2. Áreas totais (em Km²) de aptidão plena, de aptidão podendo apresentar período chuvoso prolongado.

1988 - 2002				
Área total	Piauí	AP	AP+	AM
Km ²	251577,74	230044,27	1255,71	20277,8
%	100,00	91,44	0,50	8,06
2003 - 2018				
Área total	Piauí	AP	AM	
Km ²	251577,74	40598,15	210979,59	
%	100,00	16,14	83,86	

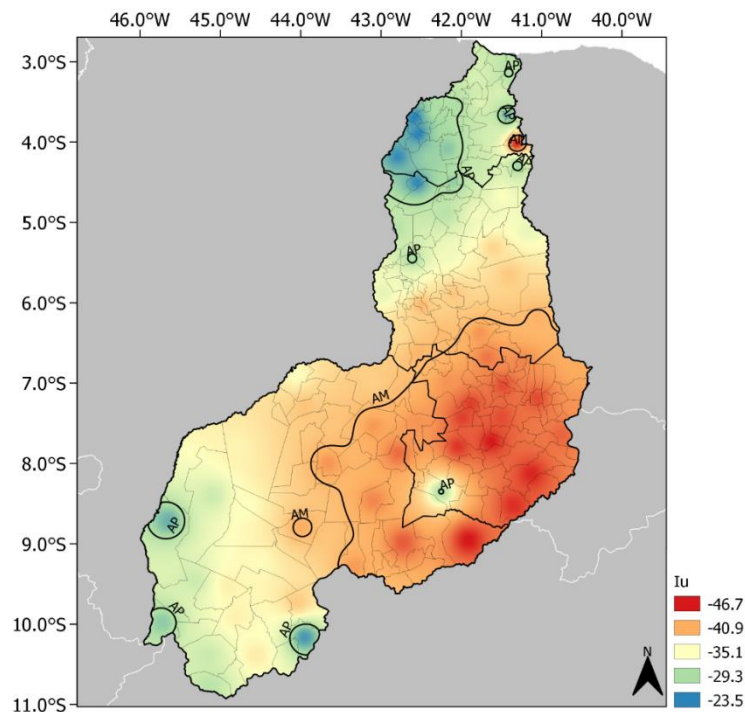


Figura 4. Áreas de aptidão ao cultivo de mandioca do Piauí no período 2003-2018.

Na Tabela 2, vê-se que a redução na área de aptidão plena, podendo apresentar período chuvoso prolongado (AP+) foi de 0,50%, este fato pode estar associado às variações climáticas, principalmente no

que se refere ao aumento na temperatura e redução na precipitação e, consequentemente, uma redução nos índices de umidade nos pontos que apresentavam esse tipo de aptidão. Essas alterações ambientais,

justificam, ainda, a redução de 75,3% na área de aptidão plena (AP) e o aumento de 75,8% na área de aptidão moderada por déficit hídrico (AM) do Estado. Esse aumento justifica que houve uma redução nos índices de umidade das regiões que antes possuíam aptidão plena podendo apresentar período chuvoso prolongado (AP+) e aptidão plena (AP).

Rufino e Silva (2017) afirmam que a variabilidade climática tem sido, com o decorrer dos anos, o principal gerador de alterações na produção global de alimentos nas regiões áridas e semiáridas dos países tropicais em desenvolvimento. Somado a isso, Martins e Vasconcelos Júnior (2017), afirmam que o clima da região Nordeste tem como principais influências a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico, e que a variabilidade nesses elementos propicia variação espacial e flutuações nos índices acumulados de precipitação. Desse modo, percebe-se que os aumentos na temperatura do ar seguidos de diminuições na precipitação pluviométrica local contribuem de forma negativa para as áreas de cultivo de mandioca, causando redução nas áreas de aptidão plena com período chuvoso prolongado (AP+) e de aptidão plena (AP), o que consequentemente proporciona um aumento na área de aptidão moderada por déficit hídrico (AM).

Nóbrega e Santiago (2016), inferem que as regiões semiáridas estão entre as mais vulneráveis às mudanças climáticas devido a poderem se tornar regiões áridas com o aumento da temperatura e mudanças na precipitação, propiciando alterações climáticas, fitogeográficas, práticas econômicas e sociais. Nessa perspectiva, entende-se que essa situação gera forte preocupação, uma vez que em consonância com Francisco et al. (2015), a produção agrícola no semiárido nordestino depende de forma expressiva da precipitação pluviométrica. Nys et al., (2016), apontam que apesar de a região Nordeste ter um longo histórico de combate às secas, é preciso que o Brasil caminhe para políticas proativas de combate aos impactos ocasionados pelas secas, uma vez que novos elementos estão somados a este cenário em justificativa do aumento da vulnerabilidade ambiental resultante dos processos de degradação e desertificação ocasionados por atividades insustentáveis de solo e água e, ainda, por mudanças climáticas regionais.

Apesar de a água ser um fator importantíssimo na produção das culturas (influenciando no desenvolvimento e na produtividade final das lavouras agrícolas), a mandioca se adapta a distintas condições de umidade de solo podendo receber quantidades inferiores a 800 mm de chuva por ano, uma vez que a tolerância ao déficit hídrico é uma das características mais importantes desta cultura. (Abreu et al., 2008).

Nessas condições, estima-se que a mandioca possui grandes possibilidades de se adaptar a região em estudo. No entanto, medidas de planejamento agrícola devem ser tomadas para que haja o desenvolvimento adequado da cultura.

Por outro lado, vê-se que as áreas de aptidão plena com período chuvoso prolongado (AP+) podem apresentar restrições ao cultivo da mandioca em decorrência do excedente hídrico. Sendo indicado, para essas áreas, o cultivo de mandioca nas épocas do ano de menor índice pluviométrico, uma vez que a cultura demanda baixo índice hídrico. Porém, culturas que apresentam maiores demandas hídricas e necessidade de temperaturas mais amenas não são indicadas para o Estado estudado.

4. Conclusão

Nos dois períodos avaliados o Estado do Piauí apresentou aptidão à cultura da mandioca. Houve um aumento nas áreas de aptidão moderada por déficit hídrico, ocasionado pela redução no índice de umidade proporcionado pelo aumento na temperatura do ar e redução da precipitação.

Referências

- Abreu, M.L., Bicudo, S.J., Brachtvogel, E.L., Curcelli, F., Aguiar, E.B., 2008. Interação genótipo ambiente na cultura da mandioca. *Revista Raízes e Amidos Tropicais* 4, 43-53.
- Andrade Júnior, A.S., Bastos, E.A., Barros, A.H.C., Silva, C.O., Gomes, A.A.N., 2005. Classificação climática e regionalização do semiárido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. *Revista Ciência Agronômica* 36, 143-151.
- Andrade Júnior, A.S., Bastos, E.A., Silva, C.O., 2009. Zoneamento de Aptidão Climática para a Videira Europeia no Estado do Piauí. *Embrapa Meio-Norte*, Teresina.
- Angelotti, F., Fernandes Júnior, P.I., Sá, I.B., 2011. Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro: Medidas de Mitigação e Adaptação. *Revista Brasileira de Geografia Física* 4, 1097-1111.
- Assad, E.D., Pinto, H.S., 2008. Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. *Embrapa*, São Paulo.
- Assad, M.L.L., Sans, L.M.A., Assad, E.D., Zullo JR., J., 2001. Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, 588-596.
- Cerada, M.P., 2008. Cultivo de Mandioca. *CPT*, Viçosa.
- Dantas, A.A.A., Carvalho, L.G., Ferreira, E., 2007. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 1862-1866.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2019. Cultivo da Mandioca para o Estado do Pará. Disponível: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_para/importancia.htm. Acesso: 25 jun. 2019.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. Disponível: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso: 25 jan. 2019.
- Ferreira, A.G., Mello, N.G.S., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 15-28.
- Francisco, P.R.M., Pereira, F.C., Brandão, Z.N., Zonta, J.H., Santos, D., Silva, J.V.N., 2015. Mapeamento da aptidão edáfica para fruticultura segundo o zoneamento agropecuário do Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 377-390.
- Gabriel, L.F., Streck, N.A., Uhlmann, L.O., Silva, M.R., Silva, S.D., 2014. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 90-98.
- Gabriel, L.F., Streck, N.A., Uhlmann, L.O., Silva, M.R., Silva, S.D., 2014. Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8, 90-98.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Censo Demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro.
- Jarvis, A., Ramirez-Villegas, J., Campo, B.V.H., Navarro-Racines, C., 2012. Is cassava the answer to African climate change adaptation? *Tropical Plant Biology* 5, 9-29.
- Lucena, L.R.R., Stosic, T., 2013. Temperatura do nordeste brasileiro via análise de lacunaridade. *Sigmae* 2, 76-80.
- Marengo, J.A., 2008. Água e mudanças climáticas. *Estudos avançados* 22, 83-96.
- Marengo, J.A., Valverde, M.C., 2007. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Multiciência* 8, 5-28.
- Marin, F., Nassif, D.S.P., 2013. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 232-239.
- Martins, E.S.P.R., Vasconcelos Júnior, F.C., 2017. O clima da Região Nordeste entre 2009 e 2017: monitoramento e previsão. *Parcerias Estratégicas* 22, 63-80.
- Medeiros, R.M., 1996. Isoietas médias mensais e anuais do Estado do Piauí. Teresina: Secretaria de Agricultura, Abastecimento e Irrigação - Departamento de Hidrometeorologia, 24.
- Moeletsi, M.E., Walker, S., 2012. Evaluation of NASA satellite and modelled temperature data for simulating maize water requirement satisfaction index in the Free State Province of South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 50, 157-164.
- Monteiro, L.A., Sentelhas, P.C., Pedra, G.U., 2018. Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. *International Journal of Climatology* 38, 1571-1581.
- Nhassico, D., Muquingue, H., Cliff, J., Cumbana, A., Bradbury, J.H., 2008. Rising African cassava production, diseases due to high cyanide intake and control measures. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88, 2043-2049.
- Nóbrega, R.S., Santiago, G.A.C.F., 2016. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande* 63, 9-26.
- Nys, E., Engle, N.L., Magalhães, A.L., 2016. Secas no Brasil: política e gestão proativas. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos- CGEE, Banco Mundial, Brasília.
- Pinker, R.T., Laszlo, I., 1992. Modeling surface solar irradiance for satellite applications on a global scale. *Journal of Applied Meteorology* 31, 194-201.
- Possas, J.M.C., Correa, M.M., Moura, G.B.A., Lopes, P.M.O., Caldas, A.M., Fontes Júnior, R.V.P., 2012. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-mansão no Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16, 993-998.
- QGIS, 2019. Development Team. Quantum GIS Software. Version 3.6.2. Disponível: <https://qgis.osgeo.org>. Acesso: 25 jun. 2019.
- Ramalho, M.F.J.L., 2013. A fragilidade ambiental do Nordeste brasileiro: o clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens. *Sociedade e Território* 25, 104-115.
- Rosenthal, D.M., Ort, D.R., 2012. Examining cassava's potential to enhance food security under climate change. *Tropical Plant Biology* 5, 30-38.
- Rufino, I.A.A., Silva, S.T., 2017. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: uma abordagem metodológica. *Boletim de Ciências Geodésicas* 23, 166-181.
- Sentelhas, P.C., Santos, D.L., Machado, R.E., 2008. Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. *Ambiente & Água* 3, 29-42.
- Silva Filho, L.A., 2010. Piauí: uma política de desenvolvimento. Comunigraf Editora, Recife.
- Silva, S.C., Assad, E.D., Lobato, E.J.V., Sano, E.E., Steinmetz, S., Bezerra, H.S., Cunha, M.A.C.,

- Silva, F.A.M., 1995. Zoneamento agroclimático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás. EMBRAPA/CNPAP/CPAC, Brasília.
- Stackhouse, P.W., JR., 2010. Prediction of worldwide energy resources. NASA, Washington. Available: <http://power.larc.nasa.gov/>.
- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.
- Thornthwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The water balance. Centerton: Drexel Institute of Technology. Laboratory of Climatology. *Publications in Climatology* 8, 1-104.
- White, J.W., Hoogenboom, G., Wilkens, P.W., Stackhouse, P.W., Hoel, J.M., 2011. Evaluation of satellite-based, modeled-derived daily solar radiation data for the continental United States. *Agronomy Journal* 103, 1242-1251.