



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO
E MEIO AMBIENTE



ANDRESSA DE OLIVEIRA CÂMARA

ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DE CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA EM
REGIÃO SEMIÁRIDA

JOÃO PESSOA

2020

ANDRESSA DE OLIVEIRA CÂMARA

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DE CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA EM
REGIÃO SEMIÁRIDA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Profº Dr. Bartolomeu Israel de Souza

JOÃO PESSOA

2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e

C172z Câmara, Andressa de Oliveira.

Zoneamento agroclimático de culturas de subsistência em
região semiárida / Andressa de Oliveira Câmara. - João
Pessoa, 2021.

63 f.

Orientação: Bartolomeu Israel de Souza.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/PRODEMA.

1. Agroclimático. 2. Aptidão climática. 3. Agricultura
de subsistência. 4. Geoprocessamento. I. Souza,
Bartolomeu Israel de Souza. II. Título.

UFPB/BC

CDU 631:551.58(043)

Classificação

Elaborado por ANNA REGINA DA SILVA RIBEIRO - CRB-15/024

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

FOLHA Nº 1/2021 - PRODEMA - MEST (11.01.14.50)

Nº do Protocolo: 23074.012483/2021-04

João Pessoa-PB, 12 de Fevereiro de 2021

ANDRESSA DE OLIVEIRA CÂMARA

ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO DE CULTURAS DE SUBSISTÊNCIA EM REGIÃO SEMIÁRIDA

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA - da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 27/02/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bartolomeu Israel de Souza - Orientador

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima - Examinador Interno

Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Anieres Barbosa da Silva - Examinador externo ao Programa

Universidade Federal da Paraíba

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 19:06)

**ANIERES BARBOSA DA SILVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 2141361**

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 15:51)

**BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 4201553**

(Assinado digitalmente em 17/02/2021 15:18)

**EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 338351**

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufpb.br/documentos/> informando seu número: **1**, ano: **2021**, documento (espécie): **FOLHA**, data de emissão: **12/02/2021** e o código de verificação: **56986e856f**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, que sempre esteve ao meu lado proporcionando muitas graças e bênçãos em minha vida.

À minha mãe Nilza, que nunca mediu esforços e investimentos em minha educação, e é a maior entusiasta das minhas conquistas.

Ao meu Pai Joel, por sempre fazer por mim o que estiver a seu alcance.

À minha irmã Amanda, a quem me espelho por sua garra e determinação, e que é sempre alguém com quem posso contar.

Ao meu orientador Bartolomeu, pela oportunidade concedida, pelos grandiosos ensinamentos, pela paciência e por toda confiança depositada.

À Rafael pela paciência com minhas ausências devido a esta pesquisa, e pelas suas contribuições ao trabalho.

Aos meus amigos que fiz durante o mestrado, Felipe, Larissa e Lorena, os quais compartilhei muitas conquistas, frustrações, momentos felizes, tristes e únicos, e são pessoas que quero levar por toda a minha vida.

Aos meus amigos Filipe, Flávia, Jessika, Manoel e Natalia, me acompanharam em muitas atividades acadêmicas ou não, e foram um grande apoio em meu aprendizado.

Aos demais alunos do curso de mestrado do “Prodema - turma 2018”, no qual tive a oportunidade de compartilhar muitos momentos em minha pós-graduação.

À Mônica, pela disponibilidade e valiosas contribuições, e por ceder gentilmente dados necessários para a construção dos resultados do trabalho.

A todos os professores e professoras do curso pelo conhecimento compartilhado.

À Universidade Federal da Paraíba, pela valiosa oportunidade de crescimento intelectual e moral.

Àqueles que porventura não foram citados e de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

No Semiárido brasileiro a agricultura dominante é a de subsistência, constituída de sistema de cultivo em sequeiro. Essa região possui alta variabilidade, tanto temporal como espacial de precipitação pluviométrica, comprometendo as safras agrícolas. Dessa forma, a necessidade de um bom planejamento rural é indispensável, principalmente para a prática de subsistência, que se objetiva em proporcionar segurança alimentar à população. As principais culturas de subsistência cultivada nessa região é o feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) e o milho (*Zea mays*). Porém, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) desponta como grande potencial agrícola para regiões com características semiáridas. Assim, objetivou-se nesse estudo elaborar e analisar o zoneamento agroclimático para estas principais culturas, da região da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba, que consiste na região com menor média de pluviosidade do Brasil, utilizando uma metodologia computadorizada e inédita que se baseia no método de Thornthwaite e Mather (1955) e na estimativa, por meio de equação, da capacidade de armazenamento do solo (CAD). Concluiu-se que o sorgo tem melhor aptidão climática para a área estudada, atingindo 81,23% de aptidão plena da área total, comparado a 49,78% e 0,00% do feijão e milho, respectivamente. Para as demais classes, atingiu-se o resultado de 0,01% para o feijão e 0,0% para o milho e sorgo na classe de aptidão moderada por excesso hídrico; 33,6% para o feijão, 0% para o milho e 2,34% para o sorgo na classe de aptidão plena, com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico; 3,03% para o feijão, 83,48% para o milho e 4% para o sorgo na classe de aptidão moderada por deficiência hídrica e; 15,52% para o feijão, 16,52% para o milho e 12,41% para o sorgo na classe de aptidão inapta. Todo o zoneamento foi realizado com banco de dados de conteúdo inédito e mais preciso do que outros trabalhos semelhantes feitos nessa mesma região.

Palavras-chave: Aptidão Climática. Agricultura de Subsistência. Geoprocessamento.

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, the agriculture which prevails is the one of subsistence, composed of a rainfed cultivation system. There is great variability of rainfall in this region, both temporal and spatial, which damages agricultural crops. Thus, the need for good rural planning is essential, especially for the practice of subsistence, which aims at providing food security for the population. The main crops of subsistence which grow in this region are *caupi* beans/cowpea (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.) and corn (*Zea mays*). However, sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) emerges as a great agricultural potential for regions with semi-arid features. Thereby, the objective of this study was to elaborate and analyze the agroclimatic zoning for these main crops, in the region of the upper course of the Paraíba River Basin, which consists of the region with the lowest average rainfall in Brazil, using an unprecedented computerized methodology, that is based on the method of Thornthwaite and Mather (1955) and on the estimation, through equation, of the soil storage capacity (CAD). It was concluded that sorghum has better climatic aptitude for the studied area, reaching 81.23% of full aptitude, compared to 49.78% and 0.00% of beans and corn respectively. For the other classes, the result was 0.01% for beans and 0.0% for corn and sorghum in the moderate aptitude class due to excess water; 33.6% for beans, 0% for corn and 2.34% for sorghum in the full aptitude class, with little likelihood of excess water; 3.03% for beans, 83.48% for corn and 4% for sorghum in the moderate aptitude class due to water deficiency and; 15.52% for beans, 16.52% for corn and 12.41% for sorghum in the inapt aptitude class. All zoning process was carried out with a database of unprecedented content and more accurate than other similar works done in the same region.

Key words: climatic aptitude, subsistence agriculture, geoprocessing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Grãos de feijão-caupi	18
Figura 2: Colheita de feijão-caupi	18
Figura 3: Produção de feijão-caupi na Paraíba	20
Figura 4: Lavoura de Milho.....	22
Figura 5: Colheita de milho	22
Figura 6: Produção de milho na Paraíba.....	24
Figura 7: Lavoura de sorgo granífero	26
Figura 8: Grãos de sorgo e algumas de suas diferentes colorações.....	26
Figura 9: Alimentos sem glúten feitos com sorgo (cookies, mini-pipoca, cupcakes)	27
Figura 10: Exemplo de geoprocessamento aplicado as características físicas e biofísicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba	34
Figura 11: Mapa de Localização do Alto Curso do Rio Paraíba	35
Figura 14: Mapas de Excedente Hídrico, para cada mês do ano, da região do Alto Curso do Rio Paraíba	46
Figura 15: Mapas de Déficit Hídrico, para cada mês do ano, da região do Alto Curso do Rio Paraíba	47
Figura 16: Mapa de aptidão climática para a cultura de feijão-caupí na região do Alto Curso do Rio Paraíba	48
Figura 17: Mapa de aptidão climática para a cultura de milho na região do Alto Curso do Rio Paraíba	48
Figura 18: Mapa de aptidão climática para a cultura de sorgo na região do Alto Curso do Rio Paraíba	49
Figura 19: Gráfico da porcentagem de área alcançada pelas culturas de feijão-caupi, milho e sorgo de acordo com as classes de aptidão climática.	51
Figura 20: Mapa de aptidão climática do Estado da Paraíba para as culturas do feijão-caupi, milho e sorgo, em cenário chuvoso. Fonte: Francisco & Santos (2018)	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Legenda utilizada para caracterizar os mapas de aptidão climática das culturas....	41
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela. 1: Nível de escolaridade do produtor de agricultura familiar do Semiárido da Paraíba (PB).....	16
Tabela. 2: Caracterização da população dos municípios que fazem parte da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba.	37
Tabela. 3: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do feijão-caupi.....	41
Tabela. 4: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do milho	41
Tabela. 5: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do sorgo	42
Tabela. 6: Resultados de área total e porcentagem de área alcançada pelas culturas de feijão-caupi, milho e sorgo de acordo com as classes de aptidão climática.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT - Alteração da umidade do solo

ARM - Umidade do solo

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

DEF - Déficit Hídrico

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETP - Evapotranspiração Potencial

EXC - Excedente Hídrico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Hipótese.....	14
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo Geral	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
3.1. Agricultura de Subsistência.....	14
3.2 Panorama das culturas agrícolas: aspectos socioculturais, socioeconômicos e exigências agroecológicas	18
3.2.1 Feijão-caupi (<i>Vigna Unguiculata</i> (L.) Walp.).....	18
3.2.2 Milho (<i>Zea mays</i> L.)	22
3.2.3 Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L.).....	26
3.3. Zoneamento das atividades agrícolas.....	30
3.3.1. Zoneamento Agroclimático	31
3.3.2. Geotecnologias aplicadas a zoneamentos.....	33
4. MATERIAL E MÉTODOS	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Regiões com características semiáridas são encontradas nas Américas, Oceania, Ásia e África. No continente sul-americano existem três grandes áreas semiáridas: Guajira, que se estende pela Venezuela e Colômbia e outra área que cobre parte da Argentina, Chile e Equador (LEMOS, 2015); a terceira área semiárida localiza-se principalmente na região do Nordeste brasileiro, além de uma pequena área na região Sudeste e, de acordo com Silva (2003), é o maior Semiárido do mundo em termos de dimensão territorial e quantidade de habitantes/área.

No Brasil, a Região Nordeste possui 1,56 milhão de km² (que equivale a 18,2% do território nacional), e abrange grande parte do Semiárido brasileiro. Com pluviometria máxima anual de 800 mm, uma média de 2.800 h.ano⁻¹ de insolação, 23 °C a 27 °C de temperaturas anuais médias, 2.000 mm.ano⁻¹ de evaporação média e com 50% de umidade média relativa do ar, aproximadamente. Nesse contexto, chama atenção a característica pluviométricas marcada pela insuficiência, acúmulo e irregularidade das chuvas em um breve período, de três a quatro meses em média, havendo escassez de água em seus mananciais, que não conseguem suprir a demanda exigida pela população. (SILVA et. al., 2010)

No Semiárido brasileiro a agricultura dominante é a de subsistência, constituída de sistema de cultivo em sequeiro, ou seja, um sistema agrícola que não utiliza a irrigação e que conta apenas com a água da chuva para que a cultura consiga completar seu ciclo. Assim, a população rural está constantemente diante de problemas como as estiagens prolongadas, que afetam diretamente a produção agrícola (CAMPOS, 2010).

A principal alternativa para os altos riscos de perdas de safra da agricultura de sequeiro nas regiões semiáridas, devido à alta variabilidade, tanto temporal como espacial de precipitação pluviométrica, é aproveitar da melhor forma as áreas que possuem um maior potencial agrícola, sob a perspectiva de solo e água, sendo racional na utilização dos recursos pedológicos e hídricos disponíveis, por meio do uso das culturas que possuem maior rentabilidade econômica (SILVA, 2012).

Dessa forma, é indispensável um planejamento rural capaz de garantir um bom aproveitamento das terras, que possa diminuir ou evitar danos ambientais e também melhorar o mercado do setor agrícola. Os produtos agrícolas que são mais frequentemente solicitados pelos órgãos públicos para esses tipos de avaliações e análises das terras, são

aqueles de subsistência que se objetivam em garantir a segurança alimentar da população e que fazem parte das opções nos programas sociais (EMBRAPA, 2012).

De acordo com Aguiar et al. (2000), o uso do zoneamento agroclimático representa um instrumento de valor para o planejamento adequado de uma lavoura mais econômica e tecnicamente bem-sucedida, de acordo com as exigências da cultura escolhida e o grau das tecnologias a serem empregadas. Gonçalves (2006) ressalta que o zoneamento agroclimático constitui na verificação e mapeamento de áreas de terras aptas, inaptas ou com alta potencialidade para o plantio de uma dada cultura, que seja por espécie ou cultivares com fundamento em critérios climáticos.

Para auxiliar a elaboração do zoneamento climático, existe o chamado geoprocessamento, que consiste em tecnologias que utilizam computadores e softwares para coletar, tratar, processar e modelar os dados e informações georreferenciados, as chamadas geoinformações (VOLPATO et al., 2008). Essa tecnologia permite caracterizar as condições do ambiente e do meio agrícola com maior exatidão, velocidade e menor custo.

No contexto de região e produção agrícola anteriormente exposto, o feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp), também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, e o milho (*Zea mays*), no Nordeste brasileiro, são as cultiváveis de subsistência mais exploradas, pois apresentam muita importância na base alimentar dos habitantes que lá vivem, principalmente as de baixa renda, pois garante um alimento rico em aspectos nutritivos e, dessa forma, é um componente essencial da dieta alimentar, o que gera também na zona rural e urbana, emprego e renda (LIMA et al., 2007).

Porém, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. (Moench)) mostra-se com grande capacidade de adaptação para regiões de clima semiárido, já que a espécie possui características botânicas que lhe confere melhor resistência a estresses hídricos e principalmente maior tolerância a situações de falta d'água (BERENJI et al., 2011). Esse cereal é utilizado como base alimentar em vários países da Ásia e da África e também como fonte para produção de bebidas alcoólicas, entretanto, no Brasil, o seu uso ainda é muito escasso e não atinge níveis significativos.

Diante do que foi exposto, o estudo contemplará a elaboração e análise do zoneamento agroclimático da região da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba, que consiste da região com menor média de pluviosidade do Brasil, para as culturas supracitadas, como forma de auxiliar uma melhor convivência entre o homem e as adversidades climáticas da região.

1.1 Hipótese

O sorgo apresenta melhor potencial de desenvolvimento que culturas tradicionais na região do Alto Curso do Rio Paraíba - PB.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o potencial de desenvolvimento da cultura do sorgo e comparar a culturas tradicionais no Alto Curso do Rio Paraíba – PB.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a aptidão climática para as culturas de milho, feijão e sorgo para o clima atual;
- Identificar qual cultura tem uma maior adaptabilidade às características climáticas da região em estudo;
- Comparar os resultados obtidos com os resultados de aptidão climática de outros estudos já realizados na mesma área.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Agricultura de Subsistência

Nos estudos da agricultura, o termo subsistência pode ser empregado de acordo com os seguintes aspectos: a) produtos de origem agrícola ou outros materiais que são produzidos e consumidos no mesmo estabelecimento agrícola em que foi produzido, ou seja, não ocorre movimentação no comércio nem qualquer outra atividade que envolva a prática mercantil; b) culturas agrícolas (alimentícias ou não) produzidas nos estabelecimentos de produção familiar e fornecidas aos centros urbanos; c) junção das atividades agrícolas ou não, realizadas pelos membros da família residente em área rural, com o objetivo de suprir as necessidades de consumo (LIMA, 2010).

Diante disso, o termo subsistência não pode ser interpretado somente como produção de autoconsumo, isto é, associado apenas às necessidades básica alimentares, mas também como atividades que asseguram o desenvolvimento social e físico do indivíduo. Dessa forma, a prática da atividade agrícola de subsistência está correlacionada

não só ao autoconsumo, como também ao comércio que visa suprir as necessidades da família, apresentando produções e relações ligadas à lógica de mercado simples, as quais proporcionam aos produtores seu desenvolvimento, sem o mercado ser colocado como centro (COELHO, 2014).

A prática da agricultura de subsistência pode ser exercida por pequenos agricultores, ou por famílias, ou por comunidade. Esta prática tem como principais características a utilização de pequenas áreas, uso de técnicas tradicionais de cultivo, e produção em pequenas quantidades.

Em áreas dependentes de chuva, como é o caso do Semiárido Nordeste, a prática da agricultura, constituída de sistema de cultivo em sequeiro, sempre teve muita relevância quando relacionada à alimentação humana ou animal, especialmente em locais ocupados por estabelecimentos de base familiar, caracterizando uma predominância da prática da agricultura familiar que se baseia em garantir a subsistência dos produtores (NETO & SILVA, 2019).

O Decreto nº 9.064, de 31 de maio de 2017, define a Unidade Familiar de Produção Agrária como:

o conjunto de indivíduos composto por família que explore uma combinação de fatores de produção, com a finalidade de atender à própria subsistência e à demanda da sociedade por alimentos e por outros bens e serviços, e que resida no estabelecimento ou em local próximo a ele.

De acordo com o Censo Agropecuário 2017, o mais recente realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o Semiárido brasileiro possui um total de 1.446.842 unidades de estabelecimentos de agricultura familiar, representando 78,82% dos estabelecimentos agrícolas totais dessa região. Já no Semiárido paraibano, há um total de 109.688 unidades de estabelecimentos de agricultura familiar, representando, aproximadamente, 77% dos estabelecimentos agrícolas para essa área. Esses dados mostram a relação majoritária que ocorre entre a agricultura familiar e a produção agrícola da região.

O grau de escolaridade dos proprietários rurais tem um papel significativo na gestão e organização das atividades agrícolas e pecuária, já que a baixa escolaridade implica no baixo progresso sócio territorial, interfere na capacidade de compreensão da população nos processos sociopolíticos, dificulta o grau de exigência na melhoria das condições de vida, limita a qualificação profissional e dificulta o uso de instrumentos de

participação e de cidadania. Dessa forma, na Tabela 1 encontra-se a caracterização do nível de escolaridade dos produtores dos estabelecimentos de agricultura familiar, na região do Semiárido da Paraíba, que foi realizada também pelo IBGE em seu Censo Agropecuário 2017. É possível percebermos que mais de 92% dos produtores agrícolas não conseguiram concluir ou alcançar o nível médio. Essa carência educacional da maioria dos produtores pode interferir forma negativa nos processos de comercialização e implementação de novos sistemas e culturas agrícolas.

Escolaridade do produtor de agricultura familiar do Semiárido da Paraíba (PB)	
Nunca frequentou escola	25.819
Classe de alfabetização - CA	29.371
Alfabetização de jovens e adultos - AJA	3.320
Antigo primário (elementar)	20.926
Antigo ginásial (médio 1º ciclo)	3.107
Regular do ensino fundamental ou 1º grau	17.432
EJA - educação de jovens e adultos e supletivo do ensino fundamental ou do 1º grau	368
Antigo científico, clássico, etc. (médio 2º ciclo)	619
Regular de ensino médio ou 2º grau	6.721
Técnico de ensino médio ou do 2º grau	471
EJA - Educação de jovens e adultos e supletivo do ensino médio ou do 2º grau	179
Superior - graduação	1.289
Mestrado ou doutorado	66
TOTAL	109.688

Tabela. 1: Nível de escolaridade do produtor de agricultura familiar do Semiárido da Paraíba (PB)

Apesar da influência climática na produção da agricultura de sequeiro do Semiárido, baseado em sua maioria na tipologia de agricultura familiar de subsistência, é preciso levar em consideração outros fatores de produção que também mantêm a baixa produtividade quando comparado a outras regiões como o próprio Cerrado Nordeste. Isto quer dizer que a tecnologia utilizada, e as condições sociais e institucionais, não são muito vantajosas para o desenvolvimento da atividade agrícola. Fatores como a baixa porcentagem de produtores que tiveram acesso à assistência técnica, a baixa utilização de adubação, restritos recursos para investir na melhoria do manejo têm mantido o agricultor do Semiárido nordestino num constante processo de reprodução da pobreza. Também, a baixa capacidade técnica dos sistemas produtivos e poucos recursos para investimento agrava esta problemática com os períodos de seca prolongada. Isto revela que as políticas

para o desenvolvimento do Semiárido são restritas e contemplam mais os aspectos produtivos de fruticultura irrigada, mantendo a agricultura de sequeiro submetida tanto a variabilidade climática como também a restrição de acesso a políticas que são direcionadas para o aperfeiçoamento dos sistemas produtivos (PEREIRA, 2019).

Como principais culturas cultivadas pela agricultura familiar, em áreas dependentes de chuva (sistema de cultivo em sequeiro), como é o caso do Semiárido paraibano, tem-se as seguintes culturas temporárias (aquelas sujeitas ao replantio após a colheita): o algodão (*Gossypium hirsutum* L.), a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), o milho (*Zea mays*) o amendoim (*Arachis hypogaea*), a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (em áreas limitadas a baixos espaços úmidos ou em barragens subterrâneas), o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), e o sorgo (*Sorghum bicolor*). É comum essas espécies ocuparem a maioria das terras cultiváveis em áreas que são dependentes da pluviosidade, variando em tamanho de acordo com a quantidade de sementes, o quão necessário é o produto, o preço no mercado ou mesmo a qualificação do agricultor (NETO & SILVA, 2019).

Para o semiárido paraibano, o Censo Agropecuário 2017 mostra que, dentre as espécies mencionadas acima, o milho e o feijão-caupi representam juntos 64,27% do total de hectares utilizados para a produção de culturas temporárias realizada pela agricultura familiar na região. E, tratando-se dessas unidades de estabelecimentos agropecuários, essas culturas representam 53,7% do total de unidades, enquanto que o sorgo, apesar de possuir características mais adaptáveis a região, representa apenas um total de 0,04%.

Por serem as principais culturas cultivadas no semiárido paraibano, o feijão e o milho serão objetos de estudo deste trabalho, assim como o sorgo, devido a possibilidades do seu uso nesse tipo de ambiente.

3.2 Panorama das culturas agrícolas: aspectos socioculturais, socioeconômicos e exigências agroecológicas

3.2.1 Feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.)

Figura 1: Grãos de feijão-caupi



Fonte: Góes, 2013

Figura 2: Colheita de feijão-caupi



Fonte: Ribeiro, 2017/ EMBRAPA Imagens

O feijão-caupi, entre as espécies cultiváveis, é uma das leguminosas mais versáteis, adaptadas, e com alto valor nutricional, sendo alimento essencial e elemento

importante dos sistemas produtivos das regiões que sofrem com a escassez hídrica, regiões estas que envolvem parte da Ásia, Américas Central e do Sul, Oriente Médio e Estados Unidos, (SINGH et al., 2002).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, é a base da alimentação dos habitantes das zonas rural e urbana, sendo essencial não só como alimento, mas também como gerador de emprego e renda. É uma cultura que consegue se desenvolver nos mais diferentes tipos de solo e consegue responder bem a simples tratos, como a capina. Nos últimos anos, o feijão-caupi adquiriu maior notoriedade nos sistemas de produção agrícola; suas sementes encontram-se na lista base de entidades governamentais para distribuição, e têm tido uma boa produtividade entre agricultores familiares, sendo um produto de bom valor no mercado em boa parte do ano. O baixo custo e a possibilidade de bons rendimentos são os principais atrativos para o cultivo desta leguminosa (NETO & SILVA, 2019).

Também conhecido como feijão-macassar ou feijão-de-corda, essa leguminosa possui relevância socioeconômica no cenário da produção agrícola do Brasil, tanto em relação a sua extensão em área cultivada, como no baixo custo na oferta de proteína vegetal, principalmente para as classes que possuem uma menor renda financeira (SANTOS et al., 2017).

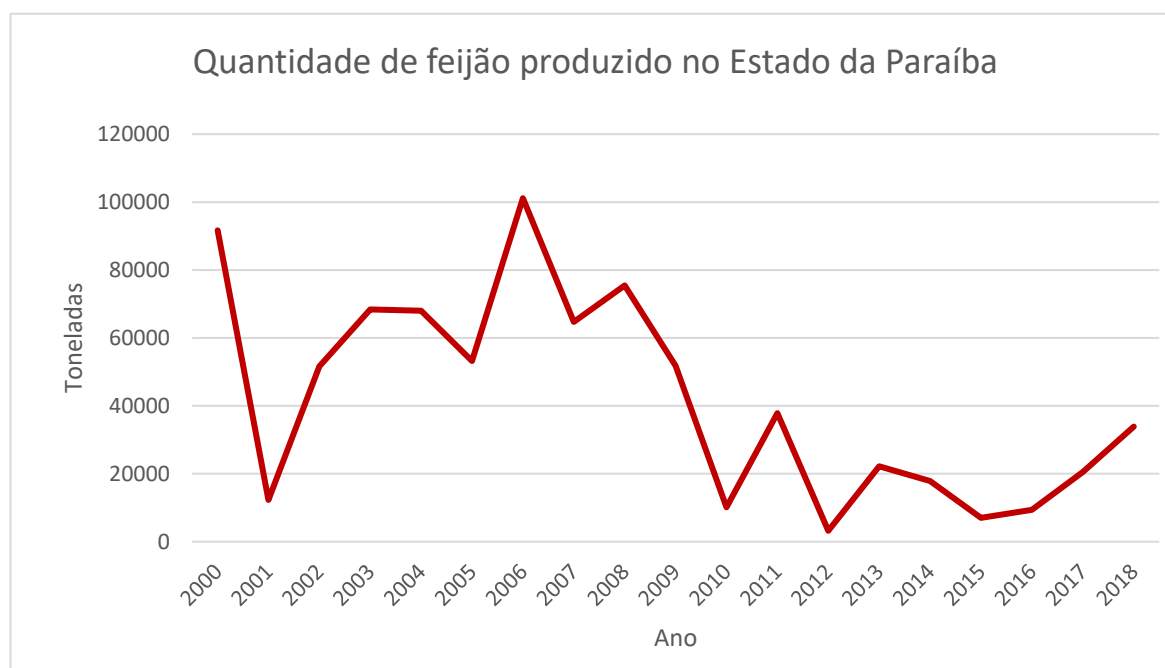
Pelo seu valor nutricional, o feijão-caupi é mais cultivado para produzir grãos, sejam secos ou verdes, e são utilizados na alimentação humana tanto de forma natural, como em conserva ou desidratado. Além disso, esse tipo de feijão também pode ser utilizado para alimentação animal na forma de forragem verde, farinha, feno, e além disso, como adubo. (EMBRAPA, 2003)

O feijão-caupi é a cultura de subsistência mais produzida nas regiões Norte e Nordeste do Brasil (SANTOS, et al, 2017), com predomínio nas áreas semiáridas, que devido às suas características climáticas - com irregularidades de chuvas e altas temperaturas - não conseguem desenvolver outras culturas de leguminosas de forma satisfatória (LIMA et al., 2007).

O feijão é cultivado em todas as microrregiões do Estado da Paraíba. Em 2018, sua produção teve um total de área plantada de 96.393ha, área colhida de 90.713ha, produção de 33.878 toneladas/ano, rendimento médio de 373 kg/ha, e um valor de produção de 57.136.000 reais para todo o Estado. Todos esses dados representam, comparado a todas as culturas agrícolas cultivadas na Paraíba, 25,51% da área plantada, 25,03% da área colhida e 4,45% do valor de produção (IBGE, 2019).

Apesar dessa produção, observamos que ao longo do tempo essa cultura oscila de forma substancial, conforme pode ser observado na Figura 3, tendo como razões questões ligadas ao mercado, mas principalmente aspectos relativos ao clima, particularmente a existência de regularidade na ocorrência das chuvas, característica pouco frequente em se tratando de regiões semiáridas, associada ao longo período de estiagem dominante mais recentemente entre os anos 2011 a 2017 no semiárido brasileiro.

Figura 3: Produção de feijão-caupi na Paraíba



Fonte: adaptado de IBGE (2019)

Dentre os aspectos climáticos que interferem no ciclo vegetativo e na produção da cultura do feijão, a precipitação e temperatura possuem maior relevância. A cultura do feijão-caupi necessita de 300mm de precipitação, no mínimo, para que tenha uma produção satisfatória, sem que seja preciso utilizar práticas de irrigação. As regiões consideradas aptas para a implantação da leguminosa, precipitação alterna entre 250 e 500 mm anuais. Porém, as limitações ligadas às questões hídricas estão mais associadas na forma como são distribuídas as chuvas do que pelo total de precipitação ocorrida no período (RIBEIRO, 2002).

Ligeiros déficits hídricos, ocorridos na fase inicial do ciclo vegetativo da cultura, podem acabar estimulando a uma maior evolução radicular das plantas. Porém, se anterior e próximo ao florescimento ocorrer estresse hídrico, pode acarretar em uma retração severa do crescimento vegetativo, diminuindo o rendimento da produção (ELLIS et al., 1994; FANCELLI & DOURADO NETO, 1997).

Em relação a temperatura, as médias mensais entre 22 e 25° constituem uma ideal faixa térmica para o bom desenvolvimento do feijão-caupi durante o seu ciclo vegetativo. Quando a leguminosa é sujeita a altas temperaturas ocorre a redução do pegamento floral durante o seu florescimento, comprometendo a floração e o produto final. Temperaturas baixas, no caso inferiores a 19°C, influenciam diretamente e comprometem o rendimento da produção da cultura, dando espaço a um aumento no período do ciclo vegetativo e atrasando o florescimento; já para temperaturas que superam os 35 °C, ocorre o aborto espontâneo das flores, ocasionando a retenção das vagens na planta e, consideravelmente, diminui o número de sementes por vagem (CAMPOS, 2010).

Tratando-se dos solos compatíveis com o bom desenvolvimento da cultura, o feijão-caupi consegue ter um bom desenvolvimento em quase todos os tipos de solo, como por exemplo Neossolos Flúvicos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos. Genericamente, desenvolve-se em solos que possuem um teor de matéria orgânica disponível de forma regular, com característica física leve, solta e profunda, arejada e com média a alta fertilidade. Todavia, outros solos como Neossolos Quartzarenicos e Latossolos com baixa fertilidade podem ser utilizados intervindo com o uso de fertilizantes químicos e/ou orgânicos (RIBEIRO, 2002).

3.2.2 Milho (*Zea mays L.*)

Figura 4: Lavoura de Milho



Fonte: Brito, 2016 / EMBRAPA Imagens

Figura 5: Colheita de milho



Fonte: Xavier, 2016/ EMBRAPA Imagens

O milho (*Zea mays L.*) é a cultura agrícola mais produzida no mundo, sendo a única em ter alcançado uma produção de mais de 1 bilhão de toneladas. Simultaneamente à sua importância produtiva, a cultura ainda se evidencia pelos seus mais variados usos. Segundo estimativas, há mais de 3.500 aplicações para este cereal. Além da expressiva importância no âmbito da segurança alimentar, inúmeros produtos podem ser produzidos com o milho, tais como polímero, bebidas, combustíveis, etc. (MIRANDA, 2018).

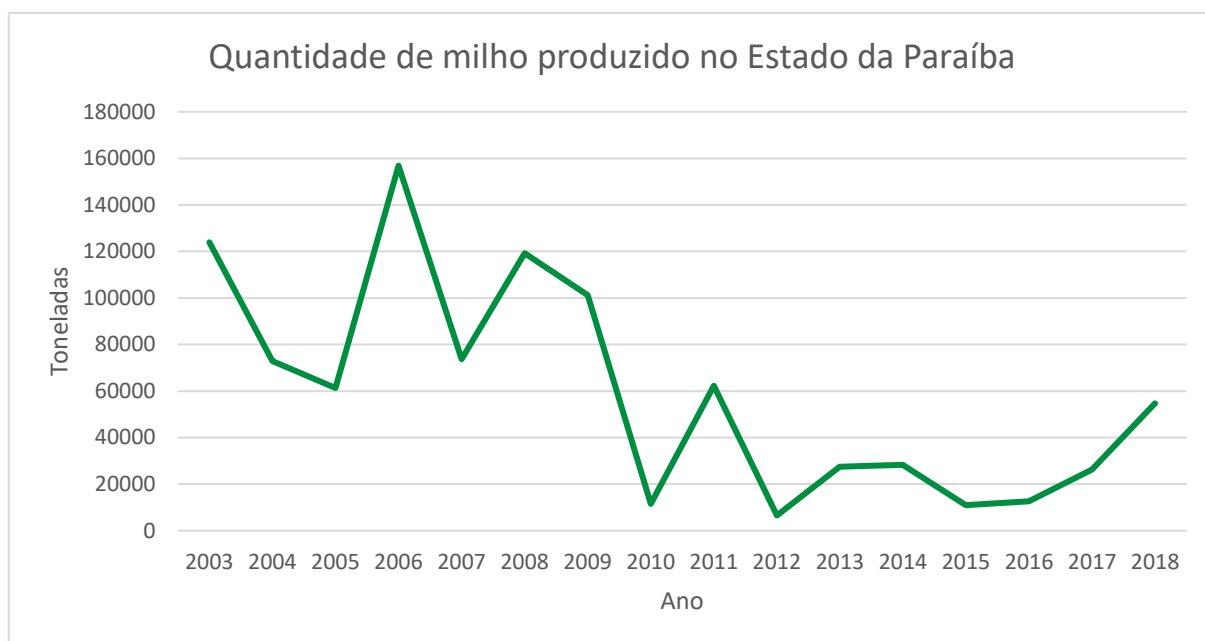
No Brasil, a produção do milho tem sido realizada sob condições ambientais distintas, variando entre regiões quentes até regiões frias, com baixas latitudes e altitudes, gerando diferentes potencialidades de rendimento produtivo. O cultivo de verão, também denominado primeira safra, é o semeio concentrado na primavera/verão e predomina na maioria das regiões produtoras, com exceção das regiões Norte e Nordeste, em que, pela época de maior concentração de chuvas ser a partir do mês de janeiro, o período de semeadura é denominado segunda safra (CONTINI, 2019).

As condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro permitem, com algumas limitações, o desenvolvimento do milho em toda a sua extensão. Em estabelecimentos em que o proprietário possui baixo poder aquisitivo, principalmente em regiões como a do semiárido nordestino, o consumo do milho tem importância na subsistência, servindo diretamente como fonte de energética alimentar (ARTUZO et al., 2019).

Nas regiões agrícolas do Semiárido, o milho é uma cultura ainda muito presente. Mesmo com o alto risco de perda de safra, muitos produtores agrícolas ainda insistem em continuar com a produção de espigas para alimentação humana. Se não houver a possibilidade de produção de espigas, a palha ou o resto da cultura pode ser aproveitado como ração para animais. Essa prática ainda se mantém entre os agricultores do Semiárido, fortalecendo mais ainda o milho como uma cultura muito representativa e importante em quase toda a região nordestina (NETO & SILVA, 2019).

Na Paraíba, em 2018, a produção de milho teve um total de área plantada de 100.290ha, área colhida de 91.265ha, produção de 54.748 toneladas/ano, e rendimento médio de 600kg/ha, e um valor de produção de 41.204.000 reais para todo o Estado (IBGE, 2019).

Figura 6: Produção de milho na Paraíba



Fonte: Adaptado de IBGE (2019)

Principalmente nos anos de seca, cai o rendimento produtivo do milho, submetendo a colheita da safra (especialmente dos grãos) a altos riscos. Na Figura 6, está apresentado a quantidade de milho, em tonelada, produzido pelo Estado da Paraíba durante os últimos 15 anos. Pode-se observar, por exemplo, que, em 2012, período em que iniciou-se uma das secas mais severas dos últimos 100 anos, tem-se a menor quantidade de milho produzido. E, assim como o feijão, houve uma redução considerável de toneladas de milho produzidas durante a estiagem dominante mais recentemente entre os anos 2011 a 2017.

A cultura do milho exige a relação de um conjunto de fatores pedoclimáticos (solo e clima) apropriados para o seu desenvolvimento satisfatório. Quando tratamos de fatores climáticos que afetam a produção do milho, os que possuem maior influência sobre a cultura são a radiação do sol, a temperatura e a precipitação. Estes fatores agem de forma eficiente nas atividades físicas e biológicas, interferindo na produção de grãos e de matéria seca de forma direta (ALVES et al., 2010).

A radiação solar é um dos parâmetros de muita relevância para a cultura do milho, sem a qual a atividade fotossíntese é impedida e a planta é incapaz de mostrar o seu maior rendimento de produção, reduzindo a eficiência da produção. 90% da matéria seca do milho advém da fixação de CO₂ pela fotossíntese. E por ser uma planta do grupo C₄, é bastante eficiente na utilização da luz. A intensidade luminosa reduzida de 30% a 40%,

por longos períodos, retarda a maturação dos grãos ou pode acarretar até mesmo na queda na quantidade produzida (CRUZ et. al., 2006).

Em relação a temperatura, a faixa compreendida entre 24 e 30°C é a ideal para o crescimento do milho, da emergência à floração. Médias de temperaturas diurnas de 25°C, 21°C e 18°C, quando comparadas, observou-se que na temperatura de 21°C o milho teve maior quantidade de matéria seca e maior produtividade. O curto período de tempo para o enchimento de grãos justifica a queda do rendimento produtivo sob elevadas temperaturas, já que reduz o ciclo da planta (CRUZ et. al., 2006).

Segundo a Embrapa (2004), 350 a 500 é o mínimo de chuva que o milho necessita por ciclo. Quantidades menores exigem a utilização da prática de irrigação, sendo que a pluviosidade ideal varia entre 500 a 800 mm. Caso não seja fornecida à planta a quantidade de água necessária, o déficit hídrico ocorre. Para a cultura do milho, as fases do ciclo que são mais sensíveis ao déficit hídrico são a iniciação floral, a floração e o início do desenvolvimento dos grãos (BERGAMASCHI e MATZENAUER, 2014).

Tratando-se dos solos, os tipos mais indicados para a cultura do milho são aqueles com textura média, com 30-35% de teores de argila ou podem ser argilosos com boa estrutura, a exemplo dos latossolos, que permitem drenagem adequada, e retém de forma satisfatória a água e os nutrientes disponíveis para as plantas; os de profundidade acima de 1 metro; e os de topografia plana e suave, com declividade até 12% (MATOS et. al. 2007).

Diante de um panorama que mostra a grande possibilidade de perdas ou frustração de safras, como apresentado na Figura 6, a cultura do milho torna-se uma cultura, tecnicamente, menos indicada a ser plantada em áreas que dependem da chuva na Paraíba. Mesmo assim, nessa região, apesar do uso restrito das tecnologias desenvolvidas e disponíveis, os produtores agrícolas insistem em plantar essa espécie movidos a uma tradição que envolve aspectos religiosos e culturais. Dessa forma, o milho mantém-se presente nas opções de cultivo, em escala menor comparado ao passado (principalmente quando surgem no mercado opções de cultura que se adaptam melhor a essas condições do clima), mas sendo ainda a espécie que primeiro é procurada, junto com o feijão, pelos agricultores de base familiar quando acontecem as primeiras chuvas (NETO & SILVA, 2019).

3.2.3 Sorgo (*Sorghum bicolor* L.)

Figura 7: Lavoura de sorgo granífero



Fonte: Brito, 2017/ EMBRAPA Imagens

Figura 8: Grãos de sorgo e algumas de suas diferentes colorações



Fonte: May, 2015/ EMBRAPA Imagens

Figura 9: Alimentos sem glúten feitos com sorgo (cookies, mini-pipoca, cupcakes)



Fonte: Carvalho, 2014/ EMBRAPA Imagens

O quinto cereal mais importante do mundo é o sorgo (*Sorghum bicolor L.*), ultrapassado apenas por trigo, arroz, milho e cevada. Seus grãos podem ser encontrados em 30 países como base alimentar para mais de 500 milhões de pessoas. Para alimentação animal, ele pode substituir o milho, em parte na produção de rações suínos e aves e em totalidade para ruminantes, com o benefício de ter uma menor despesa de produção e bom valor de comércio, assim como, poder substituir outros cereais que também são utilizados para fabricar rações e alimento para a população humana, tais como o farelo de arroz e o trigo (DUARTE, 2012).

O gênero *Sorghum* abrange todos os sorgos de interesse comercial, independente da morfologia e finalidade de sua utilização, e são reconhecidos pelo menos cinco tipos agronômicos de sorgo no mercado de sementes da maioria dos países produtores, incluindo o Brasil. Estes são o granífero (de baixo porte, adaptado à colheita mecânica), corte e pastejo, forrageiro (utilizado em pastos e produção de feno), sacarino (de porte alto, bom para silagem, que é um método de conservação de alimentação animal a partir da fermentação láctica, e como alternativa para produção de açúcar e álcool), e biomassa (destinado à produção de energia) (BORÉM et al., 2014).

Cresceu o interesse por esse cereal para alimentação humana em virtude do mesmo ser considerado fonte potencial de nutracêuticos (apresentam benefícios a saúde), além de não possuir glúten, podendo ser uma possibilidade de substituição para o trigo na produção de alimentos (DICKO et al., 2005; ROONEY, 2007). Como uso alimentar direto, os grãos inteiros de sorgo podem ser utilizados como cereal cozido, em produtos extrusados e em outros produtos à base de cereal, como pães, biscoitos e massas, como substitutos parciais ou totais. Já o farelo de sorgo pode ser utilizado para complementar

as fibras em diversos produtos alimentícios, sem alterar os atributos sensoriais (QUEIROZ et al., 2009).

Em vários países da Ásia e da África o grão de sorgo é utilizado como base alimentar e também como fonte para produção de bebidas alcoólicas, entretanto, no Brasil, o seu uso ainda é muito escasso e não atinge níveis significativos. Os grãos de sorgo são fontes de energia importante e, em alguns países de clima tropical, são capazes de substituir o milho. É a cultura que tem mais possibilidades de solucionar o problema da segurança alimentar de muitas populações de baixa renda, inclusive as que vivem no Semiárido brasileiro (NETO & SILVA, 2019).

Em termos de prática agrícola, o sorgo traz benefícios que o tornam atrativo quando comparada à do milho e feijão, como: ser capaz de suportar as condições de estresse hídrico; permitir que mais meses possam garantir uma boa época de plantio sem que a produtividade sofra drasticamente, comparado a outras culturas de grãos; apresentar menos problemas relacionados a pragas e doenças que outras culturas; trazer um bom retorno ao investimento feito; apresentar grande potencial de rendimento de produção; ter um bom valor nutricional; apresentar contaminações menores de substâncias produzidas por fungo que outros grãos, e ter aceitação na comercialização de cereais (WAQUIL et al., 2003; ATLANTICA SEMENTES, 2012).

A planta do sorgo é característica de clima quente, adaptada ao ambiente seco, que além de ser pouco exigente quando trata-se de fertilidade do solo, apresenta também tolerância/resistência aos aspectos físico-químicos do ambiente, tais como: estresse hídrico, encharcamento e salinidade. Devido a essas características, consegue se adaptar a diferentes condições pedoclimáticas principalmente no semiárido nordestino (SANTOS, 2013).

Na Paraíba, mesmo possuindo características edafoclimáticas satisfatórias para a cultura do sorgo, a sua atividade produtiva ainda é bem inferior a do milho e feijão. Não há informações no IBGE sobre a quantidade de produção deste grão no Estado nos últimos 15 anos, porém no Agro Censo 2017, consta que houve uma produção de 727 toneladas de sorgo na Paraíba. E, segundo o CONAB, na safra 2018/2019, a área plantada foi de 200ha, com produtividade de 1700kg/ha e uma produção de 300 toneladas (CONAB 2019). Uma análise da evolução e comportamento da produção durante os últimos 15 anos não pôde ser feita, mas é possível perceber que não há uma produção de grandes quantidades como o milho e feijão.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tem origem tropical, possui um ciclo de período curtos e com altas taxas de atividade fotossintética, sendo mais adaptada, por isso, a um clima com temperaturas elevadas. De 300 mm a 400 mm é a precipitação exigida pela cultura do sorgo, distribuídos de forma regular durante o seu desenvolvimento e crescimento, para que se sejam alçados satisfatórios níveis de produtividade, sem que seja necessário a utilização de irrigação. (TABOSA et al., 2008; BARROS et al., 2012).

A cultura tolera a escassez hídrica, inclusive pequenos veranicos – período em que em plena estação chuvosa ocorre um período de estiagem acompanhado por forte insolação, calor intenso e baixa umidade relativa-, sendo considerada resistente à falta d'água. As fases mais críticas do desenvolvimento da cultura são a fase de plântula e de florescimento, sendo essencial que nesses períodos hajam um fornecimento de água satisfatório para um bom rendimento produtivo. Porém, apesar de resistente à seca, insuficiência hídrica na fase de florescimento e de enchimento de grãos, pode ocasionar uma diminuição considerável do rendimento da produção (TABOSA et al., 2008; BARROS et al., 2012).

Como exigências térmicas, de modo geral, temperaturas superiores a 21°C são exigidas em grande parte dos materiais genéticos de sorgo para uma boa evolução em seu crescimento e desenvolvimento. O desenvolvimento da maioria das cultivares são restringidas por temperaturas do ar que superam os 38°C ou estão abaixo dos 16°C (MAPA, 2014; BARROS et al., 2012).

A radiação solar em níveis elevados é suportada pelo sorgo, já que fazem parte do grupo de plantas C4, que são capazes de responder a altas taxas de fotossíntese, diminuindo a abertura dos estômatos e consequentemente reduzindo a perda d'água. Assim, sempre que as demais condições estiverem favoráveis, o aumento da intensidade luminosa acarretará em um maior rendimento produtivo. (BARROS et al., 2012).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014) determina que para o cultivo de sorgo são aptos os solos dos tipos 2 e 3, ou seja, àqueles que possuírem textura média, com teor de argila entre 15% e 35%, e textura argilosa, com no mínimo 35% de teor de argila, respectivamente. Áreas com solos muito pedregosos ou com profundidade inferior a 50cm, não são indicados para o cultivo.

3.3. Zoneamento das atividades agrícolas

De forma genérica, o zoneamento pode ser definido como um instrumento importante do planejamento territorial, onde zonas condicionadas e dotadas de qualificações específicas são criadas em uma determinada área. Esse instrumento geralmente é utilizado pelo governo como ferramenta de políticas públicas, como um recurso de auxílio na criação e execução de planejamentos governamentais, ou como instrumento de diversas normas e leis (SILVA, 2007; VAN RIJ & KORTHALS ALTES, 2008).

Outra definição encontrada para zoneamento está em nossa legislação, na Lei nº 9.985/2000 que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Nessa lei, o zoneamento é definido como um instrumento de ordenamento territorial das unidades de conservação, que tem como finalidade alcançar a eficiência e a harmonia nas ações voltadas para os objetivos destas unidades. E, há na temática do zoneamento diversas possíveis abordagens, com perspectivas voltadas para a região costeira, a região urbana, as regiões oceânicas e a agricultura.

Para as atividades agrícolas, a utilização de métodos de zoneamento ocorre em decorrência da necessidade de investigar possíveis repercussões na dinâmica dos sistemas naturais de uma área que esteja sendo alterada por uma produção vegetal criada pelo homem. Essa dinâmica pode depender da fertilidade, dos fluxos da água no solo, dos movimentos do ar, dos processos geomorfológicos e das características socioeconômicas das áreas de cultivo, em especial nas zonas rurais. Então, a linha de investigação a ser utilizada deve ser definida de acordo com os objetivos propostos e os resultados que precisam ser alcançados.

De acordo com Souza et al. (2004), identificar a aptidão das áreas por meio de técnicas que se baseiam em informações edáficas e climáticas, permitem informar quais os ambientes são mais favoráveis agroecologicamente para o uso agrícola, auxiliando na redução dos riscos de produtividade e de degradação ambiental. Dessa forma, para que os riscos para a agricultura sejam reduzidos e, conseqüentemente, as perdas para os agricultores sejam diminuídas, torna-se indispensável identificar, quantificar e mapear as áreas que são mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro (MACIEL et al., 2009)

Os tipos de zoneamentos com finalidade de uso para as atividades agrícolas podem ser divididos em quatro categorias: Zoneamento Agroclimático; Zoneamento

Agroecológico ou Edafoclimático; Zoneamento Agrícola; e Zoneamento de Riscos Climático (WOLLMAN & GALVANI, 2013).

O zoneamento agroclimático constitui-se na identificação das áreas que possuem um clima mais satisfatório para determinadas espécies de cultivo de interesse agrícola, baseando-se em fatores climáticos exigidos pela cultura. Outro componente do meio físico utilizado de forma essencial na atividade agrícola, é o solo. Dessa forma, é possível fazer a delimitação das áreas aliando os aspectos edáficos e climáticos da cultura, elaborando assim o zoneamento edafoclimático ou zoneamento ecológico das culturas. Já o zoneamento agrícola envolve o zoneamento edafoclimático e o levantamento das características socioeconômicas das regiões, para delimitar a melhor aptidão agrícola das terras (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). E por fim, o zoneamento agrícola de risco climático, além dos aspectos de solo, planta e clima, aplicam-se também fórmulas matemáticas e estatísticas com a finalidade de quantificar o risco de perda da lavoura, de acordo com o histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a seca, trazendo um resultado probabilístico (WOLLMAN & GALVANI, 2013).

O zoneamento agroclimático (o utilizado neste trabalho) é defendido por Silva et al. (2013) como importante ferramenta para futuras recomendações práticas, lógicas e coerentes de serem executadas para o estabelecimento de cultivos, prevenção e controle das doenças, que poderão servir como base para a elaboração de políticas públicas que se destinam ao setor agrícola. Neste contexto, conhecer as condições climáticas específicas de uma região, contribui para subsidiar informações que podem maximizar a produção de culturas importantes para os agricultores do semiárido; da mesma forma, a elaboração do zoneamento agroclimático garante informações sobre quão adaptável são as culturas selecionadas, proporcionando um maior retorno dos investimentos a médio e longo prazo para os produtores, e contribuindo para uma atividade agrícola coerente e sustentável (NUNES et al., 2007).

3.3.1. Zoneamento Agroclimático

O zoneamento agroclimático constitui-se em um importante instrumento capaz de auxiliar no processo de tomada de decisão, sendo possível, a partir das análises das variabilidades climáticas locais e de sua espacialização, delimitar as áreas com diferentes aptidões climáticas ao cultivo (MEDEIROS et al., 2013). Com esse tipo de zoneamento

é possível contribuir para uma agricultura racional e sustentável (POSSAS et al., 2012), além de facilitar o planejamento agrícola (SOUSA et al., 2013).

Para a elaboração do zoneamento agroclimático é necessário, primeiramente, realizar o cálculo do balanço hídrico climático (BHC), que compreende na quantificação dos componentes de um sistema climático, buscando um melhor entendimento de seu comportamento e utilizando o princípio físico de conservação de massa, analisando os insumos de entradas e pelas saídas de água do sistema (TUCCI e BELTRAME, 2009).

Com o objetivo de conhecer a disponibilidade de água ao longo do ano para as plantas, surgiu a necessidade de contabilizar a precipitação e a evapotranspiração que ocorre em um ecossistema. Para equacionar essa dinâmica, diferentes métodos surgiram para calcular o balanço hídrico, sendo o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) de Thornthwaite e Mather (1955) o mais difundido, por considerar que a disponibilidade de água no solo diminui à medida que é reduzido o armazenamento, estabelecendo assim, o solo como um fator ativo no seu cálculo. Este balanço hídrico, portanto, é entendido como um método climático utilizado para estimar o teor de água existente no solo e disponível à comunidade vegetal (D'ANGIOLELLA et al., 2005)

Para a elaboração do (BHC) de Thornthwaite e Mather (1955), há necessidade de definir o armazenamento máximo no solo (CAD – Capacidade de Água Disponível), que está relacionado a textura do solo e das profundidades das raízes das espécies vegetais que o cobre (ROSSATO, 2001); de ter a medida da chuva total, e também de estimar a evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período. Assim, o conhecimento do balanço hídrico fornece subsídios para a escolha de culturas adaptadas a uma determinada condição climática predominante.

Para as atividades agrícolas, as informações do balanço hídrico estão associadas ao conhecimento do regime hídrico de uma área; da época mais propícia durante o ano para o preparo do solo, semeadura e plantio e a viabilidade de implementação de sistemas de irrigação ou drenagem. O balanço hídrico também permite definir os períodos de deficiência hídrica em que há necessidade de irrigação suplementar e a identificação dos períodos de excesso, os quais poderão ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva (D'ANGIOLELLA et al., 2005).

Com o resultado proveniente do BHC, para dar continuidade na realização do zoneamento agroclimático, é necessário que, no caso das culturas agrícolas de período

vegetativo longo, sejam calculados os índices de umidade (Iu), hídrico (Ih) e de aridez (Ia), como também, paralelamente, deve-se adquirir o resultado dos seguintes parâmetros anuais do BHC: EXC- estimativa do excedente hídrico anual/mensal (mm); DEF – estimativa da deficiência hídrica anual/mensal (mm). Já para o caso das culturas de período vegetativo curto, é necessário obter os seguintes parâmetros: Pm/EPT - relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial no mês m; EXCm - estimativa do excedente hídrico no mês m; e DEFm - estimativa da deficiência hídrica no mês m (BARROS et al., 2012). De acordo com as exigências das culturas em relação a esses índices e parâmetros, é feita a classificação de acordo com as seguintes classes: Aptidão plena (C1); Aptidão plena, mas com baixa possibilidade de ocorrer excesso hídrico (C2); Aptidão moderada por excesso hídrico (C3); Aptidão moderada por deficiência hídrica (C4); e Aptidão inapta (C5) (EMBRAPA, 2018). Após o mapeamento dessa classificação, fica assim elaborado o mapa de aptidão climática de culturas que é o que constitui o zoneamento agroclimático.

Nesse contexto, a partir do zoneamento agroclimático de uma região, é possível determinar o potencial agrícola das culturas, as cultiváveis mais adaptadas a área zoneada e o manejo ideal da terra (MATOS et al., 2015). E, como ferramenta de políticas públicas, é possível contribuir com o desenvolvimento do setor agrícola, incentivando a implantação de novas áreas de cultivo, contribuindo na abertura de linhas de crédito, além de auxiliar na tomada de decisão pelos produtores (SILVA et al., 2013).

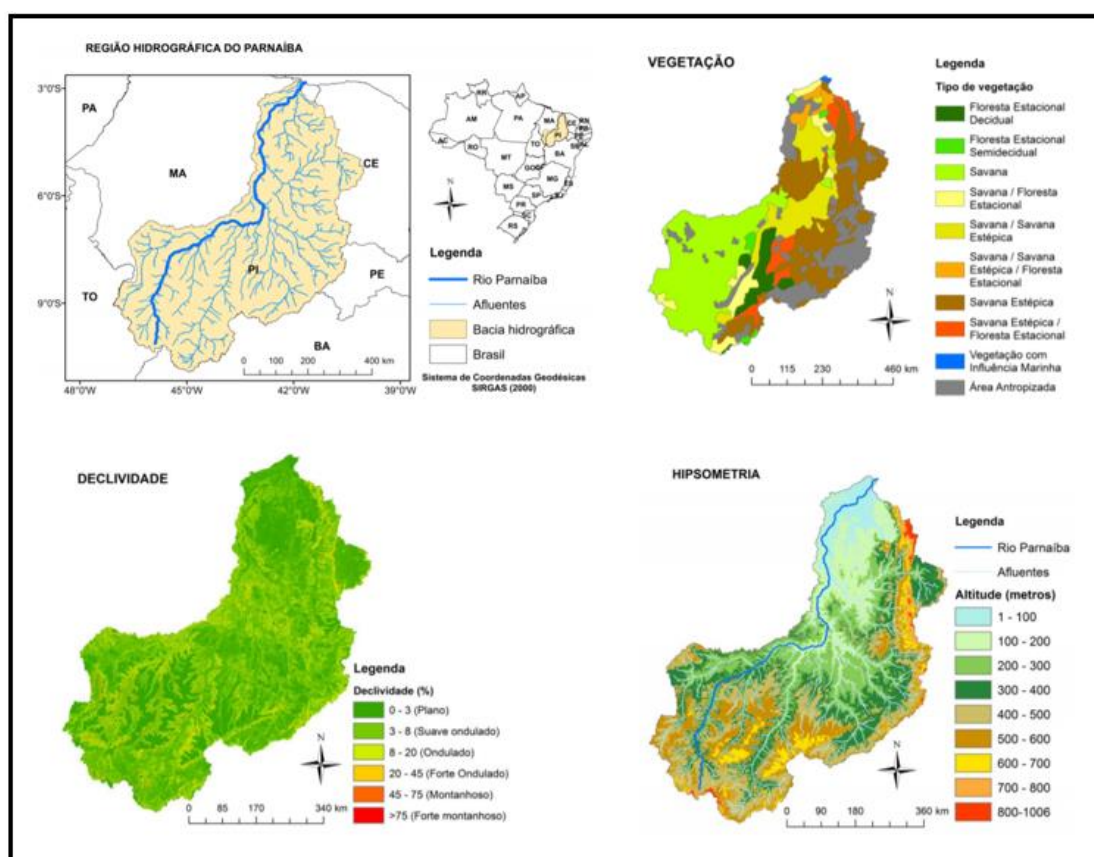
3.3.2. Geotecnologias aplicadas a zoneamentos

A informatização de técnicas de análise espacial começou a ganhar destaque por muitos pesquisadores e adquiriram relevância fundamental na compreensão do dinamismo do espaço (SCHNEIDER & TARTARUGA, 2004). Uma alternativa viável para a redução de tempo e custos com mapeamentos para gestão de diversas áreas, são as metodologias que utilizam a geotecnologia.

O termo geotecnologia refere-se ao “estudo (logia) das técnicas (tecno) aplicadas na terra (geo). Esse tipo de estudo, aplicado ao geoprocessamento, permite que os diferentes tipos de informação sejam associados, principalmente as informações agrometeorológicas, ao espaço geográfico. O geoprocessamento é uma geotecnologia que utiliza computadores e softwares para coletar, tratar, processar e modelar os dados e informações georreferenciados, as chamadas geoinformações. Para isso muitas

ferramentas são utilizadas, como o Global Positioning System (GPS), os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), o sensoriamento remoto, por meio de imagens de satélite e fotografias aéreas, e a geoestatística (VOLPATO et al., 2008).

Figura 10: Exemplo de geoprocessamento aplicado às características físicas e biofísicas da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba



Fonte: Macedo et. al., 2017

Para a agricultura, as geotecnologias tornam-se cada vez mais presentes no dia-a-dia. Os SIGs, que são ferramentas computacionais para o geoprocessamento, permitem caracterizar as condições do ambiente e do meio agrícola com maior exatidão, velocidade e menor custo. A partir da associação de dados já cadastrados através de bancos de dados geográficos, os SIGs tornam possível a visualização, por exemplo, da presença de nuvens, da distribuição das culturas e seu estado vegetativo, da temperatura da superfície terrestre e entre outras informações relevantes (VOLPATO et al., 2008).

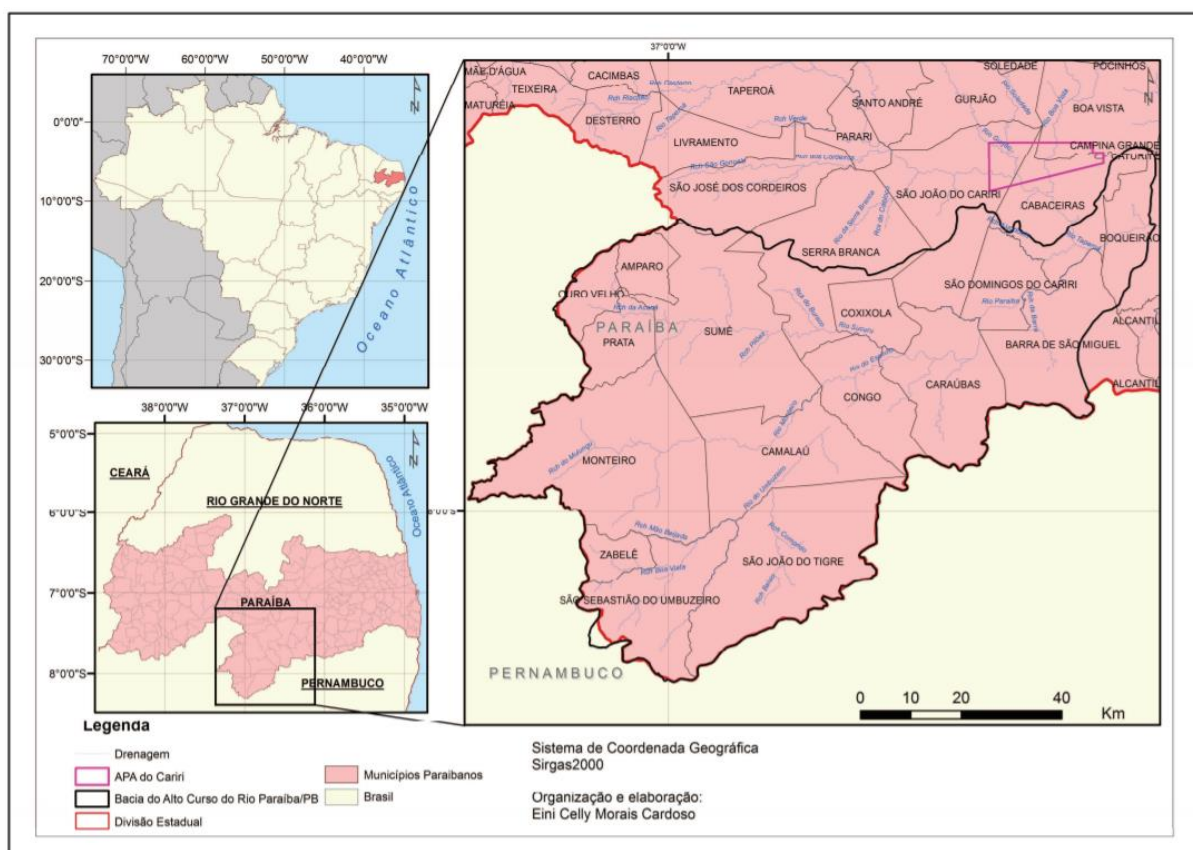
No que concerne às atividades agrícolas, as prioridades nas políticas de uso e de ocupação da terra são o crescimento das exigências de caráter sustentável (que atinge as esferas sociais, ambientais e econômicas), e a garantia de produtos de qualidade. Assim,

a utilização da geotecnologia desponta-se como um importante instrumento no estudo das potencialidades espaciais e ambientais, já que proporciona o zoneamento de áreas de forma adequada e eficiente no que diz respeito aos aspectos edáficos, climatológicos, hídricos, de vegetação, entre outros (GIANEZINI et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Paraíba, representado na Figura 11, compreende uma área de aproximadamente 6.650 km² e está inserida inteiramente no Estado da Paraíba, entre as coordenadas 36°10'0''W, 37°25'0''W e 7°15'0''S, 8°20'0''S. Esta região possui clima do tipo BSw^h, de acordo com a classificação climática de Köppen, ou seja, um clima semiárido quente, variando de 400 a 600 mm de pluviosidade média anual, tidos como os menores do país, com estação seca de 8 a 10 meses e com temperaturas médias elevadas, que atinge cerca de 27°C. (SOUZA, 2008).

Figura 11: Mapa de Localização do Alto Curso do Rio Paraíba



Fonte: Cardoso (2016)

* A região delimitada é conhecida popularmente como Cariri paraibano ou Cariris Velhos

Esta bacia compreende, total ou parcialmente, a área de 18 municípios paraibanos (Cabaceiras, Boqueirão, São Domingos do Cariri, Barra de São Miguel, Caraúbas, São João do Cariri, Coxixola, Congo, Serra Branca, Sumé, Camalaú, São João do Tigre, Amparo, Ouro Velho, Prata, Monteiro, Zabelê e São Sebastião do Umbuzeiro), distribuídos entre as microrregiões do cariri oriental e ocidental do Estado da Paraíba.

O Alto Curso do Rio Paraíba possui um relevo que varia de ondulado a fortemente ondulado e com 500 metros de altitude média (variando em valores que estão entre 400 a pouco mais de 1.000 metros). Possui restrições pedológicas (solos rasos e, muitas vezes, com altos teores de salinidade), baixa densidade demográfica, cidades com pequena zona urbana, e altos níveis de degradação da cobertura vegetal, com áreas que possuem importantes remanescentes de uma caatinga densa e florestal (SOUZA, 2008).

Os solos predominantes no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba são do tipo luvisolos crômicos, argissolos vermelho-amarelo, neossolos litólicos, vertisolos e afloramentos que cobrem todo o cristalino existente na área (ALVES, 2016).

A vegetação que predomina na área é a caatinga, com espécies hiperxerófila, com múltiplos espinhos protetores, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Em algumas partes, a caatinga mostra-se com grande densidade, vegetação pouco desenvolvida composta por herbáceos espinhosos e arbustos densos, e em outros trechos mais secos, as folhas da vegetação são totalmente perdidas no verão (PARAÍBA, 2006). Mas quando chegam às primeiras chuvas, tudo volta a se tornar verde, pois a água localizada na superfície dos solos, em combinação com a forte luminosidade, restabelece o funcionamento da fotossíntese. Estas espécies são adaptadas as condicionantes climáticas que atuam na região (AB'SABER, 2003).

A região em estudo, além de sua baixa média pluviométrica anual, suas precipitações apresentam elevada variabilidade, não só tratando-se a nível anual, mas também dentro meses que são considerados chuvosos (fevereiro a maio). Dessa forma, essas características de variação e instabilidade das condições pluviométricas e climáticas acabam refletindo para a região, conforme relata Araújo (2010), fazendo ocorrer muitos problemas de ordem social, devido as mais diversas vulnerabilidades as quais a população está submetida (ALVES, 2016).

No alto curso da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, os municípios apresentam baixo rendimento produtivo e poucas opções de cultiváveis; técnicas restritas de conservação do solo e recursos hídricos disponíveis de forma não regular (ALVES, 2016). Dessa forma, é perceptível observarmos a importância dos estudos que visam alternativas,

soluções e sugestões para o problema da produtividade agrícola dessa região, como forma de contribuir para uma melhor garantia na segurança alimentar dessa população.

Na Tabela 2 é apresentada a estrutura da população dos municípios que fazem parte da região em estudo, dividindo a população em urbana e rural, de acordo com o último censo realizado pelo IBGE. É possível perceber que em alguns municípios mais de 50% da população moram na zona rural, como é o caso dos municípios de Barra de São Miguel, Cabaceiras, Caraúbas, Coxixola, São Domingos do Cariri, São João do Tigre. A nível nacional, segundo o Censo Demográfico de 2010 realizado pelo IBGE, pouco mais de 15% da população brasileira vive em zona rural. Dessa forma, fazendo um comparativo entre as duas estatísticas, evidencia-se a forte relação da população da região em estudo com a zona rural quando comparado com a média nacional, evidenciando a importância de estudos agrícolas para esta região.

Municípios	População	População Urbana	População Rural	Porcentagem da população Rural
Amparo	2088	1062	1026	49,14
Barra de São Miguel	5611	2364	3247	57,87
Boqueirão	16888	12006	4882	28,91
Cabaceiras	5035	2217	2818	55,97
Camalaú	5749	2887	2862	49,78
Caraúbas	3899	1517	2382	61,09
Congo	4687	2942	1745	37,23
Coxixola	1771	782	989	55,84
Monteiro	30852	20261	10591	34,33
Ouro Velho	2928	2047	881	30,09
Prata	3854	2444	1410	36,59
São Domingos do Cariri	2420	1034	1386	57,27
São João do Cariri	4344	1034	1386	31,91
São João do Tigre	4396	1529	2867	65,22
São Sebastião do Umbuzeiro	3235	2097	1138	35,18
Serra Branca	12973	8418	4555	35,11
Sumé	16060	12236	3824	23,81
Zabelê	2075	1472	603	29,06
TOTAL	128865	78349	48592	37,71

Fonte: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) – Adaptado pelo Autora.

Tabela. 2: Caracterização da população dos municípios que fazem parte da Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba.

Os dados climáticos que são necessários para a execução dos procedimentos metodológicos são as normais mensais de temperatura média e precipitação, e foram obtidas pelo banco de dados WorldClim. O WorldClim é um projeto que acompanha as condições climáticas ao redor do mundo, com inúmeras estações pluviométricas e meteorológicas. Os dados são adquiridos na forma de grade de dados (Raster) climáticos a partir do set de layers globais (WorldClim), com valores médios calculados para uma série histórica de 30 anos (1970-2000), (FICKS E HIJMANS, 2017). As grades de dados obtidas foram recortadas obedecendo os limites territoriais da região do Alto Curso do Rio Paraíba, de acordo com a Agência Executiva de Gestão das Águas – AESA.

Para a elaboração dos mapas de aptidão climática, utilizou-se uma malha de dados corrigida topograficamente por meio de uma metodologia computadorizada e inédita, desenvolvida por Mônica Larissa Aires de Macêdo em trabalho a ser publicado.

Essa metodologia baseou-se no método de Thornthwaite e Mather (1955) para calcular o balanço hídrico climatológico (BHC) da localidade. Esse método considera a capacidade média de armazenamento de água no solo (CAD) de acordo com as exigências edafoclimáticas da cultura, e foi desenvolvida para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo.

Para a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), e de ter-se a medida da chuva total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período.

Para a definição da capacidade de água disponível (CAD), utiliza-se a seguinte expressão:

$$CAD = \frac{(CC - PMP) \times Da \times Z}{10} \quad [1]$$

Em que,

CAD = capacidade máxima de água disponível (mm);

CC = umidade do solo à capacidade de campo (%peso);

PMP = umidade do solo ao ponto de murcha permanente (%peso);

Da = densidade aparente do solo (g/cm³);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

Resolver o balanço hídrico de um solo é, na essência, resolver a equação da continuidade para aquele solo. Considerando-se um sistema formado por uma certa camada de solo, e assumindo-se a água como um fluido incompressível, “a diferença entre a quantidade que entra no sistema e a que sai do mesmo sistema é igual à variação do armazenamento de água neste sistema”.

Sob a forma analítica, escreve-se:

$$\Delta A = E - S \quad [2]$$

Em que,

E = entrada de água no sistema;

S = saída de água do sistema;

ΔA = variação do armazenamento de água neste sistema.

Se considerar apenas o movimento vertical da água, o que entra neste sistema é apenas a água devida à precipitação (P), enquanto o que sai é devido à evapotranspiração (ETR) e à água que percola abaixo do alcance do sistema radicular da cultura (EXC). Assim, pode-se reescrever a equação 2 na forma:

$$ALT = P - (ETR + EXC) \quad [3]$$

Em que,

P = precipitação média mensal (mm);

ETR = evapotranspiração real média mensal (mm);

EXC = excessos hídricos, representando a percolação abaixo do sistema radicular (mm);

ALT = alteração da umidade do solo (ARM), do último dia do mês anterior para o último dia do mês em questão.

Para determinar o teor de umidade do solo (ARM) em condições de retirada de água do solo, Thornthwaite e Mather (1955) segue a metodologia de calcular o teor de umidade que o solo teria se não houvesse aumento da resistência do solo à retirada da água, ou seja, se a resistência fosse sempre aquela em que o solo está à capacidade de campo. Na prática, esse valor é determinado pelo somatório das diferenças (P-ETP) mensais na época seca do ano, época em que (P-ETP) é sempre negativo. Por essa razão, este valor é chamado de Negativo Acumulado (Neg. Ac.):

$$Neg.Ac. = \sum (P - ETP) \quad (se P - ETP for negativo) \quad [4]$$

Determinar ARM pela seguinte expressão:

$$ARM = CAD \frac{Neg.Ac.}{CAD} \quad [5]$$

Baseado na metodologia supracitada, foi então estimado, de acordo com os tipos de solo fornecidos por um banco de dados, a capacidade de armazenamento do solo da região em estudo. Assim, aliando esse resultado de solo com a base de dados do WorldClim, calculou o Balanço Hídrico Climatológico com uma precisão maior que os estudos já realizados até hoje para esta região. Foi possível obter por meio dessa metodologia, os valores em formato raster de Evapotranspiração Potencial (ETP), Excedente Hídrico (EXC), Déficit Hídrico (DEF), Alteração da umidade do solo (ALT), Umidade do solo (ARM).

Com os dados supracitados, utilizando um software de geoprocessamento, obteve-se os mapas de aptidão climática de acordo com as condições exigidas pelo feijão, milho e sorgo, adaptado a partir dos critérios determinados por EMBRAPA (2018).

Foram utilizados um ou mais de um dos seguintes parâmetros mensais:

EXC_i – estimativa do excedente hídrico no mês i;

DEF_i – estimativa do déficit hídrico no mês i; e

P_i/EPT – precipitação sobre evapotranspiração potencial no mês i.

Para o zoneamento das culturas de ciclo curto, foram utilizados os parâmetros indicados nas Tabelas 3, 4 e 5, para o feijão, milho e sorgo, respectivamente. Os índices que foram utilizados são: j = 1, 2 e 3 (cumulativo), para representar os três meses iniciais do ciclo (fevereiro, março e abril, respectivamente); e 1, 2 ou 3 (não cumulativo) para representar um dos três meses iniciais do ciclo. O último mês (maio), que representa a fase de secagem e colheita, foi indicado pelo índice 4.

Para realizar a classificação final do zoneamento agroclimático, foram considerados cinco critérios estabelecidos por EMBRAPA (2018) e com as respectivas colorações para as legendas:

Quadro 1: Legenda utilizada para caracterizar os mapas de aptidão climática das culturas

	C1 – aptidão plena;
	C2 – aptidão plena, mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico;
	C3 – aptidão moderada por excesso hídrico;
	C4 – aptidão moderada por deficiência hídrica; e
	C5 – aptidão inapta.

Aptidão Climática	EXC (mm)	DEF(mm)	P/EP(mm)
C3	$\sum \text{EXC}_j > 180$		
C2			$P_4/EP_4 \geq 0,75$
C1	$\text{EXC}_1 \geq 0$	$\text{DEF}_{2,3} \leq 5$	$P_4/EP_4 < 0,75$
C4	$\text{EXC}_1 \geq 0$	$\text{DEF}_{2,3} < 25$	$P_4/EP_4 < 0,75$
C5		$\text{DEF}_1 > 0$ $\text{DEF}_2 \geq 40$	

Tabela. 3: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do feijão-caupi

Aptidão Climática	EXC (mm)	DEF(mm)	P/EP(mm)
C3	$\sum \text{EXC}_j \geq 400$		
C2			$P_4/EP_4 \geq 1$
C1	$200 < \sum \text{EXC}_j < 400$	$\text{DEF}_1 < 5$ $\text{DEF}_{2,3} = 0$	$P_4/EP_4 < 1$
C4		$\text{DEF}_1 < 5$ $\text{DEF}_{2,3} < 20$	$P_4/EP_4 < 1$
C5		$\text{DEF}_1 \geq 5$ $\text{DEF}_{2,3} \geq 20$	

Tabela. 4: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do milho

Aptidão Climática	EXC (mm)	DEF(mm)	P/EP(mm)
C3	$\sum \text{EXC}_j \geq 300$		
C2			$P_4/EP_4 \geq 1$
C1	$0 < \sum \text{EXC}_j < 200$	$\text{DEF}_{1,2,3} < 10$	$P_4/EP_4 < 1$
C4		$\text{DEF}_{1,2,3} < 20$	$P_4/EP_4 < 1$
C5		$\text{DEF}_1 \geq 20$	
		$\text{DEF}_{2,3} \geq 40$	

Legenda: EXC - Excedente hídrico; DEF – Déficit hídrico; P/EP – Precipitação dividido por Evapotranspiração potencial.

Tabela. 5: Critérios utilizados para avaliar a aptidão climática da cultura do sorgo

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, analisando as tabelas de critérios utilizados para avaliar a aptidão climática das culturas (Tabelas 3, 4 e 5), é possível perceber as distintas exigências climáticas de cada cultura estudada e como isso reflete nos resultados dos mapas de aptidão climática aqui desenvolvido.

O feijão-caupi desponta-se como sendo a cultivar que possui os valores mais abrangentes quando se trata das classificações de aptidão caracterizadas por excesso hídrico (Classes C2 e C3). Para esta cultura, para atingir a classificação de aptidão moderada por excesso hídrico, basta que o excedente hídrico cumulativo dos 4 meses de período vegetativo seja acima de 180mm, já o milho e o sorgo exigem no mínimo 400mm e 300mm, respectivamente. Para a classificação de aptidão plena, mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico, o feijão-caupi exige que a relação de precipitação e evapotranspiração potencial do quarto mês do ciclo vegetativo, já seja maior ou igual a 0,75, diferente das outras duas culturas, que exige o valor apenas acima de 1,0. Dessa forma, podemos observar que o feijão-caupi é a cultivar que exige a menor disponibilidade hídrica para atingir as classes C2 e C3.

Observando os critérios das três cultivares na classificação de aptidão plena (C1), classe esta de maior interesse que a cultura atinja para ter seu melhor rendimento produtivo, nota-se que o sorgo possui os valores menos restritivos quando comparado ao feijão-caupi e milho. Essa conclusão fica evidente nos valores assumidos de Déficit Hídrico, critério este que assume valores alto na região em estudo quando comparado a regiões com maiores índices de pluviosidade, já que a deficiência hídrica é uma característica inerente à região Alto Curso do Rio Paraíba. Para o sorgo, exige-se que o DEF seja no máximo menor que 10mm nos meses 1, 2 e 3 do ciclo vegetativo, já o milho e o feijão-caupi exigem que o valor de DEF seja de no máximo 5mm para determinados meses do ciclo vegetativo e, vale ressaltar, que o milho ainda exige que não haja déficit hídrico nos meses 2 e 3 do seu ciclo vegetativo. Assim, podemos concluir que o sorgo consegue lidar melhor com a deficiência hídrica dentre as três culturas.

Analisando agora os critérios de classificação das classes C4 e C5, caracterizadas pela deficiência hídrica, é possível perceber que o milho possui os valores mais abrangentes para atingir essa classificação. Observando a classe C5 para as três culturas, percebe-se que o déficit hídrico é o fator que define essa classificação. O milho exige que o DEF atinja valores maiores ou igual a 5mm para o primeiro mês do ciclo vegetativo e

maior que 20mm para os o segundo e terceiro mês. Já o feijão e o sorgo exigem que no primeiro mês do ciclo sejam maiores que 0mm e 20mm, respectivamente, e no segundo e terceiro mês maior que 40mm para ambas as culturas. Dessa forma, conclui-se que o milho é a cultura mais sensível ao déficit hídrico comparado ao milho e feijão-caupi.

Toda essa conclusão da análise dos critérios para avaliar a aptidão climática, que são baseados nas relações de precipitação e temperatura, são corroboradas pelas informações presentes na literatura, que afirma a necessidade mínima de 300mm de precipitação (RIBEIRO, 2002) e uma faixa térmica ideal entre 22°C e 25°C (CAMPOS, 2010) para o bom desenvolvimento do feijão-caupi; Pluviosidade ideal de 500mm a 800mm (EMBRAPA, 2004) e 21°C de temperatura (CRUZ et. al, 2006) para um melhor rendimento produtivo do milho e; 300mm a 400mm de pluviosidade (TABOSA et. al., 2008; BARROS et. al., 2012) e temperaturas do ar acima de 16°C e abaixo de 38°C, para um bom desenvolvimento do sorgo.

Assim, a mesma conclusão que obteve-se a partir das análises dos critérios de avaliação da aptidão climática exigidos pelas culturas, pode ser obtida das informações encontradas na literatura, concluindo também que o sorgo é a cultivar mais adaptada a região semiárida por ter uma das menores exigências de pluviosidades, dentre as três culturas, e por ter um bom rendimento produtivo com a temperatura mais elevada. E o milho, por sua vez, é a cultura que exige maior nível de pluviosidade e requer as temperaturas mais brandas, dentre as três culturas estudadas, para atingir seu bom desenvolvimento.

Diante disto, segue espacializado nas figuras 12, 13, 14 e 15, os valores assumidos pelos critérios (Precipitação, Evapotranspiração Potencial, Excedente Hídrico e Déficit Hídrico) utilizados para a elaboração dos mapas de aptidão climática do feijão-caupi, milho e sorgo, na região do Alto Curso do Rio Paraíba, e obtidos de acordo com a metodologia aqui explicitada. As características assumidas por esses critérios na região em estudo e as informações teóricas aqui mencionadas irão refletir nos resultados obtidos.

De acordo com a Figura 12, podemos perceber que os meses de fevereiro, março e abril são os que detém a maior concentração de chuva no ano para a região em estudo. O valor máximo de precipitação foi de 172mm, e 2 mm para o valor mínimo.

Figura 12: Mapa de Precipitação média, para cada mês do ano, na região do Alto Curso do Rio Paraíba

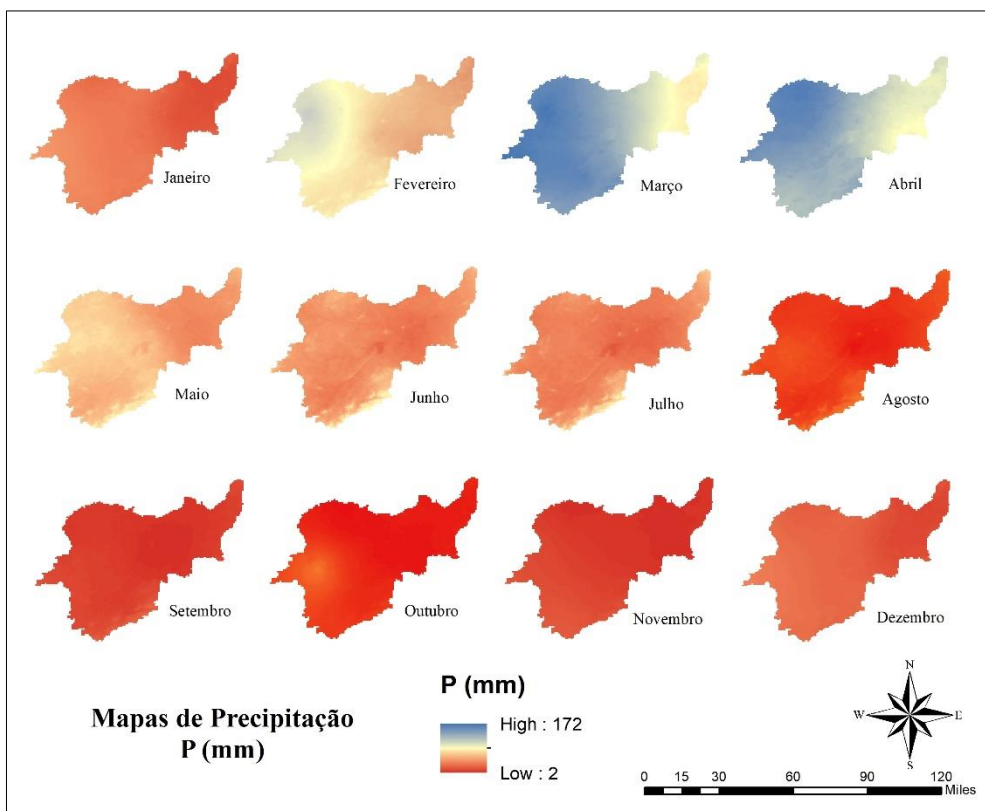
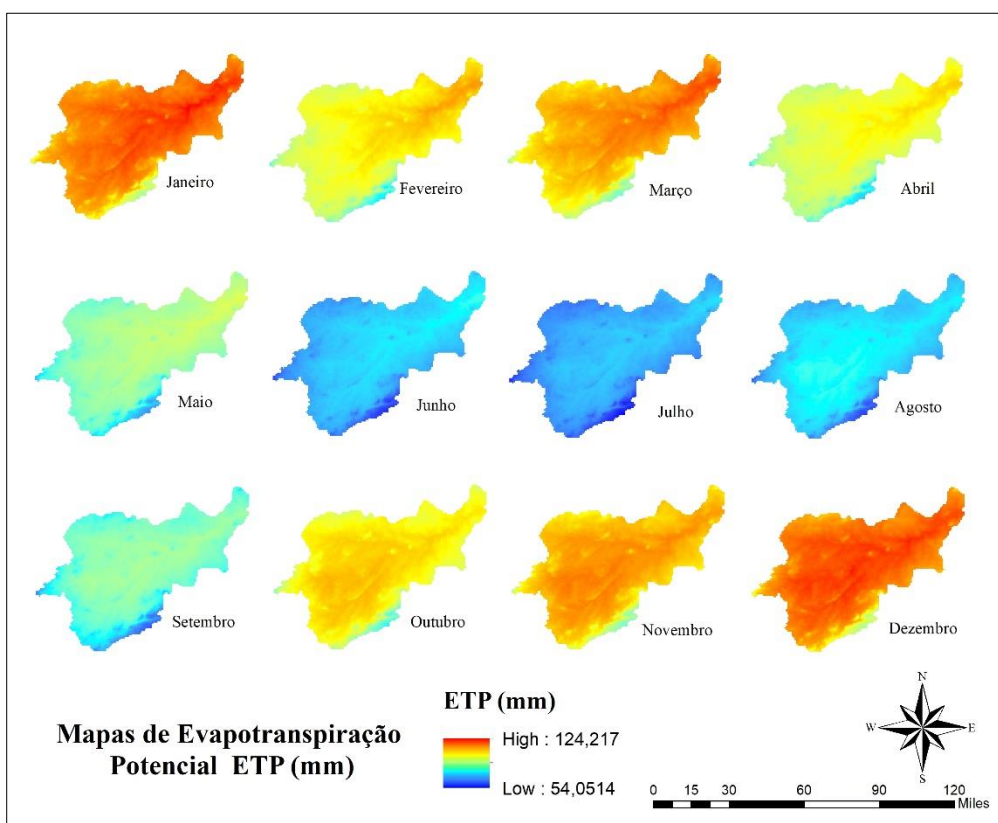
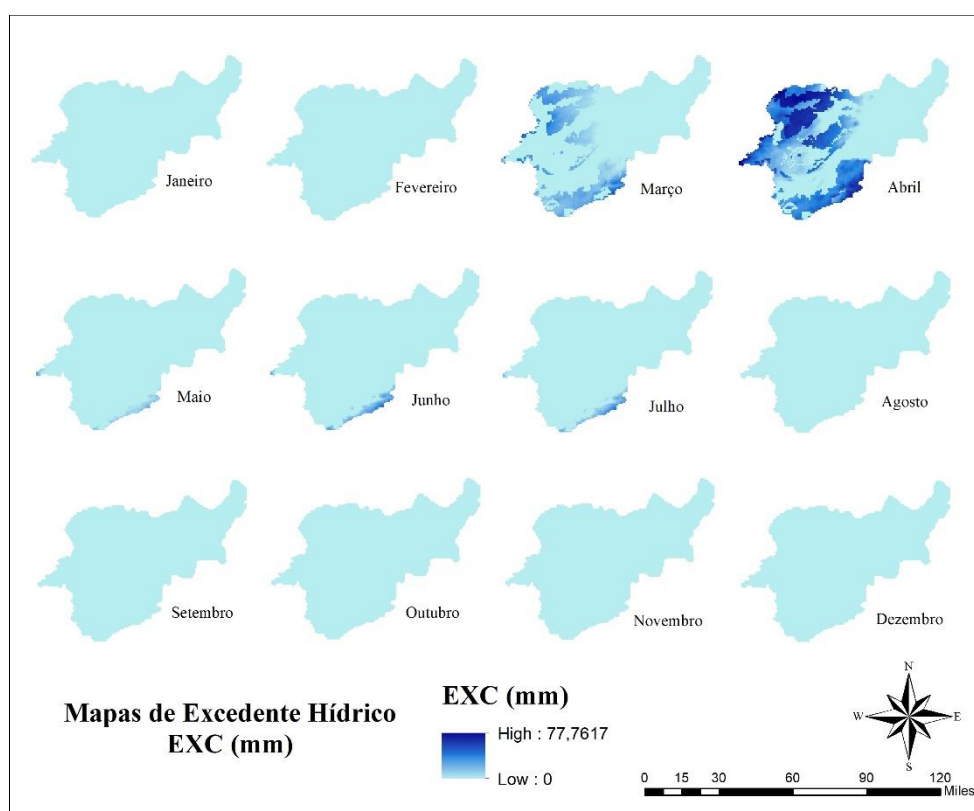


Figura 13: Mapas de Evapotranspiração Potencial média, para cada mês do ano, da região do Alto Curso do Rio Paraíba



Analisando a Figura 13, podemos perceber que os maiores valores de evapotranspiração consistem nos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, pois são os meses que possuem as temperaturas mais elevadas comparado aos demais meses. A relação de evapotranspiração e temperatura são diretamente proporcionais, dessa forma, o resultado exposto na Figura 13 coincide com as características térmicas da região em estudo.

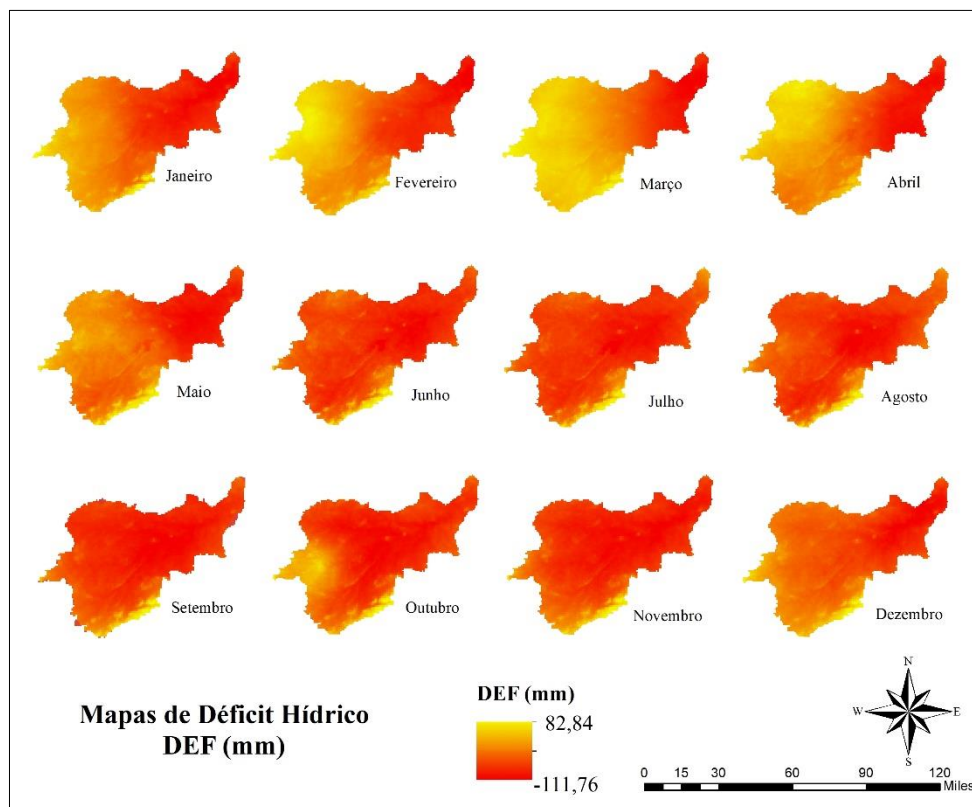
Figura 12: Mapas de Excedente Hídrico, para cada mês do ano, da região do Alto Curso do Rio Paraíba



Os mapas de excedente hídrico representados na Figura 14 reforçam as características pluviométricas da região, atingindo seus maiores valores nos meses mais chuvosos (março e abril), condizendo com as informações de pluviosidade da Figura 12. O mês de fevereiro, apesar de ser um dos meses mais chuvosos, atinge valores de excedente hídrico próximo aos demais meses de menor pluviosidade, pois o EXC representa a água que o solo não consegue mais absorver por já estar saturado. Dessa forma, depois de meses seguidos de baixos índices pluviométricos, as primeiras chuvas que ocorrem são absorvidas em sua maior parte pelo solo, e são elas que abrem margem

para que as chuvas dos próximos dois meses possam precipitar sobre um solo úmido, facilitando a ocorrência de excesso hídrico.

Figura 13: Mapas de Déficit Hídrico, para cada mês do ano, da região do Alto Curso do Rio Paraíba



Por fim, temos o critério de Déficit Hídrico representado na Figura 15. Nos cálculos, o déficit hídrico é identificado quando o resultado do balanço P-ETP for negativo, ou seja, a entrada de água no sistema é insuficiente para que a planta atinja pleno desenvolvimento e consequentemente, precisa recorrer ao armazenamento de água no solo. Neste caso, há o deplecionamento do reservatório no solo. Assim, podemos perceber que novamente os resultados corroboram com características de pluviosidade da região, trazendo os valores de déficit hídrico “positivo”, ou seja, não havendo déficit hídrico, em uma área mais extensa nos meses mais chuvosos, quando comparado com os demais meses. É possível também notarmos que a região posicionada a nordeste dos mapas encontra-se sempre com um déficit hídrico acentuado, mesmo em períodos chuvosos, e isso irá refletir nos mapas de aptidão climática como irá ser visto adiante.

Diante desses critérios e analisando-os de acordo com as Tabelas 3, 4 e 5, obteve-se os resultados de aptidão climática representados nas Figuras 16, 17 e 18.

Figura 14: Mapa de aptidão climática para a cultura de feijão-caupí na região do Alto Curso do Rio Paraíba

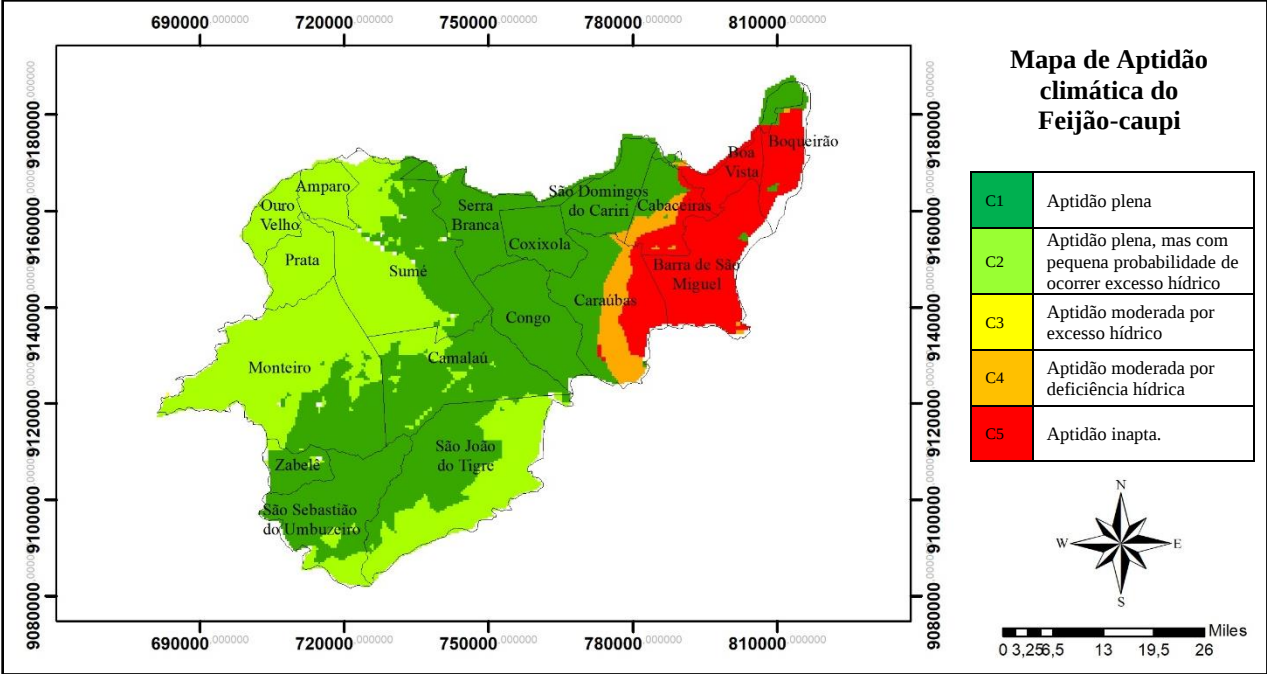


Figura 15: Mapa de aptidão climática para a cultura de milho na região do Alto Curso do Rio Paraíba

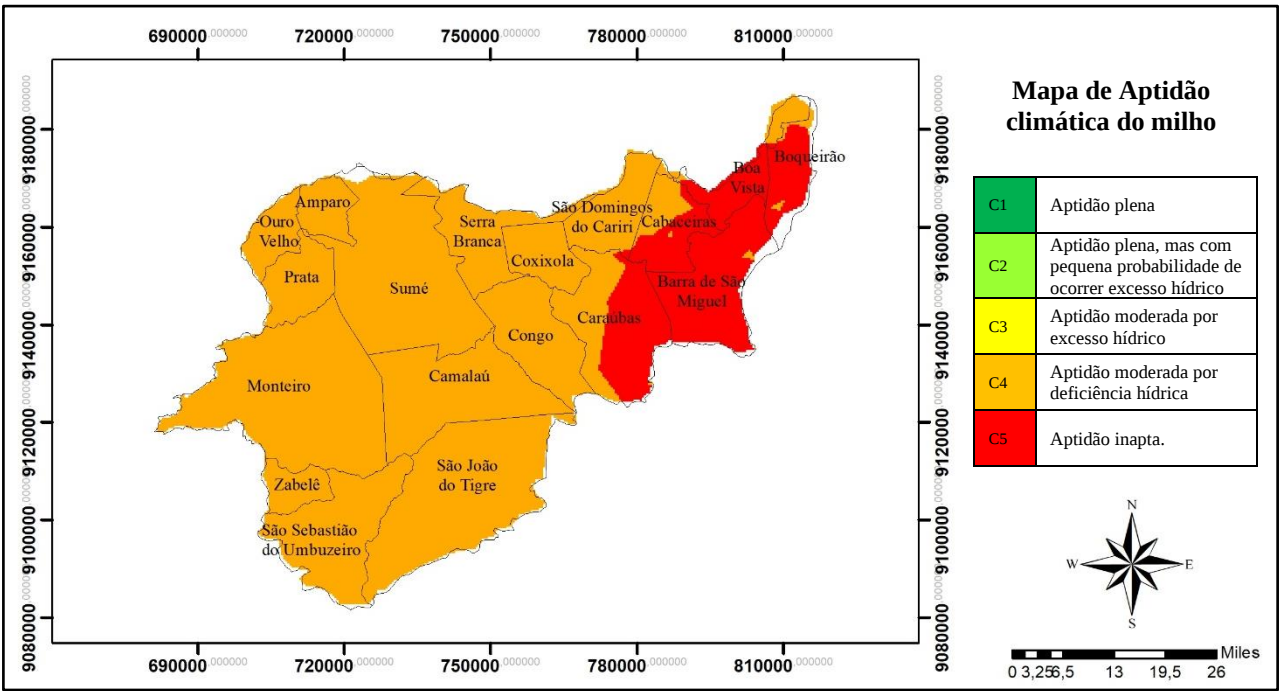
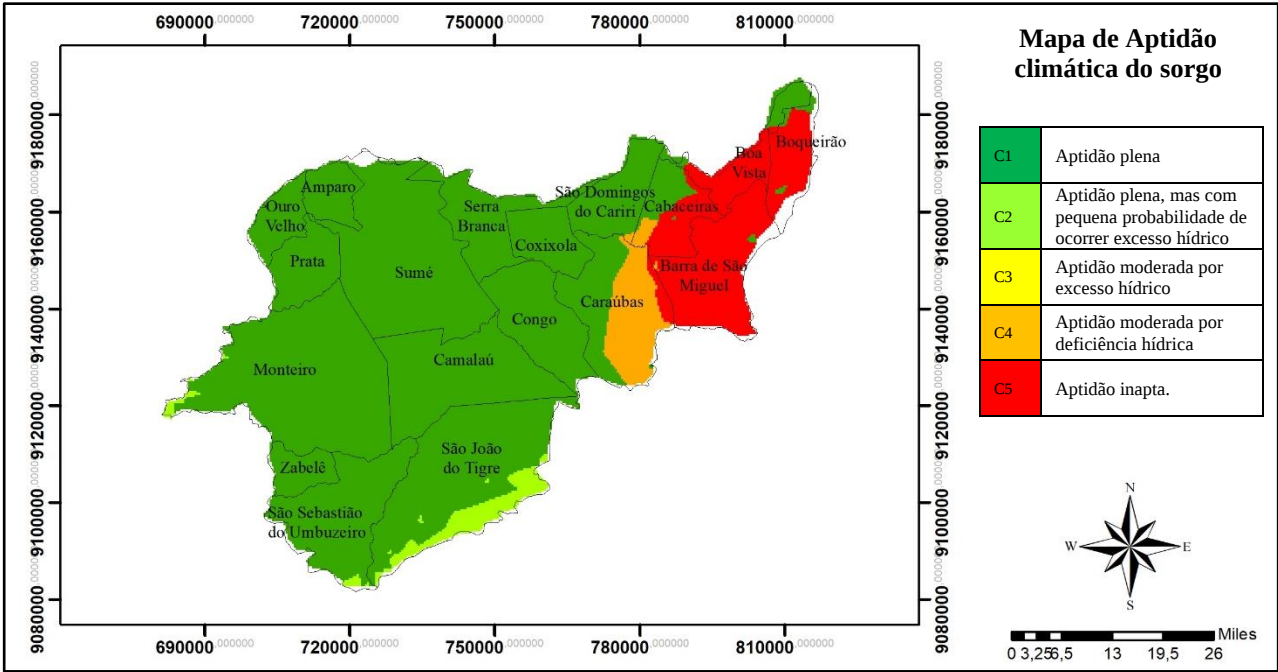


Figura 16: Mapa de aptidão climática para a cultura de sorgo na região do Alto Curso do Rio Paraíba



Aptidão Climática	FEIJÃO		MILHO		SORGO	
	Área (km2)	Porcentagem (%)	Área (km2)	Porcentagem (%)	Área (km2)	Porcentagem (%)
C1	3305,55	49,78	0	0,00	5368,47	81,25
C2	2235,37	33,66	0	0,00	154,72	2,34
C3	0,548874	0,01	0	0,00	0	0,00
C4	200,96	3,03	5508	83,48	264,54	4,00
C5	897,76	13,52	1090,13	16,52	819,73	12,41

Tabela. 6: Resultados de área total e porcentagem de área alcançada pelas culturas de feijão-caupi, milho e sorgo de acordo com as classes de aptidão climática.

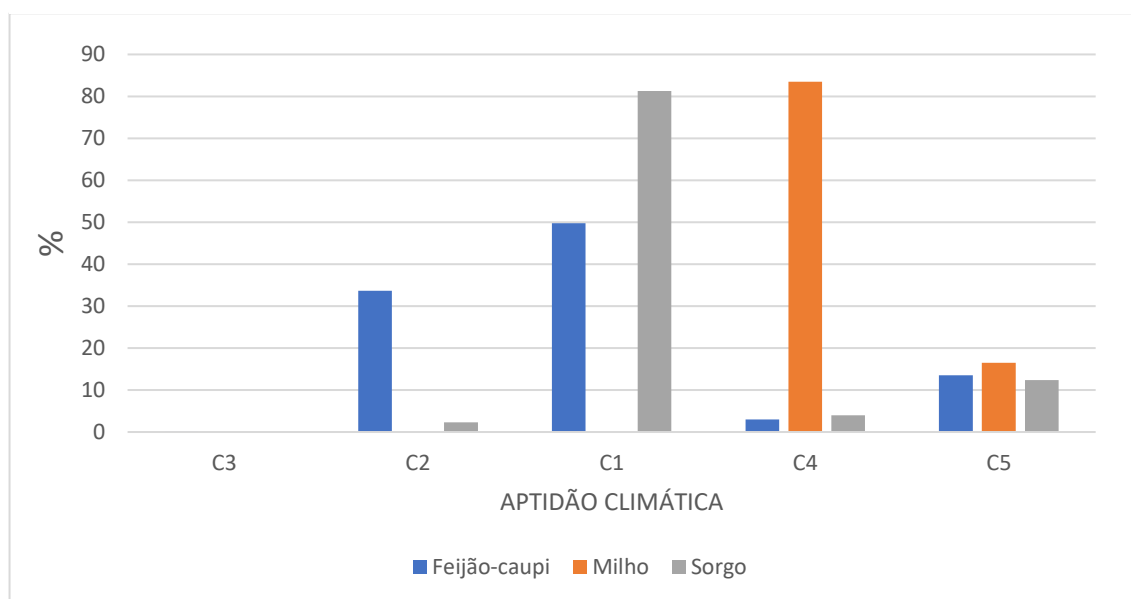
Os mapas de aptidão climática para o feijão-caupi, milho e sorgo, representados nas Figuras 16, 17 e 18, estão dispostos em um cenário de pluviosidade média, baseando-se em uma média histórica de precipitação. Aliando as Figuras 16, 17 e 18 com a Tabela 6 (Resultados de área total e porcentagem de área alcançada pelas culturas de feijão-caupi, milho e sorgo de acordo com as classes de aptidão climática), observa-se que para o feijão-caupi, há um predomínio na classe de aptidão plena (C1), com 3305,55 km² de área que representa 49,78% da área total; e também na classe de aptidão plena, mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico (C2), representando 2235,37 km² de área e uma porcentagem de 33,66% da área total. Já a classe de aptidão inapta (C5) atingiu um total de 897,76 km² de área, equivalendo a 13,52% da área total.

Já o milho, entre as três culturas, é a mais desfavorável para o cultivo nessa região, conseguindo atingir apenas duas classes de aptidão, a aptidão moderada por deficiência hídrica (C4), com 5508 km², equivalendo a 83,48% da área total; e a aptidão inapta (C5), com 1090,13 km², representando os 16,52% restantes da área em estudo. Esse resultado concorda com os critérios utilizados para a avaliação, pois o milho é a cultura, entre as três aqui estudadas, mais exigente em quantidade de água disponível para o seu cultivo.

O sorgo, por fim, é a cultura mais favorável às características climáticas do Alto Curso do Rio Paraíba, atingindo um total de 5368,47 km², correspondendo a 81,25% da área total, na classe de aptidão plena (C1). É possível perceber, analisando os mapas das Figuras 16, 17 e 18, que há uma área em comum, classificada para todas as culturas como aptidão inapta (C5). Esta área atinge os municípios de Boqueirão, Barra de São Miguel, Cabaceiras, Boa Vista e Caraúbas, onde, em média, são registrados os menores índices de chuva dessa região, tornando esses municípios muito restritivos naturalmente a determinados usos agropecuários, particularmente os que são exigentes em certa abundância em recursos hídricos.

Uma comparação entre os resultados adquiridos para as três culturas de acordo com as classificações de aptidão climática, pode ser observada no gráfico representado pela Figura 19.

Figura 17: Gráfico da porcentagem de área alcançada pelas culturas de feijão-caupi, milho e sorgo de acordo com as classes de aptidão climática.



Esses resultados foram desenvolvidos a partir de um banco de dados inédito, que possui uma escala de precisão maior quando comparado a outros utilizados em estudos já realizados e de mesma metodologia, como em Francisco & Santos (2018), estudo esse de elevada importância tanto para o setor produtivo como para a pesquisa acadêmica.

A temática dos autores citados possui uma abordagem ampla, fazendo estudos em uma área territorial mais extensa (o Estado da Paraíba como um todo), e com dados de temperatura e pluviosidade com pouca densidade de informação quando comparado a pesquisa aqui desenvolvida. Outro fator importante e determinante a ser comparado, é o dado de Capacidade de Armazenamento de Água do solo (CAD). Este dado é utilizado para a obtenção do Balanço Hídrico Climatológico, sendo comumente aplicado o valor de 100mm para culturas perenes, como é o caso das culturas aqui estudadas, e estudos de classificação climática. Porém, para a base de dados desta pesquisa, foi utilizada uma equação desenvolvida por Assad (2001) e estimou, de acordo com as características edáficas fornecidas por um banco de dados, a capacidade de armazenamento do solo da região do Alto Curso do Rio Paraíba, havendo heterogeneidade dos valores adquiridos, conforme a heterogeneidade dos solos, o que torna os resultados com maior confiabilidade, pois reflete de forma mais fiel as características hidropedológicas dessa região.

Segundo Cecílio et. al. (2012), a capacidade de água disponível (CAD) é uma característica do solo essencial para o cálculo do BHC, cálculo este que é a base de dados

para definição da aptidão climática de uma cultura. O CAD deve variar de acordo com as características inerentes do próprio solo como porosidade, textura, densidade, estrutura, dentre outros, como também à profundidade do sistema radicular da cultura em que se estuda. Dessa forma, como afirmado por Cecílio et. al. (2012), a definição do CAD de forma incorreta, ou generalista, altera os dados do BHC, portanto, estudos de zoneamento climático de cultivos agrícolas, que é o tipo de estudo abordado neste trabalho, podem ser prejudicados quando considera de forma equivocada o valor assumido pela CAD. No entanto, uma alternativa potencial é considerar os valores da CAD que variem em função do tipo de solo (SPERANDIO et al., 2010), o que pode ser incorporado no presente método do BHC por meio da espacialização da CAD, gerada por meio de uma ponderação, considerando-se o tipo do solo que é encontrado nos mapas de solos, como também por outros métodos de definição da CAD que busque definir seus valores de maneira mais precisa e condizente com a realidade.

Com as informações supracitadas, é perceptível a relevância de um estudo que fundamenta suas informações a partir de dados que representem de forma mais fidedigna a realidade. No caso deste estudo aqui realizado, dados com valores de CAD, precipitação pluviométrica e temperatura mais precisos e com mais densidade de informação, irão trazer resultados de aptidão climática mais próximos da realidade. Para corroborar com este argumento, segue os mapas de aptidão climática para as culturas de milho, feijão e sorgo (Figura 20), em um cenário chuvoso, para todo o Estado da Paraíba, realizado por Francisco & Santos (2018), como um resultado a ser comparado com o resultado obtido no estudo aqui realizado, analisando as diferenças entre seus dados de entrada e como isso trouxe conclusões distintas.

O cenário chuvoso foi o escolhido dentre os três cenários (seco, regular e chuvoso) que se encontram no estudo de Francisco & Santos (2018), devido à hipótese de que, por se tratar de uma região com baixos índices pluviométricos, o cenário chuvoso tem o melhor resultado possível, considerando aptidão plena como melhor resultado a ser atingindo pelas culturas. A região dentro da quadrícula consiste na região do Alto Curso do Rio Paraíba.

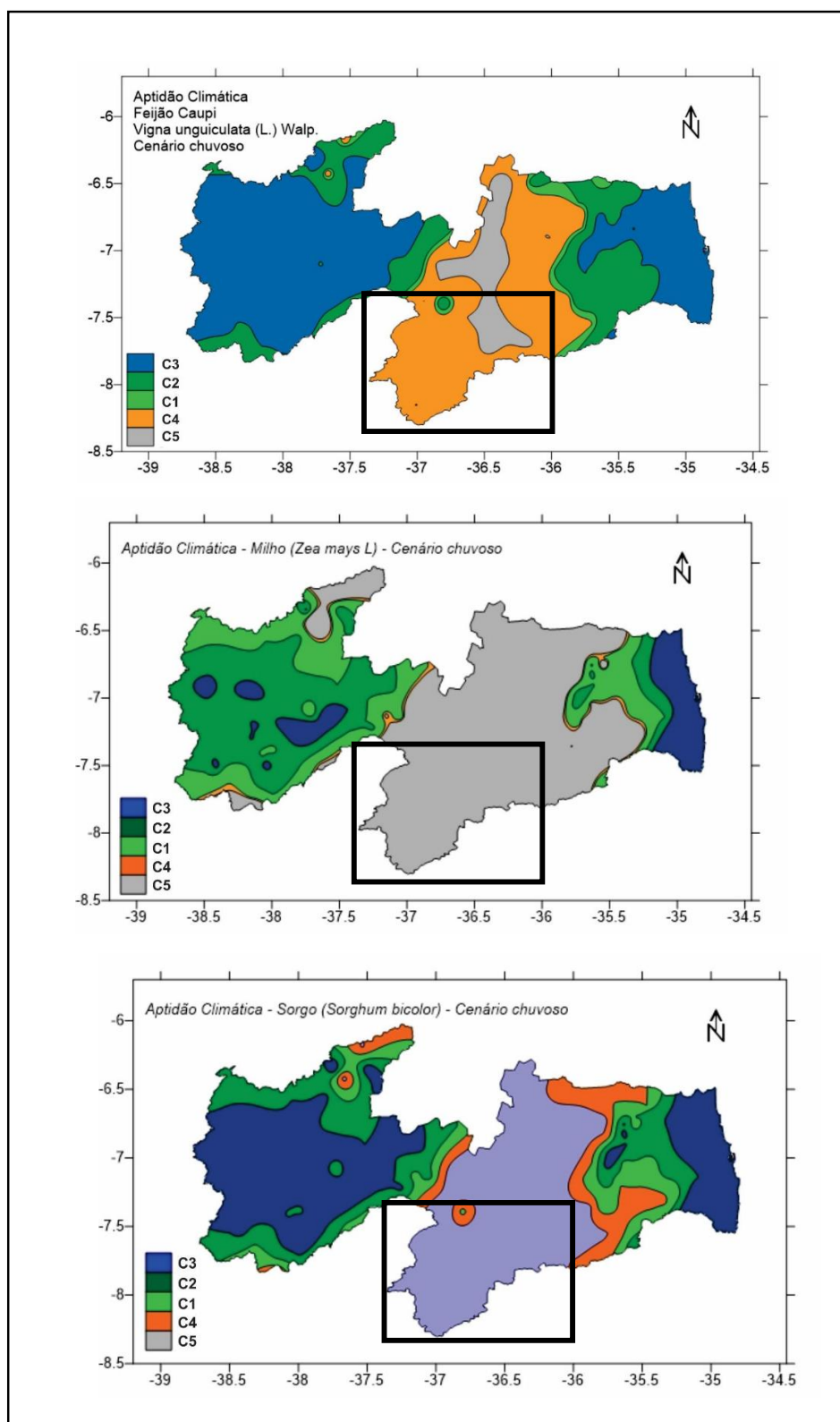
O estudo de Francisco & Santos (2018) teve como dados utilizados as séries históricas de pluviosidade e temperatura que, devido a baixa concentração de informações, passou por processos de preenchimento de falhas e homogeneização. Apesar da validade científica dessa metodologia de correção de dados, esse tipo de recurso distancia os resultados da realidade, mesmo que tragam grande relevância.

Analisando os mapas desses autores, podemos perceber que apenas o feijão-caupi, dentro da região do Alto Curso, alcança uma classificação além da classe C5, atingindo também a classe C4. Quando comparado aos resultados obtidos neste estudo e demonstrados nas Figuras 16, 17, 18 e 19, é possível vermos a seguinte relação: apenas o feijão-caupi atingiu de forma considerável as classes que limitam a produção devido ao excesso hídrico (C2 e C3) e é a única cultura que, nos resultados obtidos nas Figura 20, atinge um outro nível de aptidão climática além da aptidão inapta (no caso, aptidão moderada por deficiência hídrica). Ou seja, os dois resultados, apesar de obterem conclusões distintas, eles possuem semelhança no que se diz respeito a lógica de disponibilidade hídrica da região para atividade agrícola, mantendo, em ambos os casos, o feijão-caupi como a cultura, dentre o milho feijão e sorgo, que menos necessita de água para seu cultivo e por isso, é única cultura a atingir consideravelmente a classificação de aptidão plena, mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico para o estudo das Figuras 16, 17, 18 e 19, e de aptidão moderada por deficiência hídrica para o resultado da Figura 20.

Diante desse comparativo, entende-se que possivelmente os dados utilizados por Francisco & Santos (2018) estão subestimando o resultado de disponibilidade de água para as culturas na região, diferente do resultado encontrado no estudo aqui realizado. Esse argumento também pode ser reforçado com base nas informações aqui já mencionadas, de que as atividades agrícolas do Alto Curso do Rio Paraíba são, em sua maioria, executadas em sistema de sequeiro, e com milho e feijão como principais culturas cultivadas, não podendo ser considerada uma região com aptidão climática inapta para a essas cultiváveis.

Diante disso, com base nos resultados adquiridos no presente trabalho e no comparativo que reforça sua validade, identificamos que o sorgo possui a melhor aptidão climática para a região em estudo, quando comparado às culturas tradicionais e ainda amplamente dominantes no Alto Curso, do feijão-caupi e do milho.

Figura 18: Mapa de aptidão climática do Estado da Paraíba para as culturas do feijão-caupi, milho e sorgo, em cenário chuvoso. Fonte: Francisco & Santos (2018)



Legenda: C3 - Aptidão plena; C2 - Aptidão plena, mas com pequena probabilidade de ocorrer excesso hídrico; C1 - Aptidão moderada por excesso hídrica; C4- Aptidão moderada por deficiência hídrica C5 - Aptidão inapta.

É preciso reconhecer que, diante de um ambiente com recursos ambientais limitados no que tange a fertilidade e principalmente recursos hídricos disponíveis para o desenvolvimento agrícola, predominantemente sem o uso de irrigação, como é o caso do Alto Curso do Rio Paraíba, o sorgo torna-se uma alternativa de garantia de segurança alimentar, não só pela sua adaptabilidade ao ambiente em estudo e seu baixo custo de produção, mas também por ser um cereal rico em seus aspectos nutricionais.

Assim, diante de tantas vantagens e adaptabilidade para a região em estudo, o sorgo desponta como importante alternativa que necessita de um maior e melhor incentivo para a sua produção em um ambiente que tanto sofre com o estresse hídrico, e que tem na agricultura de subsistência uma forma de manter a segurança alimentar de sua população.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de dados desenvolvidos com uma escala de precisão maior quando comparado a outros estudos já realizados, os quais contemplam o Alto Curso do rio Paraíba, foi determinante para os resultados atingidos, visto que a generalização das características climáticas, baseando-se em uma macroescala, podem subestimar ou superestimar os fatores que contribuem para um melhor desenvolvimento da cultura.

No comparativo de resultados realizado entre este estudo e o de Francisco & Santos (2018), concluiu-se que os dados utilizados neste último subestimaram a disponibilidade de água para as culturas na região, diferente do resultado encontrado no trabalho aqui realizado. Essa conclusão é ainda reforçada pelo fato de que as atividades agrícolas do Alto Curso do Rio Paraíba são, em sua maioria, executadas em sistema de sequeiro e com milho e feijão como principais culturas cultivadas, não podendo ser considerada uma região com aptidão climática inapta para a estas culturas.

Referente aos resultados obtidos nos mapas de aptidão climática aqui desenvolvidos, concluiu-se que o sorgo é a cultura mais apta climaticamente à região do Alto Curso do Rio Paraíba comparado às culturas tradicionais de feijão-caupi e milho, que consistem nas cultivares mais produzidas nessa região. O sorgo atingiu 81,25% da área total na classe de aptidão plena (C1), e o milho e feijão atingiram 0% e 49,78%, respectivamente.

Além do bom resultado de aptidão climática na região em estudo, o sorgo também tem um baixo custo de produção, é um cereal nutritivo que apresenta alternativa para os celíacos e características nutracêuticas para a saúde humana, além da alternativa de seu uso na incorporação das preparações alimentícias, as quais são usualmente elaboradas com o trigo e o milho.

Porém, esse cereal não tem sua produção muito difundida pelo Brasil, havendo a necessidade de incentivos governamentais, particularmente centrados na apresentação e difusão das vantagens dessa cultura em relação às demais, tanto do ponto de vista de sua resistência maior ao estresse hídrico, seu potencial nutritivo, baixo custo de produção e aptidão para consumo humano e animal, configurando portanto um maior potencial de segurança alimentar e de produção agropecuária para regiões de elevada escassez pluviométrica, como é o caso do Alto Curso do Rio Paraíba.

REFERÊNCIAS

- ABDAL, A. **Sobre regiões e desenvolvimento: o processo de desenvolvimento regional brasileiro no período 1999-2010**. Tese (Doutorado em Sociologia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 261. 2015.
- AB'SABER, A. N. **Os domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 2. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, p. 158 , 2003.
- AGUIAR, M.J.N.; CAVALCANTI, A.C.; BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B.; VAREJÃO-SILVA, M.A.; COSTA, C.A.R.; NOGUEIRA, L.R.Q.; SILVA, F.B.R.; BARROS, A.H.C.; SILVA, D.F.; SILVA, E.D.V.; PEREIRA, R.C. Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no Estado do Maranhão. Fortaleza:, **Boletim de Pesquisa Embrapa-CNPAT / Recife: Embrapa-CNPS-ERP-NE**. 30p 2000.
- ALVES, F. Q. G.; SILVA, F. C.; COSTA, I. J. S.; DAVID, A. M. S. S.; SIMÕES, D. A. Qualidade fisiológica de híbridos de milho submetidos a diferentes temperaturas. XVIII. **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Goiânia-GO Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2010.
- ALVES, T. L. B. Avaliação do nível de degradação das terras (desertificação) no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. 2016. 151 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.
- ARAÚJO, L.E. **Climatologia e Vulnerabilidade Socioeconômica e Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba: Estudo de caso do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão)**. Tese (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2010.
- ARTUZO, F. D., FOGUESATTO, C. R., MACHADO, J. A. D., OLIVEIRA, L. de., SOUZA, A. R. L. de., O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 515-540, Maringá, PR 2019
- ASSAD, E.; PINTO, H. S. (Coord.) **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. São Paulo, SP. EMBRAPA e UNICAMP, Agosto, 2008.
- ASSAD, E. D.; RODRIGUES, R. A.; MAIA, S.; COSTA, L. C.; Segurança Alimentar. In: NOBRE, Carlos, MARENGO, José Antônio. **Mudanças Climáticas em Rede Um Olhar Interdisciplinar**: Contribuições do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia. Mudanças Climáticas: Canal 6 Editora, Cap. 2, p.97-124. , Bauru, SP. 2017.
- ASSAD, M. L. L.; SANS, L. M. A.; ASSAD, E. D.; ZULLO JÚNIOR, J. **Relação entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p.588-596, dez. 2001. N° Especial: Zoneamento Agrícola
- BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; TABOSA, J. N. Aptidão climática do Estado de Alagoas para culturas agrícolas. **Relatório Técnico**.

Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos n.10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5.: Embrapa Solos,. 86p. Recife . 2012

BERENJI, J.; DAHLBERG, J.; SIKORA, V.; LATKOVIC, D. **Origin, history, morphology, production, improvement, and utilization of broomcorn** [Sorghum bicolor (L.) Moench] in Serbia. *Economic Botany*, v.65, n.2, p.190-208, 2011.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RSAscar,. 85p. 2014

BORÉM A.; PIMENTEL L.; PARRELLA R. **Sorgo: do plantio à colheita**. Universidade Federal de Viçosa; Viçosa, MG: Ed UFV,. 275 p. 2014.

BRITO, S., Lavoura de milho, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3399007/milho>>

BRITO, S., Lavoura de sorgo granífero, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3684001/sorgo-brs-658>>

CAMPOS, João H. B. da C.; SILVA, Madson T.; SILVA, Vicente de P. R. da. Impacto do aquecimento global no cultivo do feijão-caupi, no Estado da Paraíba. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v. 14, n. 4, p. 396-404, Apr. 2010 .

CARDOSO, E. C. M.; **Análise Espaço-Temporal do risco à desertificação no Alto Curso do Rio Paraíba/PB a partir das modificações na Caatinga**. Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia), Universidade Federal Paraíba, João Pessoa, p. 26. 2016.

CARVALHO, M., Alimentos sem glúten feitos com sorgo (cookies, mini-pipoca, cupcakes), 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1226001/alimentos-a-base-de-sorgo>>

CECÍLIO, R.A.; SILVA, K.R.; XAVIER, A.C.; PEZZOPANE, J.R.M. **Método para a espacialização dos elementos do balanço hídrico climatológico**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.4, p.478-488, 2012.

COELHO, D. C.; FABRINI, J. E. Produção de subsistência e autoconsumo no Contexto de expansão do agronegócio. **Revista Nera**, n. 25, p. 71-87, 2014.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**. Safra 2018/19. N. 07, Brasília. Agosto 2019. 119 p.

CONTINI, Elisio et al. Milho: caracterização e desafios tecnológicos. **Embrapa Milho e Sorgo-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE)**, 2019.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do milho**. Circular Técnica 87, sete lagoas, MG, 12 p. 2006.

D'ANGIOLELLA, G. VASCONCELLOS, V. L. D.; ROSA, J. W. C. **Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia**. In: Anais. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Goiânia, Brasil, p. 83-90, 2005.

DICKO, M. H.; GRUPPEN, H.; TRAORE, A. S.; VAN BERKEL, W. J. H.; VORAGEN, A. G. J. Evaluation of the effect of germination on phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 53, p. 2581- 2588, 2005.

DUARTE, J. O. Mercado e Comercialização. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo. 8. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). 2012.

ELLIS, R. H.; LAWER, R. J.; SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H.; CHAY, P. M.; BROUWER, J. B.; ROSE, J. L.; YEATES, S. J. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Experimental Agriculture*, London, v. 30, n. 1, p. 17-29, 1994

EMBRAPA, **Manual de Segurança e Qualidade para a Cultura do Milho** Brasília: Embrapa/Sede,. 78 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA, 2004.

EMBRAPA, **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas**. Potencial Pedológico do Estado de Alagoas para Culturas Agrícolas. Relatório Técnico. Convênios SEAGRI-AL/Embrapa Solos Nos 10200.04/0126-6 e 10200.09/0134-5. Recife: Embrapa Solos, 123p, 2012.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. 2. ed. Piracicaba: Publique,. 182 p. 1997

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. **Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. *International Journal of Climatology*, p. 1–14, 2017.

GIANEZINI, M.; SALDÍAS, R.; CEOLIN, A. C.; BRANDÃO, F. S.; DIAS, E. A.; RUVIARO, C. F. **Geotecnologia aplicada ao agronegócio: conceitos, pesquisa e oferta**. *Revista Economia & Tecnologia*, Curitiba, v.8, n.2, p.167-174, 2012.

GÓES, A. C. P.; Grãos de feijão-caupi, 2013. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1076001/graos-de-feijao-caupi_vigna-unguiculata>

GONÇALVES, A.O. **Caracterização climática e aptidão das culturas anuais e perenes no zoneamento pedoclimático do Estado do Mato Grosso do Sul: 1a fase**. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 54p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos,99). Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/855927/1/bpd99caracterizacaoculturas.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Produção agrícola municipal. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. 24 Set. 2019.

_____. Censo Demográfico, 2010. Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/>> . Acesso em: 20 out. 2019.

LEMOS, J. J. S. **Semiárido no Mundo**, 2015. Disponível em: <<http://www.lemos.pro.br/semiarido-no-mundo/>>. Acesso em: 15 out. 2019.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F. OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A. B. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de Irrigação. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 2, p. 79-86, 2007.

LIMA, I. V. **Produção de subsistência/autoconsumo e resistência camponesa no Assentamento Pedro Ramalho em Mundo Novo (MS)**. 146f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Francisco Beltrão. 2010

MACEDO, M. J. H.; SANTO, F. A. C.; SOUSA, F. A. S.; Geoprocessamento aplicado as características físicas e biofísicas da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba. *Revista de Geografia*, v. 34, n. 2, 2017.

MACIEL, G. F.; AZEVEDO, P. V. DE; ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE. FRANCISCO, P. R. M.; PEREIRA, F. C.; MEDEIROS, R. M.; SÁ, T. F. F. 1054 Aquecimento global no zoneamento de risco climático da soja no estado do Tocantins. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal , v. 6, n. 3, p. 141-154.2009.

MAPA. 2014. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Integrado de Legislação. BINAGRI SISLEGIS. Portaria 233/2014 de 24/11/2014. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPort alMapa&chave=304999056>. Acesso em: 20 de Outubro de 2019.

MATOS, M.J.L.F.; TAVARES, S.A.; SANTOS, F.F.; MELO, M.F.; LANA, M.M. Milho verde. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2007. Acesso em: 20/08/2013.

MATOS, R. M.; MEDEIROS, R. M.; FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, P. F.; SANTOS, D. **Caracterização e aptidão climática de culturas para o município de Alhandra - PB, Brasil**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 9, n. 3, p. 183-192, 2015.

MAY, T., Grãos de sorgo e algumas de suas diferentes colorações, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2601001/sorgo>>

MEDEIROS, R. M.; AZEVEDO, P. V.; SABOYA, L. M. F.; FRANCISCO, P. R. M. **Classificação climática e zoneamento agroclimático para o município de Amarante – PI**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 7, n. 2, p. 170 - 180, 2013.

MIRANDA, R. A. de. **Uma história de sucesso da civilização. A Granja**, v. 74, n. 829, p. 24-27.2018.

NIMER. E., **Desertificação: realidade ou mito?**, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 50, n.1, p.7-39, 1988.

NUNES, E. L.; AMORIM, R. C. F.; SOUZA, W. G.; RIBEIRO, A.; SENNA, M. C. A.; LEAL, B. G. Zoneamento agroclimático da cultura do café para a Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.297-302, 2007.

PARAÍBA, Governo do Estado. "Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba." João Pessoa (2006).

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 478 p.

POSSAS, J. M. C.; CORREA, M. M.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; CALDAS, A. M.; Fontes Júnior, R. V. P. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso no Estado de Pernambuco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.993-998, 2012.

QUEIROZ, V. A. V.; VIZZOTTO, M.; CARVALHO, C. W. P.; MARTINO, H. S. D. **O sorgo na alimentação humana**. Embrapa Milho e Sorgo, 2009.

RIBEIRO, M. E., Colheita de feijão-caupi, 2017. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3808001/feijao-caupi-colheita-manual>>

RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 108 p. 2002.

ROONEY, L. W. **Food and nutritional quality of sorghum and millet**. INTSORMIL Annual Report, Lincoln, p. 91-93, 2007.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 145 p., 2001.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I. T.. Desempenho produtivo de cultivares de sorgo forrageiro e granífero na Paraíba. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 7, n. 2, p. 49-55. 2013

SANTOS, L. A. C; SILVA, D. M. P; OLIVEIRA, I. M; PEREIRA, C. E; CAMPOS, M. C. C; Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea; **Ambiência Guarapuava (PR)** v.13 n.1 p. 261 – 270. -ISSN 2175 – 9405. 2017

SILVA, K. R. da; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. de O. Zoneamento edafoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**, v.18, n.1, p.1-12, 2013.

SILVA, M. T.; SILVA, V. de P. R. da; AZEVEDO, P. V. de. **O cultivo do algodão herbáceo no sistema de sequeiro no nordeste do Brasil, no cenário de mudanças climática**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, p.80-91, 2012.

SILVA, P. C. G. et al. Caracterização do Semiárido Brasileiro: fatores naturais e humanos. In: Sá & Silva. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido,. Cap. 1. p. 19-48. 2010

SILVA, R. M. A.. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semi-árido. **Soc. estado.**, Brasília , v. 18, n. 1-2, p. 361-385, 2003 .

SILVA, S. T. “Zoneamento Ambiental, instrumento de Gestão Integrada do Meio Ambiente”. In: ROCHA, J. C. C. et. al. **Política nacional de meio ambiente: 25 anos da Lei n. 6.938/81**. Belo Horizonte, Del Rey, p. 151-173, 2007.

SINGH, B.B. et al. Recent progress in cowpea breeding. In: FATOKUN, C.A. et al. (Ed.). **Challeng and opportunities for enhancing sustainable cowpea production**. Ibadan: IITA,, p.22-40. 2002

SOUSA, F. D. M.; PORTELA, G. L. F.; LIMA, M. G. D.; SOUSA, M. **Zoneamento agroclimático da cultura da goiabeira no estado do Piauí, Brasil**. Agropecuária científica no semiárido. n. 3, v. 9, p 81-86, 2013.

SOUSA, R. F. DE; MOTTA, J. D.; GONZAGA, E. DA N.; FERNANDES, M. DE F.; SANTOS, M. J. DOS. Aptidão agrícola do assentamento Venâncio Tomé de Araújo para a cultura da Mamona (*Ricinus communis* – L.). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**,v.4, n.1. 2004.

SOUZA, B. I. Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação. 2008. 198 f. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SPERANDIO, H.V.; CAMPANHARO, W.A.; CECÍLIO, R.A.; NAPPO, M.E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no Estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, v.11, p.203-216, 2010.

TABOSA, J.N.; TAVARES, J.A.; REIS, O.V. DOS; SIMPLÍCIO, J.B.; LIMA, J.M.P. DE; CARVALHO, H.W.L. DE; NASCIMENTO, M.M.A. do. Potencial do Sorgo Granífero em Pernambuco e no Rio Grande do Norte – Resultados obtidos com e sem irrigação. In: **Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, 28., 2008, Londrina, PR. Anais. CD Rom.

THON, H. S. C. A note on the gamma distribution. Monthly Weather Review v.86, n.4, p.117-121, 1951. Londrina: ABMS., 2008

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed., Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943 p., 2009.

VAN RIJ, E.; KORTHALS ALTES, W. K. “**The merits of outmoded planning instruments for improving metropolitan green areas: The Midden-Delfland approach**”. Planning Theory & Practice, v. 9, n. 3, p. 345-362, 2008

VOLPATO, M. M. L.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 246, 2008. Não paginado.

VON PINHO, R.G.; VASCONCELOS, R.C. **Cultura do sorgo: textos acadêmicos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 76 p.

WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A.; CRUZ, I. **Manejo de pragas na cultura do sorgo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo,. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 27). 2003

WOLLMANN, C. A.; GALVANI, E. Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 179-190, 2013.

XAVIER, J. H. V., Colheita de milho, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/2869005/projeto-unai>>