



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
Faculdade de Ciências Aplicadas  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Manufatura

YURI MIGUEL TEIXEIRA DA COSTA

ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA A DECISÃO DE PLANTIO DE  
MILHO EM ANGOLA.

AGRICULTURAL ZONING FOR THE CORN PLANTATION  
DECISION IN ANGOLA.

LIMEIRA-SP  
2018

YURI MIGUEL TEIXEIRA DA COSTA

ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA A DECISÃO DE PLANTIO DE  
MILHO EM ANGOLA

AGRICULTURAL ZONING FOR THE CORN PLANTATION  
DECISION IN ANGOLA.

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Aplicadas da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura, na área de Pesquisa Operacional e Gestão de Processos.

Dissertation presented to the Faculty of Applied Sciences of the State University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Production and Manufacturing Engineering in the area of Operational Research and Process Management.

*Orientador.* PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE ARRUDA IGNÁCIO

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO YURI MIGUEL TEIXEIRA DA COSTA, E ORIENTADA PELO PROF. DR. PAULO SÉRGIO DE ARRUDA IGNÁCIO

LIMEIRA-SP  
2018

**Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s):** Não se aplica.

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Faculdade de Ciências Aplicadas  
Renata Eleutério da Silva - CRB 8/9281

C823z Costa, Yuri Miguel Teixeira da, 1986-  
Zoneamento agrícola para decisão de plantio de milho em  
Angola / Yuri Miguel Teixeira da Costa. – Limeira, SP: [s.n.], 2018.

Orientador: Paulo Sérgio de Arruda Ignácio.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas,  
Faculdade de Ciências Aplicadas.

1. Produtividade agrícola - Angola. 2. Agricultura sazonal. 3. Milho -  
Cultivo.  
I. Ignácio, Paulo Sérgio de Arruda, 1963-. II. Universidade  
Estadual de Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III.  
Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Agricultural zoning for the corn plantation decision in Angola

**Palavras-chave em inglês:**

Agricultural productivity -

Angola Seasonal agriculture

Corn – Farming

**Área de concentração:** Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

**Titulação:** Mestre em Engenharia de Produção e de Manufatura

**Banca examinadora:**

Paulo Sérgio de Arruda Ignácio [orientador]

Christiano França da Cunha

Jansle Vieira Rocha

**Data de defesa:** 15-02-2018

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia de Produção e de Manufatura

# FOLHA DE APROVAÇÃO - DISSERTAÇÃO

AUTOR: YURI MIGUEL TEIXEIRA DA COSTA

TÍTULO: ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA A DECISÃO DE PLANTIO DE MILHO EM ANGOLA

Área de concentração: Engenharia de Produção e de Manufatura /Pesquisa Operacional e Gestão de Processos

Faculdade de Ciências Aplicadas – UNICAMP

Data da Defesa: Limeira, 15 de fevereiro de 2018.

## BANCA EXAMINADORA:

-----  
Prof. Dr. Paulo Sérgio de Arruda Ignácio (Orientador)

-----  
Prof. Dr. Christiano França da Cunha

-----  
Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha

A Ata de Defesa com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha Mãe, Maria Alice da Costa que tudo tem feito para que os meus sonhos e projetos de vida se realizem.*

## AGRADECIMENTOS

AGRADEÇO...

Aos meus familiares que mesmo longe nesses últimos três anos que durou a minha permanência no Brasil sempre estiveram comigo no dia-dia, me apoiando e acompanhando permitindo terminar com êxito este curso de Mestrado.

Professor Paulo Ignácio, sinceramente sem você eu não teria conseguido. Obrigado pela dedicação, a insistência, paciência e cobranças. Espero ter atingido as suas expectativas.

Aos professores Christiano Cunha, Rodrigo Hakamada e Jansle Rocha, pelas contribuições temáticas para o trabalho e a Lívia Verzenhassi pelo suporte ortográfico.

Aos professores Cristiano Torrezan, Washington de Oliveira, Aníbal Tavares, Leonardo Tomazelli, Carla Lucke, Antônio Moretti, Cristiano Morini, Johan Poker e outros, pelos ensinamentos e convivência.

Ao Nilson Moreira, pelo conhecimento e suporte partilhado na utilização do software MatLAB, que foi muito útil para a construção da modelagem. Ao pessoal do Labgeo – FEAGRI, em especial o professor Jansle Rocha e o técnico Agmon Rocha, que apesar de eu aparecer tão de repente e ser completamente externo à unidade me acolheram como filho da casa. Também pelo suporte e dos primeiros passos sobre ferramentas do geoprocessamento. Ao engenheiro Alberto Ndunduma do Instituto Nacional de Cereais de Angola pela disponibilização dos dados, que foram importantíssimos para o desenvolvimento do trabalho.

À todos aqueles que constituem o quadro de pessoal da UNICAMP, desde professores, funcionários administrativos, seguranças, servidores externos e de suporte e meus colegas, amigos e companheiros do dia – dia, nomeadamente: Nilson Moreira, Eunice Canjombia, Adzânia Fernandes, Couervie Mianami, Marius Locoussou, Seuna Naghada, Débora Melo, Sonia Gomes, Nelynha Bandeira, Leonardo Takahashi, Márcia Rodrigues, Vanderléia da Silva, Mateus Modesto, Lívia Verzenhassi, Wagner Bertiz, Guilherme Cassicala, entre outros, direta ou indiretamente fizeram parte do percurso.

Enfim, a lista é grande, mas muito obrigado a todos.

## RESUMO

Até 2003 a população humana global estava em torno de 6 bilhões de pessoas, mas espera-se que ela cresça para 9 bilhões até 2050. A FAO estima que hoje um total de 815 milhões de pessoas passa fome crônica contínua em todo o mundo e mais 2 bilhões sofrem de deficiências de micronutrientes ou fome oculta. A maioria dessas pessoas está localizada em partes mais pobres do planeta como a África (Angola). A produção agrícola precisa ser aumentada para fornecer alimentos e fibras para a crescente população global. Portanto, este trabalho tem o objetivo primário de desenvolver um zoneamento agro edáfico para a decisão de plantio de milho na Angola (ZAE-Milho), analisando os variados parâmetros de clima e solo. Como objetivos secundários tem-se: primeiro, definir os indicadores dos fatores climático-pedológicas a estimar e suas diferentes classes de aptidão em função do grau de requisição; segundo, efetuar as estimativas desses fatores (relevo, condições hídricas e de temperatura/insolação) com base nos atributos das regiões e dados disponíveis; terceiro, delimitar o território estudado por regiões e épocas de plantio para os níveis de adequação de fatores das características regionais, estimados para a cultura específica. O problema é abordado de forma quantitativa, em uma abordagem axiomática normativa, com ênfase em funções de regressão empírica e esquemas de classificação hipotéticas das relações entre os rendimentos das culturas e os atributos selecionados da terra. A modelagem avaliou os atributos de clima e solo de 164 regiões da Angola, para prever as melhores épocas de plantio, que determinem altas produtividades para a cultura do milho. O modelo de zoneamento é uma combinação de duas abordagens: um modelo matemático-fisiológico (GAEZ – FAO) e um modelo de avaliação da aptidão agrícola das terras e/ou solo (ZAE). Os resultados encontrados mostraram que a região central da Angola, que compreende partes das províncias de Huambo, Bié, Huíla, Moxico e Kuando Kubango revelaram-se como as regiões mais aptas para a cultura do milho, sendo as melhores épocas de plantio os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, quando as regiões atingem maiores áreas de aptidão. O modelo mostrou-se adequado, porque comparativamente ao Brasil, que foi utilizado como a região de referência para esse estudo pela semelhança climática e pelo posicionamento geográfico, as regiões determinadas como as mais aptas para o cultivo do milho na Angola, coincidem em linha latitudinal ao longo do equador com os estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Tocantins, que representam para o Brasil os maiores produtores de grãos, particularmente o milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Produtividade agrícola; Agricultura sazonal; Angola; Milho Zea Mays.

## ABSTRACT

By 2003 the global human population was around 6 billion people, but is expected to grow to 9 billion by 2050. The FAO estimates that today a total of 815 million people are experiencing continuous chronic hunger all over the world and over 2 billion suffer from micronutrient deficiencies or hidden hunger. Most of these people are located in the poorest parts of the planet such as Africa (Angola). Agricultural production needs to be increased to provide food and fiber to the growing global population. Therefore, this work has the primary objective of developing an agro-edaphic zoning for the decision of maize planting in Angola (ZAE-Maize), analyzing the various parameters of climate and soil. Secondary objectives are: first, to define the indicators of climatic-pedological factors to be estimated and their different fitness classes according to the degree of requisition; second, to make estimates of these factors (relief, water and temperature / insolation conditions) based on the attributes of the regions and available data; third, to delimit the territory studied by regions and planting times for the levels of factor adequacy of the regional characteristics, estimated for the specific culture. The problem is addressed quantitatively in a normative axiomatic approach, with emphasis on empirical regression functions and hypothetical classification schemes of the relationships between crop yields and selected land attributes. The modeling evaluated the climate and soil attributes of 164 regions of Angola to predict the best planting times, which determine high yields for maize. The zoning model is a combination of two approaches: a mathematical-physiological model (GAEZ-FAO) and a model for assessing agricultural land and / or soil (ZAE) suitability. The results showed that the central region of Angola, which comprises parts of the provinces of Huambo, Bié, Huíla, Moxico and Kuando Kubango proved to be the most suitable regions for maize cultivation, with the best planting times being the months of November, December, January and February, when the regions reach greater areas of aptitude. The model was adequate because, compared to Brazil, which was used as the reference region for this study due to climatic similarity and geographic positioning, the regions determined as the most suitable for maize cultivation in Angola coincide in latitudinal line along the equator with the states of Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais and Tocantins, which represent the largest grain producers in Brazil, particularly maize.

**KEYWORDS:** Agricultural productivity; Seasonal agriculture; Angola; Zea Mays corn/maize.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DELINEAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO. ....	19
FIGURA 2 – EXEMPLO DE UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO DO PLANTIO PARA UMA REGIÃO DO NORTE DE ÁFRICA. ....	23
FIGURA 3 - A RELAÇÃO ENTRE OS RENDIMENTOS POTENCIAIS ATINGÍVEIS, FATORES DE LIMITAÇÃO E REDUÇÃO DO RENDIMENTO. ....	34
FIGURA 4 - FATORES DE INFLUÊNCIA PARA PRODUTIVIDADE DO MILHO. ....	53
FIGURA 5 - CICLOS VEGETATIVOS DA CULTURA DO MILHO. ....	55
FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DAS IMPORTAÇÕES EM ANGOLA (MILHÕES DE USD). ....	65
FIGURA 7 – VALORES DAS IMPORTAÇÕES DE BENS (2002-2014). ....	66
FIGURA 8 - ÁREAS SEMEADAS EM ANGOLA REFERENTE AOS SETORES FAMILIAR E EMPRESARIAL. ....	68
FIGURA 9 – DISPONIBILIDADE PER CAPITA DE CEREAIS POR PROVÍNCIA. ....	69
FIGURA 10 - POSICIONAMENTO SAZONAL DA CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL DE ÁFRICA. (A) INVERNO NO HEMISFÉRIO SUL (B) VERÃO NO HEMISFÉRIO SUL. ....	71
FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA EM ANGOLA. ....	72
FIGURA 12 - MAPA DO RELEVO DE ANGOLA (ALTITUDE) ....	74
FIGURA 13 - MAPA DO RELEVO DE ANGOLA (DECLIVIDADE). ....	75
FIGURA 14 - PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DE ANGOLA. ....	77
FIGURA 15 - ESTRUTURA GERAL DO ZAA-MILHO ....	81
FIGURA 16 – DESENVOLVIMENTO DA ETAPA I. ....	84
FIGURA 17 – DESENVOLVIMENTO DA ETAPA II. ....	85
FIGURA 18 – APTIDÃO DO TERRENO PARA A ALTITUDE E DECLIVIDADE. ....	88
FIGURA 19 – ESTRUTURA DA ESTIMATIVA II. ....	90
FIGURA 20 - CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS DIUNAS (TDIA) ....	93
FIGURA 21 - CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS NOTURNAS (TNOITE). ....	97
FIGURA 22 – ESTRUTURA DA ESTIMATIVA III ....	100
FIGURA 23 - VALORES DE $K_c$ PARA ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DO MILHO. ....	103
FIGURA 24 - ADEQUAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO. ....	109

FIGURA 25 - CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A SATISFAÇÃO HÍDRICA (ISNA).....	112
FIGURA 26 - DESENVOLVIMENTO DA ETAPA III.....	114
FIGURA 27 - ILUSTRAÇÃO DAS CAMADAS PARA A SOBREPOSIÇÃO.....	114
FIGURA 28 – CONFIGURAÇÃO DAS CAMADAS PARA SOBREPOSIÇÃO NO WEIGHTED – SUM.....	115
FIGURA 29 - DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ADEQUAÇÃO CONSIDERANDO O CPC. ....	118
FIGURA 30A - UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO DE PLANTIO (CENÁRIO 1 - 4) .....	121
FIGURA 31 – ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 AGOSTO. ....	124
FIGURA 32 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 SETEMBRO .....	125
FIGURA 33 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 OUTUBRO .....	127
FIGURA 34 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 NOVEMBRO .....	128
FIGURA 35 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 DEZEMBRO .....	130
FIGURA 36 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 FEVEREIRO.....	131
FIGURA 37 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 MARÇO .....	133
FIGURA 38 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 ABRIL .....	134
FIGURA 39 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA AS POSSÍVEIS ÉPOCAS DE PLANTIO.....	135
FIGURA 40 - VARIAÇÃO ESPACIO-TEMPORAL DAS DISPONIBILIDADES TÉRMICAS.....	137
FIGURA 41 - VARIAÇÃO ESPACIO-TEMPORAL DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS. ....	138
FIGURA 42 - VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 AGOSTO .....	139
FIGURA 43 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 SETEMBRO .....	140
FIGURA 44 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 OUTUBRO.....	142
FIGURA 45 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 NOVEMBRO.....	143
FIGURA 46 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 DEZEMBRO .....	145
FIGURA 47 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 FEVEREIRO.....	146
FIGURA 48 - VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 MARÇO .....	148
FIGURA 49 - VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 ABRIL .....	149

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE ZONEAMENTOS NO BRASIL.....	46
QUADRO 2 - PORCENTAGEM DE EMERGÊNCIA, VIGOR E DURAÇÃO DO PERÍODO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. ....	64
QUADRO 3 - REGIMES DE UMIDADES DOS DIAS DE CPC, DETERMINADOS PELA FAO. ....	72
QUADRO 4 – VALORES DE ÁREA DOS PRINCIPAIS SOLOS DE ANGOLA.....	78
QUADRO 5 - GRAUS DE ADEQUAÇÃO DEVIDO AS CONDIÇÕES DE RELEVO DO TERRENO.....	87
QUADRO 6 - CLASSES DE APTIDÃO PARA TEMPERATURAS DIURNAS.....	92
QUADRO 7 - CLASSES DE APTIDÃO PARA TEMPERATURAS NOTURNAS.....	95
QUADRO 8 - AMOSTRAS DA FRAÇÃO DE DEPLEÇÃO DE ÁGUA DO SOLO SEM ESTRESSE (p), PARA CULTURA DE REFERÊNCIA.....	102
QUADRO 9 - CLASSES DE APTIDÃO PARA A SATISFAÇÃO HÍDRICA.....	110
TABELA 1 – REQUISIÇÃO DE DADOS PARA A ETAPA II.....	86
TABELA 2 - CLASSES DE APTIDÃO PARA O ZAA-MILHO.....	119
TABELA 3 – CONSTITUIÇÃO DAS GRANDES REGIÕES DE ANGOLA. ....	120
TABELA 4 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 AGOSTO.....	124
TABELA 5 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 SETEMBRO.....	126
TABELA 6 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 OUTUBRO.....	127
TABELA 7 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 NOVEMBRO.....	129
TABELA 8 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 DEZEMBRO.....	130
TABELA 9 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 FEVEREIRO.....	132
TABELA 10 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 MARÇO.....	133
TABELA 11 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 ABRIL.....	135

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2. OBJETIVOS.....	16
1.3. JUSTIFICATIVA.....	16
1.4. DELINEAMENTO E LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	18
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
2.1. DECISÕES DE PLANTIO .....	22
2.2. ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA AS DECISÕES DE PLANTIO .....	27
2.3. MODELOS DE ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA O PLANTIO.....	33
2.3.1. Modelos de Zoneamento pelo Mundo .....	35
2.3.2. Modelos de Zoneamento no Brasil.....	44
2.4. CARACTERÍSTICAS AGRÍCOLAS PARA DECISÕES DE PLANTIO.....	50
2.4.1. A cultura do Milho .....	50
2.5. ANGOLA.....	64
2.5.1. Panorama econômico e produtivo.....	64
2.5.2. Perfil edafo-climático.....	70
<b>3. METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>79</b>
3.1. MÉTODOS DE PESQUISA.....	79
3.2. MODELAGEM.....	79
<b>4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS</b> .....	<b>82</b>
4.1. DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM.....	82
4.1.1. Etapa I - Bases para coleta, manipulação e geração de dados.....	82
4.1.2. Etapa II - Determinação das estimativas para ZAA-Milho.....	85
4.1.3. Etapa III - Elaboração do Zoneamento para o ZAA-Milho. ....	114
4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	119
4.2.1. Resultados.....	120
4.2.2. Discussão. ....	136
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>150</b>
5.1. OPORTUNIDADES FUTURAS .....	152
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>154</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A nutrição é considerada uma necessidade humana fundamental que afeta de inúmeras maneiras a saúde e o bem-estar ao longo da vida dos seres humanos. Hammond & Dubé (2012) a define como: quando todas as pessoas, em todos os momentos e todos os lugares, têm acesso físico e econômico a alimentos suficientes, seguros e nutritivos para atender suas necessidades e preferências alimentares para uma vida ativa e saudável.

O estudo da nutrição humana apresenta-se como um conceito central para a segurança alimentar, pois a fome e a desnutrição são as manifestações mais cruéis da situação de insegurança alimentar, sendo a incapacidade de acesso aos alimentos a sua principal causa. Apesar do crescimento da produção agrícola nas últimas quatro décadas, a baixa capacidade de acesso aos alimentos mostra-se como a questão crucial para a segurança alimentar (MALUF et al., 2000).

O crescimento econômico desigual, as transformações sociais e econômicas e outros fatores estão moldando a forma como trabalhamos nossos sistemas alimentares, na forma como produzimos, recolhemos, armazenamos, transportamos, transformamos e distribuimos alimentos, podendo melhorar nossas dietas, nossa saúde e nosso impacto nos recursos naturais (FAO, 2017a).

### 1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Até 2003 a população humana global estava em torno de 6 bilhões de pessoas, mas espera-se que ela cresça para 9 bilhões até 2050 (FAO, 2000; HAFNER, 2003; SINGH; PANDA, 2012). Portanto, a FAO<sup>1</sup> estima que, atualmente, em todo o mundo, um total de 815 milhões de pessoas passam fome crônica continuamente e mais de 2 bilhões sofrem de deficiências de micronutrientes ou fome oculta. A maioria dessas pessoas está localizada em países em desenvolvimento, mas principalmente nas partes mais pobres do planeta como a África, em especial países como a Angola - objeto de estudo desta pesquisa - que tem uma população

---

<sup>1</sup> Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação.

rural ascendente, cujos padrões de vida podem ser considerados sob extrema pobreza (CEIC, 2016).

Em Angola, os gastos com alimentação têm um peso muito distinto na composição das despesas das famílias nos diferentes estratos de renda, sendo que o acesso regular e adequado á alimentos nos estratos inferiores é custoso (absorve parcela significativa da renda familiar), e pode comprometer o acesso a outros bens e serviços necessários a uma vida digna (CEIC, 2016). Os custos humanos, sociais e econômicos para a sociedade em geral são enormes em termos de perda de produtividade, saúde, bem-estar, diminuição da capacidade de aprendizagem e redução do potencial humano (MALUF et al., 2000), pois esse cenário contribui para o ciclo vicioso de desnutrição e subdesenvolvimento (MOHAMED et al., 2016).

Existem poucas alternativas para atender a enorme demanda de produtos principalmente agrícolas e/ou alimentares. A economia nacional de Angola é essencialmente importadora, vive tanto da importação<sup>2</sup> quanto depende do petróleo em todos os seus setores (VAZ PEREIRA & GALÁN, 2015). Segundo CEIC (2016) o país importa quase tudo, desde os bens mais básicos como água, alimentos, confecções diversas, calçados, até bens mais complexos, como equipamentos, automóveis, barcos, aviões.

Deve-se adotar medidas para incrementar a produção e distribuição alimentar. Ela permitirá fornecer alimentos e fibras para a crescente população com tendências projetadas em dieta, consumo e renda, pois é reconhecida como uma excelente alternativa para maior produção e disponibilização dos mais variados produtos alimentares e energéticos, constituindo-se suporte para o projeto governamental de ampliação e diversificação do padrão alimentar, e para criação de empregos e aumento da renda da população envolvida nessa atividade.

Segundo Singh & Panda (2012) e Van Wart et al. (2013) esse aumento pode ser feito com expansão da área agrícola ou aumentando a produção por unidade de área de recursos de terra e água disponíveis, propiciando um melhor aproveitamento das áreas, e como consequência diminuir a pressão sobre as áreas

---

<sup>2</sup> Atualmente a importação representa 80% de tudo que se coonsome (mais detalhes ver secção 2.5.1.

consideradas de proteção ambiental à custa de emissões substanciais de gases de efeito estufa. Pimentel et al. (1995), debatem-se sobre a disponibilidade limitada de terra, afirmando que a contínua degradação limita a área de terra disponível para expansão agrícola na maioria das nações, e segundo Perez & Leclerc (2000) e Hafner (2003) os ecologistas afirmam que o crescimento do rendimento está diminuindo, devido a restrições biofísicas sobre a planta, que muitas vezes apresentam evidências de um declínio baseado em tendências históricas.

Nestas condições, a disponibilidade de alimentos é totalmente afetada, influenciando os resultados do rendimento por unidade de área. Segundo Hafner (2003), para prevenir ou se preparar para a falta de alimentos no futuro, é necessária uma compreensão da magnitude provável e da distribuição dos futuros rendimentos de cereais pondo em obra programas que considerem a trilogia política-planta-clima como um princípio inabalável, e conseqüentemente as opções de diversidade na alimentação para os atores e os seus familiares. O desenvolvimento tecnológico tem dado a capacidade de modificar direta ou indiretamente o estado e a condição do contexto, produzindo um estado generalizado de preocupações e alertas que deve ser esclarecido, a fim de se desenvolver uma agricultura economicamente e ambientalmente sustentável.

Para Zhao & Yang (2018) e Maluf et al. (1995) o zoneamento agrícola constitui um importante subsídio às atividades que dependem direta ou indiretamente do meio ambiente, pois possibilita o conhecimento de áreas com potencial agrícola para estabelecimento de culturas, minimizando riscos causados por adversidades. Para Monteiro (2009) e Assad (2009), o zoneamento determina a aptidão ou risco agrícola das regiões de um país, estado ou município, definindo desenvolvimento de melhores políticas agrícolas, financiamento, e maior produção. Permite definir em cada região, a aptidão para o cultivo de determinada espécie de interesse agrícola, considerando as exigências agroclimáticas, agro edáficas dos cultivos e as informações micro e macroeconômicas.

Assim, pode-se perguntar: quais as melhores épocas e zonas para a cultura de milho na Angola, que satisfaçam os requisitos de clima e solo, a fim de se obter altas produtividades da cultura, e com isso solucionar os problemas de facilidade de acesso e oferta de alimentos?

## 1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo primário de desenvolver um zoneamento agro edáfico para a decisão de plantio de milho em Angola (ZAE-Milho), analisando os variados parâmetros de clima e solo.

Como objetivos secundários têm-se:

- Definir os indicadores dos fatores climático-pedológicas a estimar e suas diferentes classes de aptidão em função do grau de requisição para maior capacidade de produção agrícola do milho.
- Efetuar as estimativas desses fatores, com base nos atributos das regiões e dados disponíveis;
- Delimitar o território estudado por regiões e épocas de plantio para os níveis de adequação dos fatores e características regionais estimados para a cultura específica.

## 1.3. JUSTIFICATIVA

Um dos principais motores da oferta de alimentos e garantia da segurança alimentar é o sistema agrícola, pois a atividade agrícola continua sendo a mais importante fonte de alimentos e renda para a maioria das unidades familiares rurais (HAMMOND; DUBÉ, 2012). Abrange uma série de processos inter-relacionados, incluindo a produção de materiais alimentares através da agricultura e criação de gado, processamento, embalagem, distribuição e consumo (ERICKSEN, 2008; HAMMOND; DUBÉ, 2012).

Uma característica importante das iniciativas que promovem a produção agroalimentar é a de que elas possibilitam, simultaneamente, tanto criar oportunidades de trabalho e de apropriação de renda às famílias, quanto ampliar e melhorar a oferta de alimentos no âmbito regional e nacional (MALUF et al., 2000). A título de exemplo, Kinsey (2001) estima que no ano de 2000, só o setor de alimentos e agricultura (não contabilizando serviços auxiliares) nos Estados Unidos representava mais de 9% do produto interno bruto (PIB), e que essa contribuição para o PIB e outros setores agrícolas tem se expandindo. No entanto, espera-se que esse crescimento futuro se expanda para países subdesenvolvidos como a Angola.

Em Angola a produção de cereais é fundamental pela sua importância como alimento básico, e no caso do milho representa uma matéria-prima inestimável para o fabrico de rações e assim incrementar a produção pecuária (CEIC, 2016). Para Barros & Calado (2014) o milho é uma cultura associada para a produção de silagem e grãos, a qual é de excelente qualidade, afirmando-se atualmente como uma cultura com enorme potencialidade produtiva, tendo um contributo importante para a vitalidade das economias regionais e nacionais.

O aumento simultaneamente sustentado da produtividade e da área de plantio só pode ser explicado sob condições climáticas mais adequadas às exigências dessas culturas (DE LA CASA & OVANDO, 2014). Para Battaglia et al. (2002) qualquer procedimento de levantamento do local é fundamental para garantir que a terra apropriada é selecionada para incrementar a taxa interna de retorno dos investimentos, a produtividade das plantações e melhor relação custo/benefício. Num contexto de mudança no ambiente natural é imperativo um monitoramento sistemático, contínuo e prolongado de variáveis ambientais para assegurar que um diagnóstico específico, retrospectivo ou prospectivo, possa ser realizado com dados de observações confiáveis, a fim de avaliar consistentemente as condições climáticas e o seu impacto (DE LA CASA & OVANDO, 2014).

A organização racional dos sistemas de produção agrícola deve adotar, planejar e realizar atividades com base em informações sobre o ambiente, tanto para proteger o potencial produtivo quanto para salvaguardar a sustentabilidade ambiental (SMITH, 2000; DE LA CASA & OVANDO, 2014), pois na maioria dos casos ao se olhar apenas para o aumento da produtividade focada no aumento do tamanho das plantações e da sua área, inclui-se dentro do limite, regiões pobres em clima e terra (BATTAGLIA et al., 2002).

O zoneamento agrícola é uma ferramenta fundamental para a criação e implementação de mecanismos de orientação da cadeia de produção agrícola. Ele permite a partir do conhecimento das variabilidades climáticas locais (precipitação, evapotranspiração, etc.) e de sua espacialização regional, definir regiões de aptidão climática e épocas mais adequadas de semeadura como forma de diminuir os efeitos causados pela má distribuição de fatores de produção (TEIXEIRA, & AZEVEDO, 1998; ANDRADE JUNIOR et al., 2001). Para Angola, em particular, constitui-se uma base

técnico-científica para se buscar a sustentabilidade dos pontos de vistas social, econômico e ambiental, pela indicação das terras mais adequadas à cultura específica.

Trabalhos para planejamento dos agros alimentos são desenvolvidos e utilizados a uma situação específica da vida real como um modelo (AHUMADA & VILLALOBOS, 2009). Em tais situações, a utilização de modelos matemáticos permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidades e apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões (CAUCHICK et al., 2012). Para Cauchick et al. (2012) um modelo pode ser definido como uma representação de uma situação ou realidade, conforme vista por uma pessoa ou um grupo de pessoas, e construído de forma a auxiliar o tratamento daquela situação de uma maneira sistemática. Ainda segundo Cauchick et al. (2012) um modelo deve, por um lado, ser suficientemente detalhado para captar elementos essenciais e representar o sistema real; e por outro lado, ser suficientemente simplificado (abstraído) para ser tratável por métodos de análise e resolução conhecidos.

Esses modelos são então usados para apoiar a tomada de decisão e processos de aprendizagem e podem ser usados para prever ou explorar desenvolvimentos futuros de sistemas, ou para melhorar a compreensão de seu comportamento em um ambiente específico e bem delimitado (VAN ITTERSUM et al., 2003).

#### 1.4. DELINEAMENTO E LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta pesquisa utilizou como objeto de estudo, os parâmetros regionais de Angola, localizada na parte austral do continente africano como visto na figura 1.

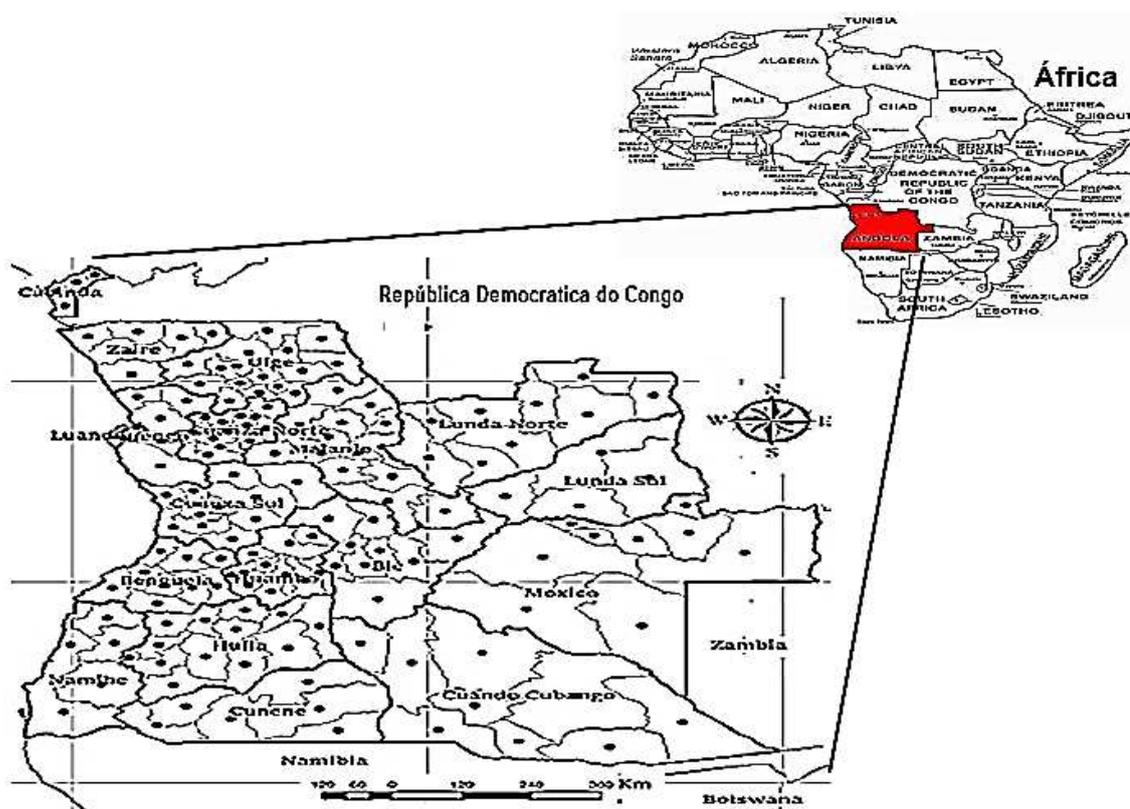


FIGURA 1 – DELINEAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Na Figura 1, o território de Angola foi dividido em 164 regiões, que constituem os 164 municípios pertencente as suas 18 províncias (Cabinda, Zaire, Uíge, Luanda, Bengo, Cuanza Norte, Cuanza Sul, Malanje, Lunda Norte, Lunda Sul, Benguela, Huambo, Bié, Moxico, Namibe, Namibe, Cunene, Huíla, Kuando Kubango). Para cada uma dessas 164 regiões foi feita uma caracterização mesológica descrevendo e correlacionando os seus aspectos climatológicos e pedológicos do ruralismo e das atividades agrárias das populações, além de algumas considerações quanto ao valor agrícola do solo.

Como no desenvolvimento de trabalhos de zoneamento agrícola, a grande dificuldade que se encontra é com respeito às grandes variações ambientais não previsíveis (precipitação, temperatura, vento, radiação etc.), que acontecem não só de forma espacial como de forma temporal, Andrade Júnior (2001), pressupõe que é importante conhecer a época de plantio analisando todo o ciclo da cultura, procurando prever as condições ambientais em todas as fases fenológicas. Altieri (2002) e Bakker

et al. (2005) sugerem que os sistemas de cultivo complexos desenvolvidos devem se adaptar às condições locais, para gerenciar de forma sustentável ambientes agressivos e atender às suas necessidades de subsistência sem depender da mecanização, fertilizantes químicos, pesticidas ou outras tecnologias da ciência agrícola moderna. Para De La Rosa (2000) e Neamatollahi et al. (2012) o principal objetivo desse tipo de avaliação é a predição da capacidade particular de uma unidade terrestre, para suportar um uso específico da terra por um longo período de tempo sem deterioração, a fim de minimizar os custos socioeconômicos e ambientais.

Por esses pressupostos, esse trabalho foi desenvolvido considerando as melhores épocas de plantio para a cultura do milho nas condições naturais de referência do ambiente de estudo<sup>3</sup>, não contemplando o manejo, nem áreas específicas de utilização especial da terra, como reservas naturais ou áreas de conservação. O estudo de alocação de terra considerando as condições naturais do ambiente, servem para beneficiar os agricultores pobres rurais à pesquisa e desenvolvimento agrícola, funcionando como base de uma abordagem de baixo para cima, utilizando e aproveitando os recursos já disponíveis: pessoas locais, seus conhecimentos e seus recursos autóctones (BAKKER et al., 2005).

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em seis (6) capítulos.

O primeiro capítulo é composto por uma introdução geral do tema, onde se apresenta de forma sucinta aspectos relacionados à disponibilidade de alimentos às populações, a situação problemática, os objetivos gerais e específicos respectivamente, a justificativa que dá ênfase ao problema estudado, e a delimitação do trabalho, onde se procurou falar dos aspectos essenciais que o estudo focou e a sua área de abrangência.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão da literatura, onde são relatados os processos de decisão agrícola e respectiva modelagem incluindo o

---

<sup>3</sup> Significa que nem sequer a simples descompactação do terreno é feita. Apenas abrir uma cova, semear e esperar que a planta germine e cresça.

zoneamento, as características agrícolas que influenciam a decisão de plantio do milho e a caracterização do panorama de produção e perfil edafoclimático de Angola.

O terceiro capítulo abrangeu os métodos usados e aplicados para o desenvolvimento do trabalho. A seguir apresentaram-se os processos de modelagem e/ou estimação de variáveis decisórias, e incluindo nomeadamente metodologia para extração dos dados, processos de cálculos das estimativas, desenho dos mapas de caracterização e as respetivas ferramentas utilizadas para o trabalho do zoneamento agrícola.

No quarto capítulo foi apresentado o desenvolvimento propriamente dito, os resultados do trabalho, com os mapas de zoneamento elaborados, seguida de uma discussão e análise dos resultados.

No quinto capítulo, as considerações finais a respeito do trabalho.

No sexto capítulo, como último, as referências da literatura que delinearam o trabalho foram apresentadas.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. DECISÕES DE PLANTIO

Para Oliveira (2004) e Monteiro (2009) tomar decisão é converter as informações apreciadas e disponíveis em ação. Essas informações são utilizadas para antecipar decisões que permitirão obter previsões para resultados futuros melhores. O planejamento dessas ações fundamenta-se basicamente, nas informações do ambiente e de sua variabilidade interanual do local de interesse. Assim para que o resultado de uma decisão seja o melhor, as informações devem ser precisas e realistas.

Segundo Ahumada & Villalobos (2009) as decisões na produção agrícola relacionadas com o cultivo dependem de fatores como a terra destinada a cada cultura, conhecimento e análise dos elementos meteorológicos, momento da semeadura e a determinação dos recursos necessários para o cultivo. As informações da previsão estão ligadas as respostas das culturas às condições do tempo e clima e sobre sua fenologia e práticas de manejo necessárias. As ações são realizadas durante o ciclo das culturas, nos momentos mais favoráveis de modo a maximizar a produtividade e/ou melhorar o aproveitamento de insumos. Para Monteiro (2009), tomam-se decisões sobre as ações a serem/realizadas antes do estabelecimento da cultura, ou seja, quando o empreendimento agrícola começa a ser programado, pois assim representará maior eficiência e competitividade.

Muitas decisões no nível da fazenda, incluindo a fração de investimento na agricultura, a escolha do padrão de cultivo entre outras dependem do rendimento esperado (GADGIL et al., 2002). O efeito de uma variável sobre rendimentos e/ou tendências de rendimentos, coloca em perspectiva o possível poder explicativo dessa variável, e fornecendo informações úteis na busca de uma compreensão mais baseada em processos de variabilidade de rendimento regional (BAKKER et al., 2005).

Em função dessa dinâmica das estratégias de produção, Maatman et al. (2002) sugere que as decisões como métodos mais importantes usados para controlar o risco devido aos padrões incertos são tomadas em forma sequencial. Essa sequência em um processo contínuo no tempo pode distinguir-se em três períodos de

tomada de decisão que vai desde a decisão de produção até decisões de consumo como vistos na figura 2 e sendo: Pré-cultivo (período 1), durante cultivo (período 2) e pós-cultivo - colheita/consumo (período 3):

[Período 1]: no início da estação de crescimento durante as primeiras chuvas, com base nas chuvas já observadas, decisões sobre a produção agrícola devem ser tomadas para antecipar padrões de chuvas incertos nas próximas estações de crescimento;

[Período 2]: já na estação de crescimento e considerando os padrões reais observados e mediante as decisões tomadas no primeiro período, quais decisões o fazendeiro deve tomar para contrapor as situações mal previstas ou aquelas que de certa forma podem ser consideradas como inesperadas;

[Período 3]: finalmente após o início da colheita, período de consumo alvo, com base nos níveis de colheita, que decisões devem ser tomadas neste período em relação ao consumo, armazenamento, venda e compras.

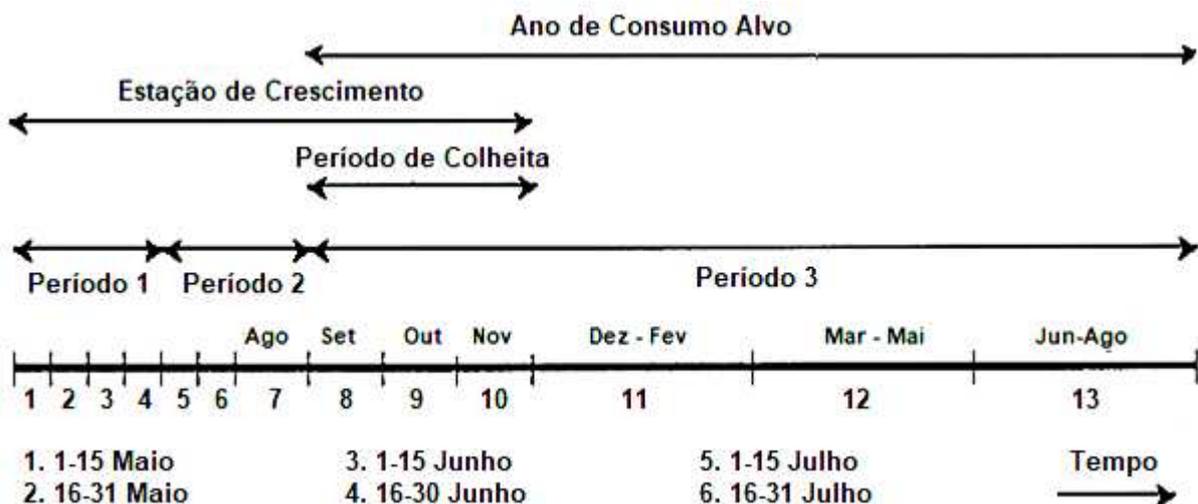


FIGURA 2 – EXEMPLO DE UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO DO PLANTIO PARA UMA REGIÃO DO NORTE DE ÁFRICA.

FONTE: Adaptado de MAATMAN et al. (2002).

Para Fischer et al. (2012) e Landau et al. (2000), os dados climáticos observados que compreendem precipitação, temperatura, velocidade do vento, horas de sol, umidade relativa, etc., são usados para compilar inventários de recursos

climáticos de previsão agronomicamente significativos, e quantificados no espaço e no tempo. Por isso, no estudo da adaptabilidade e planejamento das produções agrícolas é importante o conhecimento e a análise desses elementos e não só. A indicação de épocas de semeadura, recursos iniciais disponíveis, determinação de potencial de rendimento, determinação de riscos inerentes, mercado e consumo, crédito e seguro agrícola devem ser do conhecimento e consideradas.

Para Askari & Cummings (1977) e Maatman et al. (2002) a relação produto-consumo é caracterizada e mensurada por meio da magnitude dessas variáveis e da resposta do produto ao ambiente. Essas variáveis de decisão modelada uma para cada combinação do que devem ser produzidos, quais praticas existentes de produção serão aplicadas, quanto se deve produzir, quais terras devem ser alocadas as culturas e em que época e período ela deve ocorrer.

Segundo Maatman et al. (2002) a decisão sobre o que produzir se assenta fundamentalmente sobre dois aspectos: mercado e consumo

As decisões de consumo correspondem aos vários alimentos produzidos e consumidos em cada período. As decisões visam essencialmente garantir alimentos suficientes para os consumidores, oferecendo também uma maior segurança alimentar em termos de equilíbrios nutricionais (calorias, proteínas, fibras, vitaminas, energias, etc.) e de acordo aos padrões de consumo.

Portanto, segundo Askari & Cummings (1977), Saak & Hennessy (2002) e Maatman et al. (2002) um fazendeiro produziria uma cultura particular para:

- 1) Aumentar e manter o seu próprio consumo do produto mesmo face ao aumento dos custos dos insumos;
- 2) Comprar mais de outros bens e manter o consumo mesmo se o preço relativo de tais bens estiver subindo.

Já as decisões de mercado refletem as quantidades vendidas ou compradas. Askari & Cummings (1977) e Saak & Hennessy (2002) sustentam a ideia que esse aspeto se apresenta como determinante da incerteza do equilíbrio pós-colheita. Em particular, as circunstâncias em que certa demanda pós-colheita associada ao preço do produto pode induzir certeza sobre os produtores à plantação de uma variedade. O produtor considera um *trade-off* entre um prémio que pode ser

alcançado a partir de uma variedade de produtos, questionando se o mercado pós-colheita suportará diferenciais de preços, enquanto existir também os benefícios de custo e rendimentos que a tecnologia pode entregar (SAAK & HENNESSY, 2002). Isso implica que para esses autores as perspectivas relativas ao prêmio oferecem incentivos para os ajustes da área, e até um equilíbrio nesses *trade-offs* é afirmado.

Então para Bakker et al. (2005) é importante que se busquem alternativas de resolver esse *trade-off*, fazendo uma distinção entre a situação real dos agricultores e uma nova situação potencial. Para ele a tendência atual difere da tendência potencial devido às limitações ao clima, condições do solo, reduções devido a ervas daninhas, pragas e erosão do solo.

Essas práticas representam as estratégias adotadas (manejo, melhoramento de sementes e alta aplicação de fertilizantes e pesticidas) a fim de atingir e manter altos níveis de produção nas regiões de cultivo, face às variabilidades climáticas (GADGIL et al., 2002). O objetivo é desenvolver um instrumento que possa analisar situações nas quais uma combinação de tecnologias existentes e novas pode ser aplicada.

Para Maatman et al. (2002) e Bakker et al. (2005) a situação atual refere-se às práticas convencionais existentes, conforme aplicado pela maioria dos agricultores em que considera essenciais as condições de produção mais próximos das condições naturais do ambiente. Já na situação potencial, as novas tecnologias que são promissoras, mas ainda não foram adotadas na prática pelos agricultores em larga escala também podem ser aplicadas. As tendências de certas práticas nas produções se supõem estar relacionadas ao PIB nacional e local, servindo de *proxy* para intensificação agrícola, educação de fazendeiros, etc.

As previsões climáticas e socioeconômicas são consideradas como insumos chaves para a tomada de decisões, e as situações sobre essas práticas visam fundamentalmente contornar as condições desses insumos (GADGIL et al., 2002). Para as decisões no nível da fazenda que dependem de previsões, os agricultores são capazes de estimar os custos e benefícios associados a diferentes opções de gerenciamento. A capacidade de previsão sazonal dos fatores altera a entrada de recursos na agricultura (por exemplo, alocação de terras) (GADGIL et al., 2002).

O clima e seu tempo influenciam as decisões de plantio, independentemente de quando as chuvas cheguem, os agricultores apenas esperam que a precipitação seja a mínima necessária para começar a semeadura, porque em caso de atraso retarda também o plantio, pois a precipitação determina a água que estará disponível para a cultura e os agricultores cultivam as sementes apenas quando há umidade adequada no solo (GINÉ et al., 2007). LANDAU et al. (2000) pressupõe que a data de semeadura posterior reduz o rendimento, por isso é modelada para afetar positivamente o rendimento. Isso implica que geralmente em uma determinada estação existem várias oportunidades de plantio, portanto se a janela de plantação ideal for determinada, os agricultores utilizam aquela janela de plantação ideal como a oportunidade de começar a plantação.

Assim, antes da definição do que deve ser cultivado, quais práticas devem ser envolvidas e quando deve começar o cultivo, é igualmente relevante que se investiguem aspectos relacionados a alocação de terras, que determina as regiões mais adequadas para ao cultivo de certa cultura, que é feito mediante os cálculos das potenciais regiões de produção de culturas agrícolas para o zoneamento agrícola.

Como argumentam Monteiro (2009) e Camargo et al. (1974), o zoneamento agrícola pode ser empregado não somente para a delimitação de áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas, mas também para o estabelecimento das melhores épocas de semeadura, com base em informações probabilísticas, das zonas de maturação de frutos, do risco climático associado aos impactos do déficit hídrico nas culturas, de áreas de escape de doenças, e do potencial produtivo e da qualidade dos produtos (ORTOLANI, 2001). Como se vê, há uma variedade de informações que podem ser organizadas pelo método do zoneamento, que nada mais é que a espacialização de uma ou mais informações combinadas temporária e espacialmente.

Então, na seção a seguir estão descritos alguns aspectos relacionados à elaboração de zoneamentos agrícolas que visam à maximização da produtividade agrícola na busca de fatores que viabilizam uma produção mais rentável e sustentável.

## 2.2. ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA AS DECISÕES DE PLANTIO

Para Ramalho Filho et al. (2010) o zoneamento de uma espécie vegetal corresponde à identificação, caracterização e delineamento cartográfico de unidades ambientais reconhecíveis na paisagem natural, classificadas em função de sua aptidão para o cultivo sustentável de tal espécie. Para Cruz et al. (2011) o zoneamento tem por base a minimização de riscos de perdas e a garantia de sucesso do cultivo, a partir da combinação de características do solo, condições climáticas e parâmetros das culturas agrícolas e indicativos das épocas de menor risco de queda na produção.

Normalmente uma região é indicada como apta para o plantio de uma determinada cultura quando as condições climáticas, edáficas, econômicas e sociais permitem a seleção de épocas de plantio que apresentem uma possibilidade de êxito da lavoura (CRUZ et al., 2011).

Portanto, segundo Aggarwal (1993), o zoneamento é exercido com os seguintes objetivos:

- I. Inventário e análise de dados de recursos ambientais, espaciais e temporais para demarcação de regiões;
- II. Transferência de tecnologia dentro de uma região de grande diversidade: uma vez que a maioria dos resultados experimentais é específica de localização e estação. Então identificar regiões com ambientes homólogos em que os resultados podem ser úteis é um objetivo primário;
- III. Planejamento para o desenvolvimento regional: identificar prioridades na alocação de recursos e aperfeiçoar a eficiência do uso de recursos.
- IV. Identificação das prioridades de pesquisa: determinação da duração ideal de uma cultura/variedade. Também para orientar a escolha dos locais de pesquisa.
- V. Impacto da variabilidade climática na produção agrícola.

Em função disso Ramalho Filho & Pereira (1999) argumentaram que as vantagens e resultados esperados do zoneamento podem ser resumidos a partir da definição de três grandes categorias/agrupamentos de zonas, isto é:

- Áreas de produção;

- Áreas desaconselhadas para usos produtivos em curto prazo;
- Áreas especiais.

Assim, pela ordem, as primeiras assegurariam a produção e produtividade, fundadas em bases eco desenvolvimentistas; as segundas corresponderiam àquelas áreas que apresentam uma série de limitações ao uso, carecendo de técnicas de manejo e investimentos incompatíveis com os rendimentos e danos ambientais previstos; e as últimas englobariam as unidades de conservação, áreas indígenas e sítios de relevante interesse histórico, paisagístico e cultural, regulados por legislação específica.

Nesse contexto, além da avaliação das condições climáticas deve-se enfatizar também a importância e a necessidade de estudos sobre a avaliação da aptidão das terras, pois podem ser um instrumento imprescindível para a elaboração de zoneamentos (RAMALHO FILHO et al., 2010; RAMALHO FILHO & PEREIRA, 1999; PEREIRA & LOMBARDI NETO, 2004). Para estes autores a avaliação da aptidão é um fator básico para o estabelecimento do uso dos recursos naturais, segundo sua aptidão (coerência ecológica), evitando a sub ou sobre utilização dos ecossistemas.

Três (3) princípios são seguidos para o conhecimento do potencial agrícola de uma região (YIZENGAW, & VERHEYE, 1994; LANDAU et al., 2000; BAKKER et al., 2005; HAFNER, 2003). Esses princípios incluem:

- a. Estimativas intuitivas baseadas na experiência local e/ou pessoal (agricultor, cientista: ecologista/economista);
- b. Uso de métodos determinísticos de simulação de crescimento de culturas, com base em experimentos em culturas e incorporação de conhecimento de processos;
- c. Classificação e aplicação de métodos regressão empíricos e/ou esquemas de hipotéticos, com base nas relações entre os rendimentos das culturas e os atributos selecionados da terra.

Relativamente, a experiência local/pessoal a visão do agricultor que planta, recai sobre as regiões com melhores saldos financeiros principalmente em consideração as taxas de juros (tratando-se de empréstimos), bem como os rendimentos agrícolas e as despesas de parâmetros exógenos, como o acesso a

melhor terra, melhor política de crédito agrícola, seguro contra os riscos de fatores climáticos inesperados e que causam prejuízos em perda de rendimento, etc. Maatman et al. (2002) considera que esses atores visam minimizar ações suficientes para a maximização das suas receitas líquidas esperadas.

Bakker et al. (2005), explica que muitas vezes os pressupostos básicos dos cientistas são determinados em grande parte das conclusões extraídas de uma análise estatística: um economista encontrará uma relação razoável entre o PIB e rendimentos (focado na produtividade e lucro), enquanto um climatologista encontrará uma boa relação entre o tempo e a produção da estação de crescimento (focado no clima e meio ambiente).

Para Hafner (2003) os economistas geralmente estão focados nas contribuições tecnológicas para alta produtividade, incluindo a melhoria genética para aumentar os rendimentos, e geralmente sem consideração explícita dos mecanismos biológicos ou biofísicos. Os mesmos sustentam que isso pode ser um problema, pois o PIB e a produtividade na estação podem atuar como um, aliás, para a qualidade do solo. Por exemplo, levando em conta apenas um grupo de variáveis, pelo qual o impacto de outras variáveis não é levado em consideração, pode levar a uma superestimação dos efeitos reportados.

Os avanços na compreensão científica dos processos de crescimento da planta levaram à formulação de modelos deterministas. Eles tentam simular os processos de crescimento ao longo dos anos, modelando os elementos relevantes da planta (LANDAU et al., 2000). Os modelos de simulação de culturas assumem que as formulações dos processos mecanicistas dinâmicos podem ser representadas com precisão e que os parâmetros do modelo podem ser determinados corretamente.

A maioria dos processos importantes nos modelos de simulação são descritos por funções empíricas subjacentes à fenologia, partição, desenvolvimento do dossel, senescência, etc., para aumentar a compreensão do comportamento das culturas (BOUMAN et al., 1996; LANDAU et al., 2000).

Modelos foram amplamente validados contra observações de campo em diferentes ambientes de risco climático. Sendo que, os rendimentos das culturas relatados em estudos de validação estão bem abaixo do potencial de produção de milho, que é definido como o rendimento de uma determinada espécie, quando

cultivada em ambientes aos quais é adaptada, com nutrientes e água disponíveis e pragas e doenças efetivamente controladas (YANG et al., 2004). Esses modelos de culturas são disponíveis para simular respostas do crescimento e rendimento na parcela e nível de campo de ensaio, considerando a variação das condições climáticas, incluindo abastecimento de água, e/ou nutrientes, pragas e fatores econômicos (BAKKER et al., 2005; MAATMAN et al., 2002).

Essas funções empíricas subjacentes com base nas amostras de efeitos climáticos sobre os períodos fisiologicamente significativos de desenvolvimento de rendimentos das culturas representam a base empírica sobre a qual construir um modelo empregando elementos de modelagem empírica e mecanicista usando uma orientação fisiológico-agronômica (LANDAU et al., 2000).

O conhecimento da fisiologia da planta é usado para sugerir expressões simples contendo uma variável, ou um conjunto de variáveis de efeitos climáticos sobre os rendimentos. Então, este grande conjunto de rendimentos observados é utilizado para avaliar a importância empírica das variáveis climáticas sugeridas e também para determinar o tipo de dependência esperada para as variáveis envolvidas em cada expressão - tanto positivamente quanto negativamente (LANDAU et al., 2000).

Estas expressões simples sugeridas, considerando regressões empíricas e hipóteses, programação matemática e lógicas difusas, envolvem o cálculo do desvio entre o rendimento potencial máximo e o rendimento observado que podem ser esperados em uma determinada área (DOORENBOS & KASSAM, 1979; YIZENGAW & VERHEYE, 1994). Outros avaliam atributos derivados de grandes quantidades de dados de rendimento ou modelos determinísticos de simulação de culturas, com base em experimentos e incorporando conhecimento de processos (LANDAU et al., 2000; HAFNER, 2003).

Programas bem estabelecido de criadouros nacionais e internacionais e ensaios de rendimento em vários locais-chave, são atualmente, os melhores meios para identificar o desempenho de culturas e variedades em diferentes ambientes (AGGARWAL, 1993). Portanto, esses ensaios são caros, pois eles precisam ser conduzidos por várias estações, por isso os modelos de estimativas de produtividade

de culturas fornecem métodos alternativos para caracterização agroecológica de regiões (AGGARWAL, 1993).

Assim na aplicação de métodos de caracterização agrícola com base nas relações entre os rendimentos das culturas e os atributos selecionados da terra, o potencial de produção agrícola, ou seja, a produção máxima que pode ser alcançada para uma determinada cultura, é determinada por combinação de variáveis do tipo [1] climáticas, [2] ecológicas (clima e solo e/ou outros seres) e [3] econômicas (VAN ITTERSUM et al., 2003; BAKKER et al., 2005; ALLEN et al., 1998; FISCHER et al., 2012).

As variáveis agroclimáticas levam em consideração apenas aptidão climática de certa região para cultivo de certa espécie; as agroecológicas analisam não só as condições de clima, mas também de solo para cultivo e as interações dos seres envolvidos neles; e as agro econômicas levam em consideração as condições socioeconômicas da região. As variáveis de condições climáticas incluem a precipitação, a intensidade de radiação solar, temperatura, duração da estação de crescimento, concentração de CO<sub>2</sub> e características da cultura (VAN ITTERSUM et al., 2003; BAKKER et al., 2005).

Os rendimentos determinados pelas condições ecológicas são impostos pela disponibilidade de água, disponibilidade nutricional, espaço de *rooting* e devido a doenças e ervas daninha (BAKKER et al., 2004; BAKKER et al., 2005; VAN ITTERSUM et al., 2003).

A disponibilidade de água é uma função da capacidade de retenção de água do solo, da profundidade do solo, das precipitações e da evapotranspiração potencial, e nível de manejo (ALLEN et al., 1998; FISCHER et al., 2012)

A profundidade do solo é definida como a profundidade para uma restrição de *rooting* (rocha, material de solo muito denso ou águas subterrâneas) e é normalmente restringida por um valor máximo de 1,5 m (ALLEN et al., 1998; BAKKER et al., 2004; FISCHER et al., 2012)

A capacidade de água disponível no solo para plantas é a fração volumétrica de água mantida entre a capacidade de campo e o ponto de flutuação permanente (BAKKER et al., 2005). A evapotranspiração potencial é calculada a partir

da temperatura, da radiação global, velocidade do vento, precipitação, etc. (FISCHER et al., 2012, ALLEN et al., 1998; TABARI, 2010; TABARI et al., 2012, HARGREAVES & ALLEN, 2003).

A disponibilidade de nutrientes é principalmente função do nível de insumos e material de origem, enquanto o espaço de enraizamento é função da profundidade do solo (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO FILHO et al., 2010, BAKKER et al., 2005).

Assume-se que o nível de insumos e intensificação é representado pelo produto interno bruto e tecnologias disponíveis. Esse produto interno pode ser visto como um indicador para o bem-estar dos agricultores individuais, ou seja, a capacidade de adquirir fertilizantes, pesticidas, o nível de educação dos agricultores, e até pelo apoio do governo no desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias, etc. (BAKKER et al., 2005). Esses níveis de entradas se constituem nas variáveis socioeconômicas como a acessibilidade, o tamanho da fazenda, os custos trabalhistas, mercado de consumo, etc., ou seja, todas as infraestruturas de produção, rede de transportes e comercialização (BAKKER et al., 2005).

No entanto, segundo vários autores (BAKKER et al., 2005; BOUMAN et al., 1996; VAN ITTERSUM et al., 2003; LANDAU et al., 2000; FISCHER et al., 2012) as variáveis climáticas são as que mais impactam no desenvolvimento das culturas, pois as condições do solo são fortemente correlacionadas com variáveis climáticas, e as características climáticas desequilibradas levam a condições pedogenéticas desfavoráveis para os solos.

Portanto, descrevemos nas secções a seguir alguns dos principais métodos para o zoneamento agrícola, focando-se principalmente aqueles que consideram as variáveis agroclimáticas e agro edáficas, a partir das estimativas das potencias regiões de produção agrícolas. A relação meio-planta é caracterizada e mensurada por meio da magnitude dessas variáveis e da resposta da planta ao ambiente. Esses fatores determinam a produção máxima (ou seja, a produção potencial) que podem ser alcançadas num dado ambiente físico e para uma espécie de planta (VAN ITTERSUM et al., 2003). As decisões estão essencialmente focadas na minimização dos riscos associados a esses fatores e as suas influências nas estratégias dos agricultores (MAATMAN et al., 2002; VAN ITTERSUM et al., 2003).

## 2.3. MODELOS DE ZONEAMENTO AGRÍCOLA PARA O PLANTIO.

Uma variedade de modelos matemáticos que relacionam os fatores ambientais e gerenciais com o desenvolvimento das culturas foram propostos ao longo deste século por todo mundo, evoluindo principalmente no final da década de 1960 como meio de integrar o conhecimento sobre os processos fisiológicos das plantas e explicar o funcionamento das culturas como um todo (LANDAU et al., 2000; BOUMAN et al., 1996; VAN WART et al., 2013a, 2013b).

As pesquisas têm estabelecido objetivos de quantificar especulações sobre os efeitos da estrutura do dossel, radiação solar e transpiração na fotossíntese (VAN ITTERSUM et al., 2003; BOUMAN et al., 1996). Os resultados têm sido um conjunto de modelos preliminares e abrangentes para as situações de produção (LANDAU et al., 2000; FISCHER et al., 2012).

Três (3) critérios têm sido considerados (VAN ITTERSUM et al., 2003; VAN WART et al., 2013a; BOUMAN et al., 1996):

- O primeiro critério refere-se às situações de produção com que os modelos estão lidando.
- Em segundo, os modelos diferem em função dos objetivos do seu desenvolvimento e, portanto, exigem escala e grau de detalhamento e abrangência.
- Em terceiro lugar, os modelos possuem pelo menos três domínios de aplicação potenciais, ou seja, pesquisa, educação e suporte de processos de aprendizagem e tomada de decisão.

De Wit & Penning de Vries da escola Wageningen propuseram uma classificação deste sistema em três (3) situações de produção vistos na Figura 3 e que têm sido fortemente seguidos (BOUMAN et al., 1996; VAN ITTERSUM et al., 2003; VAN WART et al., 2013a, 2013b; ZHAO & YANG, 2018):

- A produção potencial - o crescimento ocorre em condições com amplo suprimento de água e nutrientes e as taxas de produção são determinadas unicamente por condições climáticas (Concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, temperatura, radiação solar e características da cultura);

- A produção limitada em água e nutrientes - o crescimento é limitado pela escassez de água e nutrientes durante pelo menos parte do período de crescimento;
- Na produção real – a produção e rendimento real das culturas são reduzidos ainda mais abaixo do nível atingível por fatores como ervas daninhas, pragas, doenças e poluentes.

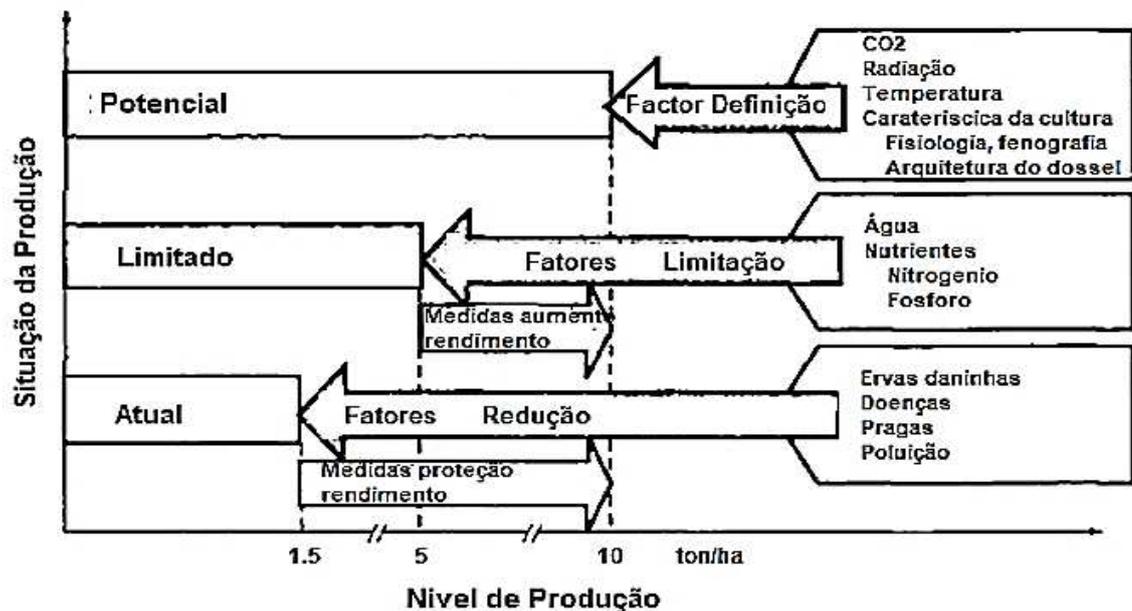


FIGURA 3 - A RELAÇÃO ENTRE OS RENDIMENTOS POTENCIAIS ATINGÍVEIS, FATORES DE LIMITAÇÃO E REDUÇÃO DO RENDIMENTO.

FONTE: Adaptado de BOUMAN et al. (1996).

O desenvolvimento dos modelos para cada uma dessas situações tem prosseguido a sua própria taxa e sua própria direção, dependendo das metas e objetivos da pesquisa, caracterizadas pelos rótulos dinâmicos e hierárquicos sobre variáveis de estado explicativas e deterministas (DE WIT, 1982b; BOUMAN et al., 1996). Eles são dinâmicos porque as taxas de mudança no sistema (exemplo, taxa de crescimento) são calculadas como uma função do tempo, usando coeficientes de tempo que são típicos para os processos descritos. E hierárquicos porque dividem o sistema em estudo em níveis hierárquicos de organização: células, órgãos, plantas, culturas, etc.

Estes sistemas de classificação têm sido divididos essencialmente em duas categorias para simular o desenvolvimento das espécies de cultura (VAN WART et al., 2013a, 2013b; RAMALHO FILHO et al., 2010; BURROUGH, 1976; RAMALHO FILHO & PEREIRA, 1999):

- (1) MATRIZ - cultura específica
- (2) CLUSTER - grupo genéricos de culturas.

Nos modelos Matriz (cultura específica) os dados relevantes e disponíveis do ponto de vista físico, ambiental, social e econômico e os diferentes tipos de terra são avaliados de acordo com sua aptidão para tipos específicos de cultura.

Em contraste, as metodologias Cluster (cultura genérica ou de grupo) foram criadas através da modelagem climática sem considerar as espécies específicas, mas com base em tipos de atividades dominantes.

Ambas individualmente ou combinadas procuram identificar (mediante a metodologia do zoneamento agro econômico, zoneamento de risco climático, zoneamento de variação potencial do rendimento, avaliação da aptidão agrícola da terra, ente outros) as melhores regiões para cada tipo de utilização da terra apoiando-se em modelos de regressões empíricas, programação matemática, decisão multicritérios, etc.

Segundo Van Wart et al. (2013a) todos os esquemas de zoneamento são limitados pela escolha e qualidade dos dados subjacentes usados para derivá-los. Isso inclui disponibilidade e distribuição de dados de estação meteorológica específicos de localização de alta qualidade.

Exemplos de alguns modelos e suas abordagens são apresentados, mas detalhadamente nas secções a seguir. Os modelos diferem no nível de complexidade que descrevem o desenvolvimento da cultura, nos principais módulos de crescimento que impulsionam a simulação do desenvolvimento da biomassa e no número de parâmetros de entrada.

### 2.3.1. Modelos de Zoneamento pelo Mundo

Alguns modelos de regressão para cultura específica como a CERES e MSB usam relações entre a radiação solar incidente e a produção de biomassa

vegetal para estimar a produtividade primária líquida de espécies. Esses modelos são capazes de simular a fenologia da cultura, que é controlada por características específicas das espécies essenciais para uma simulação precisa da maturidade das culturas e do rendimento de grãos (FISCHER et al., 2012; VAN WART et al., 2013b; YANG et al., 2004; LANDAU et al. 2000; CEBALLOS-SILVA & LÓPEZ-BLANCO, 2003).

Ainda dentro dessa categoria de regressão existe a análise da diferença de rendimento, que avalia a magnitude e a variabilidade entre o potencial máximo de produção de culturas, quando cultivadas sem limitações de água, nutrientes, pragas e doenças (RP) e o rendimento limitado em água e as rendas reais (RO) (VAN ITTERSUM et al., 2013; VAN WART et al., 2013a; LOBELL et al., 2009, ZHAO & YANG, 2018). Esta abordagem fornece uma estimativa quantitativa do possível aumento da capacidade de produção de alimentos para um determinado local, que é um componente crítico do planejamento estratégico da oferta com segurança alimentar a escalas regionais, nacionais e globais.

RP e RO são específicos da região porque são determinados pelo tempo, gerenciamento, duração da estação de crescimento e propriedades do solo que afetam a capacidade de armazenamento de água da zona da raiz. Ambos podem ser estimados a partir de parcelas de pesquisa, nas quais a cultura é cultivada sem limitações, ou por simulação usando modelos de culturas (LOBELL et al., 2009; VAN WART et al., 2013a). Segundo Van Ittersum et al. (2013) estimativas robustas de RP e RO explicam melhor o impacto da variação de temperatura, radiação solar e precipitação ao longo do tempo.

Portanto, para essa abordagem a obtenção de dados históricos de produção em um grande número de locais é demorada, dispendiosa e muitas vezes não viável. E também, os registros de produção nos faz assumir que os campos de maior rendimento potencial para um determinado ambiente e período são os melhores, o que para Licker et al. (2010) e Van Wart et al. (2013b) pode não ser verdade, pois estes rendimentos podem ser o resultado de um único ano bom e não representar o potencial de rendimento médio em longo prazo para um determinado local.

Em modelos de regressão para culturas genéricas como WOFOST e INTERCOM SUCROS (VAN ITTERSUM et al., 2003; VAN WART et al., 2013a; YANG et al., 2004), STICS (BRISSON et al., 2003) CROPSYST (STÖCKLE et al., 2003), ZAEG (FISCHER et al., 2012), BACROS (BOUMAN et al., 1996; VAN ITTERSUM et al., 2003), são descritos os processos de assimilação, respiração, desenvolvimento e crescimento, e são então afinados para simular os traços fenológicos e fisiológicos de grupos de culturas. O crescimento dos órgãos das plantas é impulsionado principalmente pela disponibilidade de assimilados da fotossíntese do dossel, e tanto o crescimento como a respiração de manutenção são explicitamente explicados para determinar a produção de matéria seca. Por exemplo, INTERCOM (KROPFF & VAN LAAR, 1993; LINDQUIST, 2001; LANDAU et al., 2000) distingue apenas duas fases - a fase vegetativa do surgimento para a antítese e a fase reprodutiva desde a antítese até a maturidade - e requer a entrada de graus-dias crescentes (GDC) para a duração de ambas as fases.

Ainda nos modelos genéricos aparece método ecológico de avaliação da aptidão das terras pela análise física e socioeconômica com tecnologia intermediária para agricultura de pequena escala. Este é um sistema de avaliação para fins gerais largamente utilizados (FAO, 1977; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO FILHO et al., 2010). A estrutura do sistema é estabelecida por categorias de classes de acordo com o grau de limitação de subdivisão genérica compreendendo dois grupos: terras recomendadas para cultivo e terras não recomendadas para cultivo. As subclasses indicam o fator limitante e, conseqüentemente, os principais problemas de conservação relacionados com o solo como erosão, drenagem e clima.

Modelos de programação matemática para problemas de planejamento de zonas agrícola também têm sido amplamente utilizados. Modelos de programação linear (PL) para a alocação de terras para problemas de planejamento de plantações (MAATMAN et al., 2001; MAATMAN et al., 2002), e abordagens de programação de multiobjectivos (PMO) (BISWAS & PAL, 2005). Portanto, para Biswas & Pal (2005) PL é uma técnica de otimização objetiva única e de natureza estática, pois todas as decisões são tomadas de uma só vez antes do início da estação de crescimento, mas a maioria dos problemas de planejamento agrícola é de natureza multiobjectivos (porque as estratégias de produção dos agricultores são dinâmicas), por isso uma

abordagem de programação de multiobjectivos (PMO) seria uma das ferramentas proeminentes.

Ainda segundo Biswas & Pal (2005), Maatman et al. (2002) e Sans & Guimarães (2006) a principal fraqueza da maioria das formulações de programação matemática convencional é que todos os parâmetros do problema precisam ser especificados no ambiente de planejamento. Mas segundo Biswas & Pal (2005) na maioria dos problemas de decisão prática, esses parâmetros são muitas vezes imprecisamente definidos devido à compreensão ambígua da natureza deles que correspondem aos fatores ambientais altamente variáveis, não só espacialmente como de forma temporal (precipitação, temperatura, radiação, vento, etc.). Assim, a atribuição de níveis de aspiração definidos para os objetivos do problema frequentemente cria problemas de decisão na maioria das situações de planejamento da fazenda.

Programação estocástica para descrever as decisões sequenciais dos agricultores em resposta aos fatores de risco (precipitação) nos planejamentos agrícolas devem ser tomadas para descrever as estratégias de produção, consumo, venda, compra e armazenamento dos agricultores desde o início da estação de cultivo até o período pós-colheita (MAATMAN et al., 2002),

Para superar a dificuldade acima, em alguns casos a abordagem de estimativa lógica para problemas de planejamento de culturas no ambiente de restrições de recursos nítidas tem sido utilizada. Estas abordagens incluem os modelos de decisão multicritério para avaliar a adequação da terra, que inclui a avaliação do potencial agrícola de cada região tida como alternativas de decisão para qualquer cultura selecionada (FAO, 1993; RESHMIDEVI et al., 2009; JOZI & EBADZADEH, 2014).

O objetivo principal das técnicas de Avaliação Multicritério (MCDE) é investigar uma série de alternativas à luz de múltiplos critérios e objetivos conflitantes (VOOGD, 1983; CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003). Os fatores meteorológicos (temperatura, precipitação, umidade relativa, velocidade do vento, etc) e características do solo (textura, estrutura, profundidade, etc.) são avaliados em função de opiniões e experiências de especialistas ou dos agricultores e uma revisão bibliográfica para determinar a importância relativa dos critérios (JOZI &

EBADZADEH, 2014; RESHMIDEVI et al., 2009). Esses atributos são expressos em termos qualitativos usando diferentes escalas ou termos linguísticos em vez de valores numéricos precisos. A representação desses atributos em uma escala comum (padronização) e sua agregação do complexo problema de decisão dividido em pequenos critérios de decisão e delineamento de áreas adequadas para culturas usando uma abordagem de avaliação.

Esses métodos são finalmente integrados com um Sistema de Informação Geográfica (GIS), também usados para sobrepor as camadas de mapa no ambiente SIG e a análise é feita para cada célula raster para gerar os mapas de adequação da terra e zoneamento ou como Índice de Produtividade do solo calculado para cada unidade de avaliação e o grau de produtividade do solo correspondente para cada unidade, determinado de acordo com os critérios de classificação.

O Sensoriamento remoto com sistemas de informação geográfica (SIG) também é utilizado para a seleção de locais para desenvolvimento de atividade agrícola. Além da classificação de uma área para a melhor aptidão agrícola, a tecnologia de sensoriamento remoto separa a área em estudo em diferentes tipos de uso/cobertura de terra como: instalações de serviços, atividades recreativas, lojas de varejo, locais de descarte de resíduos perigosos e áreas críticas para práticas específicas de gerenciamento e controle de recursos (JANKOWSKI, 1995; CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003).

As aplicações de sensoriamento remoto para áreas adequadas no uso agrícola incluem vários aspectos, tais como avaliação dos componentes do clima, fenologia vegetal, características biofísicas locais econômicas e gerenciamento de uso do solo. Essas aplicações têm desempenhado um papel importante e sugerem que a tecnologia de sensoriamento remoto seja e será uma ferramenta poderosa para o monitoramento de atividades agrícolas (ALLAN, 1990).

Então, há a necessidade de métodos mais adequados que explicam não apenas o relacionamento e importância dos fatores na decisão de produção para definir a produtividade deles de forma individual, mas também a influência de um ou outro com uma função de interdependências entre estes fatores e o rendimento das culturas é necessário. Portanto, é um modelo de estimativa empírica que explica a relação forte entre os rendimentos e as suas variáveis explicativas, nomeadamente

as climáticas (temperatura, radiação, etc.), ecológicas (solo, ambiente e seres envolvidos), e socioeconômicas (mercado, mercado, infraestruturas regionais, etc.) (BAKKER et al., 2005).

Os modelos Wageningen da escola De Wit & Penning de Vries (1960) nos países baixos foram os pioneiros na avaliação da adequação de terras. Seu objetivo principal de modelagem foi obter entendimento na escala de safra com base nos processos subjacentes (VAN ITTERSUM et al., 2003). Eles desenvolveram modelos e avaliaram os componentes do modelo (como a fotossíntese do dossel) com equipamentos especialmente projetados e experiências de campo (ex. BACROS) (BOUMAN et al., 1996; VAN ITTERSUM et al., 2003). Paralelamente nos EUA no antigo projeto IBSNAT (Rede Internacional de Sites de Referência para Transferência de Agra tecnologia), na Austrália e China com o sistema APSIM (sistema de produção agrícola Simulator) (ZHAO & YANG, 2018).

De Wit publicou em 1965 o relatório clássico "Fotossíntese de copos de folhas" de abordagem hierárquica e explicativa com base no conhecimento dos processos subjacentes no qual um procedimento foi descrito que permitiu o cálculo da fotossíntese diária de um dossel com características conhecidas para qualquer momento e local na Terra. A integração exigiu a identificação e parametrização das funções de distribuição do ângulo da folha e a descrição da penetração da luz no dossel para diferentes condições de iluminação solar.

A fotossíntese de copos de folhas lançou as bases para o desenvolvimento de modelos dinâmicos de crescimento de culturas. Um dos primeiros simuladores dinâmicos de crescimento de culturas foi o ELCROS (Simulador elementar de colheita), que foi utilizado para estudos exploratórios sobre os níveis potenciais de produção de culturas em diversas condições. Este modelo preliminar continha uma seção detalhada, sobretudo mecanicista, de fotossíntese de dossel, um componente que descreve taxas de crescimento de órgãos e ideias preliminares sobre a respiração de colheita.

Dois desenvolvimentos convencionais contribuíram para a evolução do ELCROS no primeiro modelo abrangente: (i) a quantificação dos requisitos de energia para processos de crescimento e manutenção, ambos relacionados à respiração das culturas; e (ii) a elaboração detalhada de micro meteorologia de culturas no modelo

MICROWEATHER. Em MICROWEATHER, a cultura foi explicada como uma função das propriedades das plantas e dos solos, e das condições climáticas prevalentes a alguma altura acima do dossel. Os elementos considerados eram radiação solar, energia e balanças de massa, velocidade do vento e turbulência.

Outro modelo abrangente BACROS (Simulador Básico de Crescimento da Cultura) foi desenvolvido a partir de ELCROS. BACROS simula o crescimento e a transpiração de culturas de campo ao longo de uma estação de crescimento total (vegetativa) em potenciais condições de produção.

Um modelo PHOTON (simulação de síntese e transpiração diária) foi derivado do BACROS para simular a fotossíntese, respiração e transpiração ao longo do dia usando passos de tempo de segundos, pois o comportamento do estômato é considerado explicitamente. BACROS, por outro lado, usa um loop para equilibrar esse processo rápido e, portanto, pode usar um tempo de uma hora sem os processos com coeficientes de tempo muito maiores, perdendo precisão e realismo (BOUMAN et al., 1996).

Portanto esses modelos deram asas para o AQUACROP da FAO (1977) que se baseia exclusivamente no módulo de crescimento impulsionado pela água, na medida em que a transpiração é convertida em biomassa através de um parâmetro de produtividade da água; ao CROPSYST (STÖCKLE et al., 2003) que é baseado em módulos orientados à água e à radiação, enquanto o WOFOST (Estudos Mundiais de Alimentos) (VAN ITTERSUM et al., 2003; VAN WART et al., 2013a; YANG et al., 2004; TODOROVIC et al., 2009) simula o crescimento das culturas usando uma abordagem direcionada ao carbono e uma fração de radiação interceptada.

A mesma FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) com a colaboração da IIASA (Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados) desenvolveu anos mais tarde o GAEZ (Zonas Agroecológicas Global), baseando-se em princípios de avaliação da terra (FAO 1976, 1984 e 2007; FISCHER et al., 2009, 2012). O GAEZ incorpora importantes conjuntos de dados globais sobre "Rendimento real e produção potenciais" e "Lacunas de produção e produção reais" (FISCHER et al., 2012). As variáveis categóricas utilizadas ou derivadas desses dados para definir um AEZ incluem: (a) somas de temperatura acumuladas para a temperatura diária média acima de uma temperatura base (5 ° C

e 10 ° C) [dias de graduação crescente (CPC)], (b) perfis de temperaturas anuais, com base na média anual e tendências de temperatura dentro de um ano, (c) delimitação de zonas contínuas, descontínuas, esporádicas e sem *permafrosts*, (d) quantificação do balanço hídrico do solo e evapotranspiração real para uma cultura de referência, (e) classificação de culturas múltiplas, o que indica se o cultivo anual único, duplo ou triplo é possível em uma dada zona, com base na LGP e assumindo uma duração de crescimento por cultivo de 120 dias.

Outro modelo de regressão empírico envolveu três etapas principais na previsão de rendimentos (pré, durante e pós-cultivo) que podem ser esperados em uma determinada área usados para estimar a região produtiva adequada de determinada cultura (YIZENGAW & VERHEYE, 1994). Essa estimativa de um potencial máximo ou rendimento pode ser calculada com base na limitação da radiação e regime térmico, considerando as limitações do estresse de umidade e ainda as restrições dos solos e da gestão levadas em consideração. Estes métodos baseiam-se em simulação de crescimento de culturas, conhecimentos sobre as características das culturas e das interações com o ambiente.

Uma avaliação qualitativa da terra mediante a detecção remota foi realizada para a planície de Mashhad, província de Korasan Razavi, no Irão, para avaliar a adequação da terra para cultivar as culturas locais mais importantes, como trigo (*Triticum aestivum*), beterraba açucarada (*Beta vulgaris*) e milho (*Zea mays*). As principais variáveis analisadas foram a temperatura (máxima, mínima e médias), declives, altitudes e períodos de crescimentos. A interpolação linear em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi usada para a delimitação (NEAMATOLLAHI et al., 2012).

Jozi & Ebadzadeh (2014) aplica um método DELPHI, combinado com AHP (Processos de Hierarquia Analítica) e lógica FUZZY em opiniões de especialistas de gestão de bacias hidrográficas, planejamento do uso da terra, agronomia, melhoramento de plantas, irrigação/drenagem e pedologia para a avaliação da capacidade de terra em Khuzestan, província do sul do Irão, e usando uma medida de distância no espaço vetorial (Distância euclidiana), para associação de cada região em diferentes classes de adequação para importância relativa dos critérios.

Zhang et al. (2004) usa uma abordagem semelhante para a produtividade do solo usando Delphi e AHP compreendendo uma hierarquia objetiva G (produtividade do solo) no topo, uma hierarquia média C e uma hierarquia A de fatores de solo, junto com um sistema de informação geográfica (SIG) para manipular o banco de dados espacial e uma área de estudo.

Yang et al., (2004) desenvolveu um modelo, denominado Híbrido-Milho, que combina funções explícitas de duas abordagens de modelagem: as funções de crescimento e desenvolvimento em modelos específicos de milho representados pelo CERES-Milho e a formulação mecanicista de fotossíntese e respiração em modelos genéricos de culturas como INTERCOM e WOFOST revisadas para desenvolvimento fenológico e crescimento de órgãos pela radiação solar.

Ceballos-Silva & Lopez-Blanco (2003) fez um delineamento das áreas adequadas para as culturas de milho (*Zea mays*) e batata (*Solanum tuberosum*) através da técnica MCE dentro de um contexto SIG, usando uma imagem Landsat TM de 1996 por meio de uma classificação supervisionada de um mapa de uso/cobertura de terra para obter os mapas de critérios e bases de dados de clima, relevo e solo no México Central.

Moeletsi & Walker (2012) apresentou uma metodologia para determinar áreas adequadas para a produção de milho a partir de chuva no Free State na África do Sul, usando uns índices agroclimáticos combinados em risco de geada, risco de início de chuvas e risco de seca. O índice combinado de risco climático PACSI (*Poone Agroclimatic Suitability Index*) foi utilizado para mapear áreas adequadas para plantar milho na província de *Free State* através da técnica MCE em um contexto SIG.

O esquema de zoneamento para cultura específica do Centro para a Sustentabilidade e do Meio Ambiente Global (SAGE) foi gerado usando dados globais e quadrados para duas variáveis conhecidas como impulsores importantes para o desenvolvimento de culturas e o crescimento de culturas (LICKER et al., 2010; VAN WART et al., 2013a; RAMANKUTTY et al., 2002): grades-dias crescentes (GDD) ou comprimento do período de crescimento (CPC) e um índice de umidade do solo da cultura, o último calculado como a proporção da evapotranspiração real para potencial.

E finalmente Maatman et al. (2002) apresenta uma abordagem de programação estocástica, onde descreve as estratégias de produção, consumo, venda, compras e armazenamento dos agricultores desde o início da temporada de crescimento até um ano após o período da safra. As decisões de produção são modeladas por variáveis de decisão, uma para cada combinação das seguintes características: (i) escolha da cultura (milho, sorgo vermelho, sorgo branco, mileto e amendoim, e culturas misturadas sorgo vermelho / caupi, sorgo branco/caupi, milho/caupi); (ii) categoria de terra cultivada: especificada pela localização (terrenos baixos e altos) e a distância dos insumos (menos de 100 metros, entre 100 e 1000 metros, mais de 1000 metros); (iii) propriedade da terra: campos comuns ou individuais; (iv) datas de semeadura: diferentes para cada cultura e categoria de terras; (v) níveis de intensidade de capina: intensivo, ou menos intensivo.

Nessa abordagem, a decisão é relativa à otimização de três processos de modelagem em programação de produção agrícola divididas em: [1] a localização e/ou alocação e áreas agrícolas, [2] consumo e atendimento das demandas mínimas de nutrientes, e [3] relativos às despesas e receitas econômicas (balanço financeiro). E a função objetivo visa essencialmente minimizar o déficit de nutrientes em determinados produtos e défices de produção de autossuficiência para cada período. Sujeitas a localização e/ou alocação de áreas agrícolas (Restrições de terra disponível, incluindo os parâmetros para descrever a prática de pousio, onde se decide se após o estágio 1 de cultivo as parcelas serão desmatadas intensivamente ou extensivamente ou abandonadas e quais exatamente, trabalhabilidade, e para as quantidades produzidas e reservadas como semente).

### 2.3.2. Modelos de Zoneamento no Brasil

Relativamente ao Brasil, devido à sua grande extensão territorial continental é comum que ocorra no país grandes adversidades climáticas que podem afetar direta ou indiretamente a produção agrícola, tais como seca, granizo, geadas, vendaval, chuvas em excesso, dentre outras. Esses fatores constituem as principais razões de quebras de safras de grãos no país, principalmente nos estados situados nas regiões centro sul e nordeste (ASSAD, 2009).

Diante dessas adversidades e as interferências negativas que essas causam na produção agrícola e na economia do país, os agricultores, as instituições de pesquisas passaram a partir da década de 70 a desenvolver vários modelos para diminuição das perdas. Esses modelos focados essencialmente no zoneamento de aptidão agrícola, o zoneamento agroclimático, o zoneamento agrícola e o zoneamento de risco climático como os principais mecanismos criados para contrapor essas adversidades climáticas, quantificando e mapeando as áreas mais favoráveis ao plantio das culturas de sequeiro, levando-se em conta a oferta climática e mais especificamente a distribuição pluviométrica (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004; ASSAD, 2009).

Portanto as principais características desses tipos de zoneamentos, seus critérios de análises, tipos de indicativos e principais problemas encontrados são apresentados no quadro 1.

QUADRO 1 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE ZONEAMENTOS NO BRASIL

TIPOS DE ZONEAMENTO				
	<b>Aptidão Agrícola</b>	<b>Agroclimático</b>	<b>Agrícola</b>	<b>Agrícola de Risco Climático</b>
<b>Análise de risco</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Potencial do:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• Clima</li> <li>• Solo</li> <li>• Fatores socioeconômicos (locais e regionais)</li> </ul> </li> <li>▪ Potencial edafoclimático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Identifica áreas de maiores e menores riscos climáticos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baseado no tipo de solo, clima local, e ciclo fenológico da planta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considera o balanço hídrico, (relação clima, solo e planta).</li> <li>▪ O Risco quantificado, através de análises probabilísticas e frequências.</li> </ul>
<b>Tipo de indicativo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Área apta</li> <li>▪ Área Marginal</li> <li>▪ Área inapta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Define Melhor época de plantio.</li> <li>▪ Identifica áreas com maior potencial de produtividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Define melhor época de plantio.</li> <li>▪ Indica cultivares habilitados para o local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Por município, tipo de solo e ciclo da cultivar.</li> </ul>
<b>Problemas encontrados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mapas para as culturas em grande escala.</li> <li>▪ Indicativos aproximados.</li> <li>▪ Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas).</li> <li>▪ Potencial climático para o estabelecimento das culturas agrícolas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estudos não consideram informações referentes à microclimas.</li> <li>▪ Interpolação de dados</li> </ul>

FONTE: RAMALHO FILHO & PEREIRA (2004); MAPA (2017); ASSAD (2009).

No ano de 1996 por determinação do Conselho Monetário Nacional - CMN, o Banco Central do Brasil publicou resoluções passando a considerar o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC), como referência para aplicação racional do crédito agrícola e para o Programa de Garantia Agropecuária – PROAGRO, sendo gradativamente ampliado e utilizado em larga escala no país, consolidando-se como ferramenta técnico científica de auxílio à gestão de riscos climáticos na agricultura (ASSAD, 2009).

O Zoneamento de risco climático das culturas anuais objetiva definir as melhores épocas de plantio, fornecendo indicadores que possibilitem a identificação

do risco climático, minimizando as perdas e conseqüentemente proporcionando maiores rendimentos à produção agropecuária (ASSAD et al., 2004).

Diferentemente de outros zoneamentos existentes, que foram elaborados com base nos conceitos de potencialidade e aptidão, para o zoneamento agrícola de risco climático, além das variáveis analisadas (clima, solo e planta), aplicam-se funções matemáticas e estatísticas (frequentistas e probabilísticas) com o objetivo de quantificar o risco de perda das lavouras com base no histórico de ocorrência de eventos climáticos adversos, principalmente a seca. Com isso, após analisar séries históricas de dados meteorológicos identifica-se para cada município a melhor época de semeadura para as culturas anuais nos diferentes tipos de solo e ciclos das cultivares, dentro de níveis de risco de perda pré-estabelecidos. Apesar de a metodologia científica ser relativamente complexa, os indicativos resultantes e sua aplicação prática são de fácil entendimento e adoção pelos produtores rurais, extensionistas, agentes financeiros, seguradoras e demais usuários.

Portanto, a caracterização do nível de risco climático visa fundamentalmente indicar os períodos em que o plantio tem menor risco de perdas, considerando uma probabilidade de maior freqüência de ocorrência de deficiência hídrica no solo (20%, 50% ou 80%) (ASSAD, 2009; ASSAD et al., 2004; ANDRADE JÚNIOR et al., 2001), ou seja, a cada 10 ou 8 anos de plantio só poderão ocorrer perdas em no máximo 2 anos. Este procedimento constitui-se assim elemento muito útil à delimitação de áreas e épocas aptas à semeadura nas atividades agrícolas (ASSAD et al., 2004). Após análises em conjunto das informações técnicas levantadas, será dado o indicativo de plantio. (ASSAD, 2009).

Ainda dentro dos procedimentos, no Brasil aparecem desenvolvidos sistemas de avaliação da aptidão agrícola das terras e o sistema de capacidade de uso (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004; RAMALHO-FILHO & BEEK; 1995). Este sistema brasileiro de classificação da capacidade de uso da terra é uma versão modificada da classificação americana desenvolvido no Serviço de Conservação de Solos, atual Serviço de Conservação de Recursos Naturais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e usados por muitos países.

Este método ao contrário do americano se identifica com o planejamento de conservação de solo na agricultura em nível empresarial e não empresarial,

assumindo vários níveis de gestão agrícola para os insumos (baixo intermédio e alto). Seu uso é baseado na suposição de que pode ser aplicado para interpretar levantamentos simplificados, denominados levantamentos utilitários que podem ser feitos tanto por especialistas em ciência do solo quanto por agrônomos treinados em conservação de solos.

Já o sistema americano em sua base propõe-se a determinar procedimentos para o controle da erosão e classes de capacidade, por isso reflete principalmente a extensão e complexidade dos problemas de conservação. É dada importância ao declive, enquanto outras qualidades indicadoras de problemas de fertilidade são negligenciadas. Isto se deve ao fato de se considerar, presumidamente, um uso intensivo com alta tecnologia baseado em equipamentos motorizados e adequados para países em desenvolvimento. A classificação não é dirigida especificamente para o planejamento do uso da terra e não classifica as terras de acordo com a produtividade

Esses modelos se enquadram na categoria de Cluster, pois se trata mais de um artifício cartográfico, que identifica no mapa o tipo de utilização das terras, ou seja, sua melhor aptidão. As culturas são divididas em grupos como tipo de utilização sendo lavoura anuais, culturas perenes, pastagem plantada, silvicultura ou pastagem natural e zonas de preservação da flora e da fauna, respectivamente.

Para Pereira & Lombardi Neto (2004) as principais vantagens do método de zoneamento da aptidão da terra são: a) maior utilização ao nível nacional; b) considera na sua estrutura diferentes níveis de manejo; c) permite modificações, ajustes ou incorporações de outros parâmetros e fatores de limitação, acompanhando assim os avanços do conhecimento ou exigência do nível de estudo; d) aceita adaptações e aplicações em diferentes escalas de mapeamento; e) considera a viabilidade de redução de limitações, pelo uso de capital e tecnologia, distinguindo o pequeno e o grande agricultor.

Concomitantemente, para um estudo mais regional, Ramalho Filho et al. (2010) elaboram um zoneamento agroecológico para a cultura de óleo da palma nas áreas desmatadas da Amazônia Legal – ZAE-Óleo de Palma, seguindo de modo geral aqueles preconizados pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, mas com algumas adaptações, tal como a utilização de um quadro de conversão, o

conjunto de regras, específico para o óleo de palma. A avaliação do ZAE - Óleo de Palma para cada componente das unidades de mapeamento de solos foi feita, de acordo com os seus graus de limitação ao uso, em quatro classes: boa, regular, marginal ou restrita e inapta. Essas classes são estabelecidas de acordo com o grau de intensidade com que os fatores de limitação afetam as terras para os níveis de manejo ou aporte de capital de tecnologia, sendo um com alto (C) e outro com modesto (B).

Os fatores limitantes dos solos, considerados representativos das condições agrícolas das terras são: deficiência de fertilidade natural, deficiência de água, excesso de água e riscos de inundação, suscetibilidade à erosão, impedimentos ao desenvolvimento radicular e impedimento à mecanização, os quais são analisados de acordo com seus respectivos graus de limitação: Nulo (N), Ligeiro (L), Moderado (M), Forte (F) e Muito Forte (MF), conforme os preceitos metodológicos propostos por (Ramalho Filho & Beek, 1995).

Subsidiariamente, foram consideradas em separado outras propriedades específicas do solo tais como: textura, relevo, drenagem interna e profunda, que interferem no volume de solo explorado pelas raízes e conseqüentemente na disponibilidade de nutrientes e de água para as plantas. O cruzamento direto entre a textura do solo e o relevo, por exemplo, foi utilizado para auxiliar as avaliações de suscetibilidade à erosão e de impedimento à mecanização. Esse procedimento constitui um maior refinamento do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. Procedimento semelhante a esse já foi usado no passado para o zoneamento da aptidão das terras para culturas específicas (RAMALHO FILHO et al., 1995).

Nele são estipulados os graus máximos de severidade ou de limitação para cada fator limitativo das condições de produção da cultura, de forma que cada componente das unidades de mapeamento se enquadre nas quatro classes de aptidão das terras (Boa, Regular, Restrita e Inapta), sob os níveis de manejo B e C. Esses graus de limitação são atribuídos às terras de acordo com o nível de problemas remanescente, previsto após a aplicação das medidas mitigadoras compatíveis com cada nível de manejo, tendo como referência um solo com características compatíveis com a classe de aptidão Boa para o óleo de palma.

Contudo, concluídos essa revisão afirmando que na literatura se verifica que os esquemas de zoneamento matriz são os mais vantajosos, pois a gama de parâmetros de entrada para todas as zonas é conhecida e especificamente definida pelos pesquisadores. O tamanho das zonas em uma matriz de zoneamento resulta do número de variáveis de entradas utilizadas e do grau de especificidade nas classes para cada variável, ou seja, mais variáveis de classe e mais subdivisões dentro de cada variável resultam em um maior número de zonas com área menor. Segundo Van Wart et al., (2013a) a metodologia da matriz permite um alto grau de controle sobre o número das zonas resultantes conforme determinado pelo uso pretendido do esquema de zoneamento.

## 2.4. CARACTERÍSTICAS AGRÍCOLAS PARA DECISÕES DE PLANTIO.

### 2.4.1. A cultura do Milho

O crescimento e desenvolvimento das plantas é condicionado pela absorção térmica, água e nutrientes (BAHIA FILHO et al.,1983), tanto através do solo como pelo ar. Isto implica que para alcançar produções potenciais, a cultura deve ser otimamente abastecida com esses elementos e completamente protegida contra ervas daninhas, pragas, doenças e outros fatores que podem reduzir a produtividade (VAN ITTERSUM et al., 2003).

A interação clima e solo tem um papel primordial no processo produtivo de uma cultura, pois representam os suportes para as plantas e fonte de suplementos, e ainda da capacidade de assimilação da planta, do período disponível para essa assimilação e das influencias favoráveis e prejudiciais dos fatores ambientais (MAGALHÃES & DURÃES, 2006).

A absorção de água e nutrientes pode ser feita diretamente pelo sulco da planta ou pela base de suporte das plantas (solo), pelas suas conhecidas fases (sólida, líquida e gasosa) e pelas suas interações (BAHIA FILHO et al.,1983). Sendo que a água desempenha um papel preponderante, pois o déficit hídrico reduz em ambos os casos a movimentação de íons e conseqüentemente a sua absorção (BAHIA FILHO et al.,1983).

A fase sólida é compreendida por frações orgânicas e minerais (onde ocorre o fenômeno de adsorção iônica, que do ponto de vista agrônomo, é o mais importante depois da fotossíntese), a fase gasosa constituída principalmente por CO<sub>2</sub> (0,3 % - cerca de dez vezes mais que no ar), O<sub>2</sub> (20%) e N<sub>2</sub> (79% - ocupando os poros maiores), e a fase líquida compreende a água e os solutos (ocupando os poros menores do solo) (BAHIA FILHO et al. 1983). Os dados obtidos nestas condições fornecem uma ideia aproximada dos nutrientes que devem ser fornecidos para a cultura.

A disponibilidade de água no solo representa um fator limitante no desenvolvimento da cultura. Ela é praticamente determinada pelo regime de chuvas e da bacia hidrográfica, pois enquanto o conteúdo de água no solo não atingir um teor crítico, o que rege o consumo de água pela cultura são as condições climáticas. Já abaixo desse limite crítico, o que define o consumo são as condições físico-hídricas do solo. As chuvas afetam também indiretamente as taxas de radiação, uma vez que chuvas intensas limitam a radiação solar que chega à superfície (LANDAU et al., 2010).

A quantidade de água e nutriente extraível pela planta depende do tipo de solo; ou seja, da capacidade de retenção, da profundidade efetiva de extração, da solução do solo e da idade da planta (LANDAU et al., 2010). As quantidades de nutrientes que são extraídas pela cultura dependem da produtividade, da variedade das condições de clima, da fertilidade do solo, da adubação, extratos culturais, e outros (BAHIA FILHO et al., 1983).

O solo representa reservatório no qual se repõe periodicamente soluções nutritivas em água que devem ser absorvidas pelas culturas, respeitando-se um valor limite inferior para a disponibilidade de água (TORMENA et al., 1999). As interações complexas entre o clima (oxigênio e abastecimento de água) e outro fator de resistência associado a um elemento solo (impedância mecânica) para as raízes das plantas resultam em condições de enraizamento ideais das culturas (LAPEN et al., 2004; SANS & GUIMARÃES, 2006).

Desta forma e dependendo da textura e da estrutura do solo, limitações do crescimento das plantas, por reduzida aeração ou elevada resistência à penetração, podem ocorrer dentro da faixa de água disponível (TOPP et al., 1994; TORMENA et

al., 1999). O potencial da água no solo está mais diretamente ligado ao desenvolvimento das plantas, que o conteúdo de água disponível (JENSEN et Al. 1998; TORMENA et al., 1999). Portanto o cálculo do balanço hídrico é fortemente recomendando para se determinar a melhor região de cultivo.

O Milho (*Zeamays L.*) é uma espécie que pertence à família *Gramineae/Poaceae*, com origem no Teosinto (México) há mais de 8000 anos. A finalidade desta planta é para a utilização na alimentação humana e animal, por possuir elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos. As características econômicas específicas para o plantio do milho são as mesmas para todas as culturas de maneira em geral, por isso é importante se debruçar mais detalhadamente naquelas climáticas e ecológicas que são específicas da cultura (DURÂES, 2007).

O milho possui uma grande adaptabilidade, representado por vários genótipos, encontrando-se em diversos climas como: tropicais subtropicais e temperados nas quais a temperatura média do ar seja superior a 15°C (ASSAD et al., 1999; BARROS & CALADO, 2014), por isso seu cultivo é realizado desde a linha do Equador até o limite das terras temperadas, e também do nível do mar até altitudes superiores a 3000 metros (DURÂES, 2007; BARROS & CALADO, 2014). É cultivado em vários países (Estados Unidos, China, Brasil, França, Indonésia e África do Sul, dentre outros).

Genótipos de milho melhor adaptados e com mais alto rendimento poderiam ser mais eficientes e efetivos se atributos que conferem rendimento sob condições ambientais subótimas (limitantes por fatores abióticos: radiação e temperatura, água, nutrientes; e, bióticos: doenças, pragas e mato competição) pudessem ser identificados e usados como critério de seleção (CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003; DURÂES, 2007).

Fatores da produtividade agrícola, ambientais primários (latitude, altitude, chuva, topografia, textura do solo, composição do solo) são de ação indireta, e os ambientais secundários (radiação solar, comprimento do dia, temperatura, água no solo, aeração do solo, minerais do solo) de ação direta, afetam os processos fisiológicos e conseqüentemente o rendimento de culturas, em intensidades diferenciadas (figura 4).

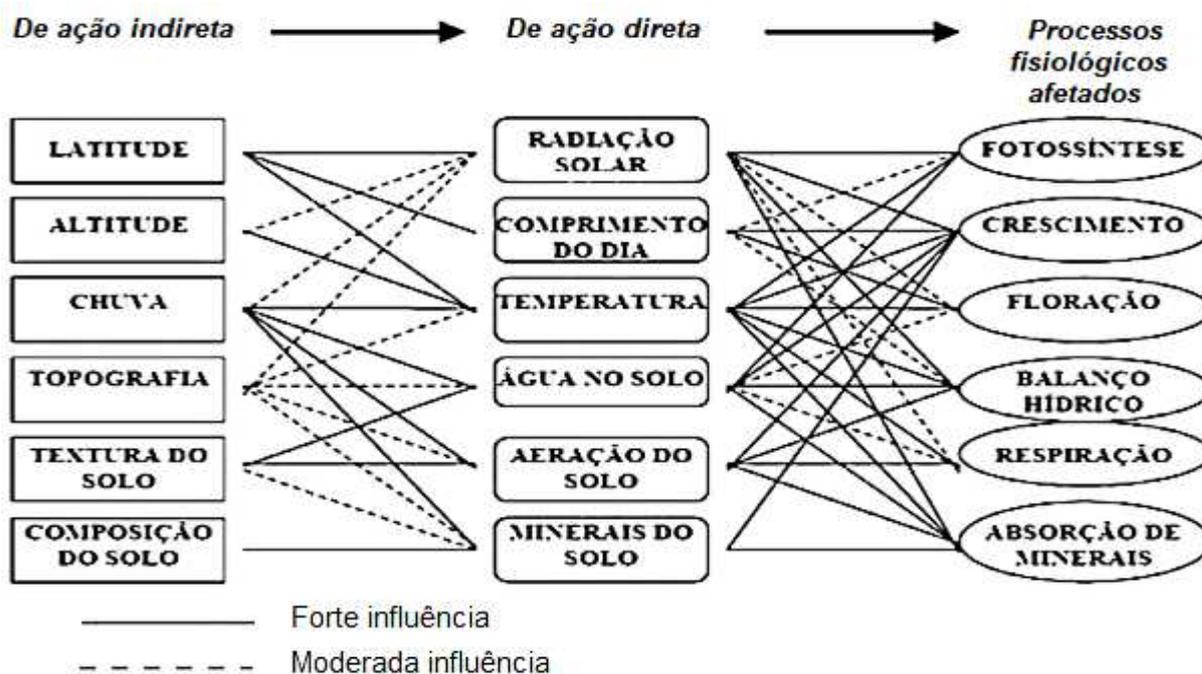


FIGURA 4 - FATORES DE INFLUÊNCIA PARA PRODUTIVIDADE DO MILHO.

FONTE: DURÂES (2007) e CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO (2003)

Como visto na Figura 4, o milho tem altos requerimentos de água, temperatura e radiação, ambos influenciados pela latitude e altitude do terreno. Então como é de se esperar os requerimentos de precipitação variam com a umidade e clima. Em uma região tropical, 500 mm pode ser suficiente, mas em uma área de mais baixa umidade o requerimento pode exceder a 900 mm (DOORENBOS & KASSAM, 1992). Por esse motivo é relevante para estudos de adequação analisar os requisitos individualmente.

#### 2.4.1.1. Fenologia da planta

De acordo com o Zoneamento Agrícola para a cultura de milho, as cultivares são classificadas, em função do ciclo, em três grupos de características homogêneas: Grupo I – Precoce ( $n < 110$  dias); Grupo II - Normal ( $110 \leq n \leq 145$  dias); e Grupo III - Tardio ( $n \geq 145$  dias), onde  $n$  expressa o número de dias da emergência à maturação fisiológica (LANDAU et al., 2010; CRUZ et al., 2010). Esse ciclo acontecendo em quatro fases distintas (Figura 5), sendo: Germinação e

emergência; desenvolvimento vegetativo (V1 a VT); Reprodutivo (R1 a R6);  
Maturação fisiológica.

A germinação é um período compreendido entre a sementeira e o aparecimento da plântula de milho e é muito variável principalmente em função da temperatura e nível de umidade do solo, ocorrendo entre quatro e cinco dias após sementeira em condições adequadas de temperatura e umidade do solo, e podendo durar de cinco até 15 dias em condições inadequadas.

O período vegetativo é compreendido entre a emissão da segunda folha definitiva (aquelas folhas totalmente emergidas do cartucho, observadas a olho nu na linha de união entre a lâmina e a bainha da folha), ocorrendo aproximadamente duas semanas após a emergência até o início do florescimento de milho. É durante essa etapa que são determinados importantes componentes do rendimento de grãos. Entre seis e nove folhas define-se o número de fileiras de grãos por espiga de milho e entre 12 a 15 folhas o número de grãos por fileira. É por esse motivo que na prática e nos estudos de predição, esse período é considerado o mais importante em termos de competição, controle e reflexos no rendimento de grãos final da lavoura.

O Reprodutivo é o período que envolve duas etapas essenciais: *Florescimento* - compreendido entre polinização e início da frutificação de milho, que normalmente tem sua duração estabelecida entre quatro e oito dias; e a *Frutificação* - compreendida entre fecundação até enchimento de grãos de milho. Essa etapa é conhecida pelos técnicos e agricultores pela fase de enchimento de grãos. A duração dessa etapa, dependendo da cultivar e das condições ambientais, pode variar de 40 a 60 dias.

A Maturação fisiológica é o período compreendido entre o fim da frutificação e a maturação fisiológica ou aparecimento da camada preta na base do grão de milho (que fica em contato com o sabugo).

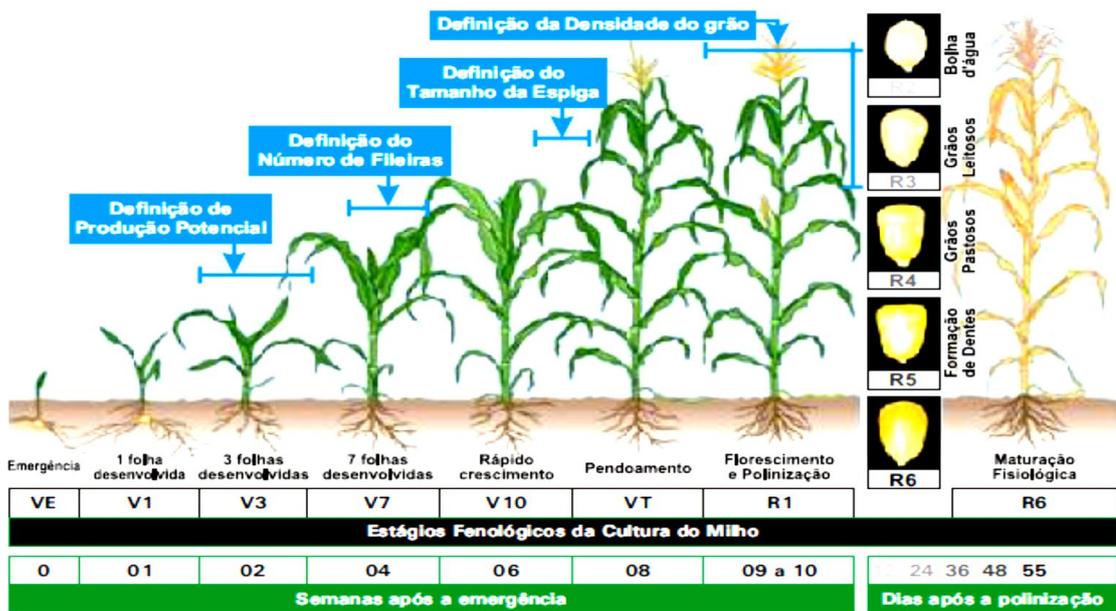


FIGURA 5 - CICLOS VEGETATIVOS DA CULTURA DO MILHO.

FONTE: EMBRAPA (2010).

Portanto, a cultura do milho é totalmente dependente de um conjunto de fatores climáticos e culturais, sendo que necessita que os índices dos fatores climáticos (água, temperatura e radiação solar ou luminosidade) e das cultivares (ciclo e fases da cultura), atinjam níveis considerados ótimos, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (SANS & GUIMARÃES, 2006; ALVARENGA et al., 2010; LANDAU et al., 2010; BAHIA FILHO et al., 1983; MAGALHÃES & DURÃES, 2006). Estes fatores atuam eficientemente nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produção de grãos e de matéria seca.

Os aspectos vegetativos e reprodutivos da planta de milho são modificados através da interação com eles, que afetam o controle da ontogenia da planta. As relações de fonte e dreno são funções de condições ambientais e as plantas procuram se adaptar a essas condições (SANS & GUIMARÃES, 2006). Então a gestão pode ser usada para controlar a disponibilidade de água e nutrientes, e pode aumentar a produção para níveis potenciais durante todas as fases de desenvolvimento.

#### 2.4.1.2. Água

O milho transpira intensamente, e por este motivo, é extremamente exigente em água. Ele deve ser cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais (ALVARENGA et al., 2010; MAGALHÃES & DURÃES, 2006), sendo que a quantidade de água consumida por uma lavoura de milho durante o seu ciclo varia de 500 a 800 mm, dependendo das condições climáticas dominantes (SANS & GUIMARÃES, 2010), em torno de 600 mm a mais adequada (ALVARENGA et al., 2010); MAGALHÃES & DURÃES, 2006), e absorvida diferencialmente com o estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura (SANS & GUIMARÃES, 2006).

O consumo diário de água nos estágios iniciais de crescimento, num clima quente e seco, raramente excede 2 mm/dia. Durante o período compreendido entre o espigamento e a maturação (planta em torno de 30 cm de altura), o consumo pode se elevar para 3 – 7,5 mm/dia. Mas se a temperatura estiver muito elevada e a umidade do ar muito baixa, o consumo poderá chegar até 10 mm/dia (SANS & GUIMARÃES, 2006; MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

A ocorrência de déficit hídrico na cultura do milho pode ocasionar danos em todas as suas fases (ALVARENGA et al., 2010), pois esse estresse diminui o desenvolvimento da cultura, especificamente no florescimento, em função de dias por percentual (2 dias = 20 %, e 4 – 8 dias = 50 %) (MAGALHÃES & DURÃES, 2006).

No período que vai da iniciação floral até o desenvolvimento da inflorescência e o período do pendoamento até a maturação são as fases críticas do déficit hídrico (SANS & GUIMARÃES, 2010). Na fase do desenvolvimento vegetativo, devido ao menor alongamento celular e à redução da massa vegetativa, há uma diminuição na taxa fotossintética (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Na fase de enchimento de grãos afetará o metabolismo da planta e o fechamento de estômatos, com redução da taxa fotossintética e conseqüentemente a produção de foto-assimilados e sua translocação para os grãos (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). A produção de grãos é afetada diretamente, pois a menor massa vegetativa possui menor capacidade fotossintética.

Assim, o efeito da falta de água sobre o rendimento, associado à produção de grãos particularmente importante em três estágios de desenvolvimento da planta é descrito abaixo (MAGALHÃES & DURÃES, 2006; CRUZ et al., 2011):

(a) iniciação floral e desenvolvimento da inflorescência - Nesse estágio, apesar de a planta ainda estar jovem, é uma fase crítica, pois todo o potencial de rendimento poderá ser comprometido caso a lavoura venha sofrer algum tipo de estresse.

(b) Período de fertilização ou florescimento, nessa fase coincide com a fertilização dos grãos, em que não poderá faltar umidade e nutrientes para as plantas, para evitar a desidratação do grão de pólen e garantir o desenvolvimento e a penetração do tubo polínico em consequência das altas taxas de metabolismo presentes.

(c) Enchimento de grãos que vai de R2 a R6 (quando ocorre o aumento na deposição de matéria seca, o qual está intimamente relacionado à fotossíntese (menor disponibilidade de CO<sub>2</sub> e limitação dos processos de alongação celular) - O estresse vai resultar na menor produção de carboidratos, o que implicaria menor volume de matéria seca nos grãos.

Pesquisas em diferentes locais e tipos de solos têm mostrado que ambientes com teor de água extraível até 30% não apresentam limitações no desenvolvimento da cultura de milho, mas quando o valor é inferior, o consumo relativo de água decresce linearmente (LANDAU et al., 2010).

#### 2.4.1.3. Temperatura

Temperatura é o mais importante entre todos os fatores ambientais que influenciam a taxa de desenvolvimento da planta (DURÃES, 2007). Ela possui uma relação complexa com o desempenho da cultura, uma vez que a condição ótima varia com os diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento da planta (LANDAU et al., 2010). A temperatura da planta é basicamente a mesma do ambiente que a envolve. Devido a esse sincronismo, flutuações periódicas influenciam nos processos metabólicos que ocorrem no interior da planta. Nos momentos em que a temperatura é mais elevada, o processo metabólico é mais acelerado e nos períodos mais frios o

metabolismo tende a diminuir (LANDAU et al., 2010). Ainda a temperatura influencia os processos de respiração de manutenção, de transpiração, repouso vegetativo, duração das fases fenológicas das culturas, a indução ao florescimento, conteúdo de óleo em grãos a taxa de germinação de sementes.

A planta de milho precisa acumular quantidades distintas de energia ou simplesmente unidades calóricas necessárias a cada etapa de crescimento e desenvolvimento. A unidade calórica é obtida através da soma térmica necessária para cada etapa do ciclo da planta, desde o plantio até o florescimento masculino. O somatório térmico é calculado através das temperaturas máximas e mínimas diárias (Maluf et al., 1995; MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Essa oscilação metabólica ocorrendo dentro dos limites extremos tolerados pela planta de milho, compreendidos entre 10°C e 30°C, respectivamente (temperaturas referenciais para o cálculo). Abaixo de 10°C, por períodos longos, a absorção de nutrientes do solo e o crescimento da planta é quase nulo e sob temperaturas acima de 30°C, também por períodos longos durante a noite o rendimento de grãos decresce, em razão do consumo dos produtos metabólicos elaborados durante o dia, ocorrendo diminuição da atividade da redutase do nitrato, podendo alterar o rendimento e a composição proteica dos grãos (Maluf et al., 1995; LANDAU et al., 2010).

No entanto, a temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24°C e 30°C durante o dia e com noites frias, em torno de 16 °C e 19 °C, sendo a média diurna ideal para maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos na temperatura de 21°C (LANDAU et al., 2010). Noites e dias quentes aceleram o ciclo e perda de rendimento, enquanto noites e dias frios aumentam em muito o ciclo, sem, no entanto, trazer nenhuma vantagem para o rendimento final.

Então, relativo às somas térmicas, cada subperíodo fisiológico do ciclo de vida da planta de milho requer o acúmulo de uma determinada quantidade de calor, comumente expressa pelo índice graus-dia, que é calculado considerando a soma das temperaturas diárias acima da temperatura base para o desenvolvimento da cultura, considerada de 8 °C a 10 °C (CRUZ et al., 2011). O conceito de graus-dia assume a existência de uma temperatura base, abaixo da qual o crescimento e o desenvolvimento da planta são interrompidos ou extremamente reduzidos,

pressupondo uma relação linear entre temperatura e desenvolvimento vegetal, desde que não existam limitações de outros fatores.

Para efeito do zoneamento agrícola, o ciclo é baseado no período de florescimento estimado com base nas somas térmicas ou totais de unidades de calor (U.C.) entre 10°C e 30°C necessários para completar o período compreendido entre a emergência e o florescimento da cultura em diversas regiões (CRUZ et al., 2011; LANDAU et al., 2010).

#### 2.4.1.4. Radiação Solar

A radiação solar é a energia que aciona o sistema agrícola, determinando as características térmicas do ambiente, especialmente as temperaturas do ar e do solo, também determina a duração do dia, influenciando a foto periodismo (resposta dos vegetais a luminosidade).

A radiação solar é um dos principais parâmetros para a cultura do milho, sem a radiação a etapa fotossintética é inibida e a planta acaba sendo impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo (LANDAU et al., 2010). Grande parte da matéria seca do milho, cerca de 90%, provém da fixação de CO<sub>2</sub> pelo processo fotossintético (CRUZ et al., 2010; LANDAU et al., 2010). O milho é uma planta do grupo C<sub>4</sub>, altamente eficiente na utilização da luz, pode atingir taxas maiores que 80 mg/dm<sup>2</sup>/h), respondendo com elevados rendimentos ao aumento da intensidade luminosa (LANDAU et al., 2010), por isso praticamente não manifesta saturação por radiação solar. Por exemplo, se ocorrer uma redução entre 30% a 40% da intensidade luminosa, por um longo período, retarda a maturação dos grãos, podendo ocasionar uma queda na produção, principalmente em cultivares tardias, mais carentes de luz (CRUZ et al., 2010; LANDAU et al., 2010).

O período de enchimento de grãos do milho semeado em longo período com alta nebulosidade, com grande frequência de período chuvoso durante o dia, com redução na radiação fotossinteticamente ativa necessária para intensificar o processo fotossintético traz redução na produtividade e no rendimento de sementes (LANDAU et al., 2010).

A maior sensibilidade à variação de luz ocorre no início da fase reprodutiva, ou seja, nos primeiros 15 dias após o pendoamento. O aproveitamento efetivo de luz pelo milho depende muito da estrutura da planta, principalmente da distribuição espacial das folhas. Assim, é importante que o número de plantas não exceda a 65.000 plantas/há.

#### 2.4.1.5. Relevo

Altitude influencia a temperatura e radiação solar, que afetam diretamente os processos fisiológicos de fotossíntese, floração, balanço hídrico, respiração e absorção de nutrientes (DURÃES, 2007).

Em áreas tropicais, a maioria dos altos rendimentos é restrita em áreas intermediárias ou de alta altitude, tendo longas estações chuvosas. Segundo Fisher & Palmer (1983 e outros O Autores citados por DURÃES, 2007), rendimentos de 12 ton/ha podem ser obtidos em latitude 18 ° S, e altitude 1.500 m. Em terras baixas tropicais, rendimentos podem atingir 5 a 8 ton/ha, com boa administração. Em regiões temperadas, rendimentos máximos próximo de 20 ton/ha são relatados, sendo rendimentos comerciais de 10 ton/ha comuns.

Para Wilson et al. (1973) e Durães (2007) em altitudes superiores a 1.000m, os cultivares de milho tropical apresentam a duração do crescimento mais longo que em terras baixas tropicais e é limitado ou por baixas temperaturas ou disponibilidade de umidade para plantio, pois regiões tropicais genericamente descritas como de baixa altitude, com estratos de 0 até 700 metros acima do nível do mar a radiação solar, temperatura e umidade constituem-se dentre os fatores de maior limitação ao desenvolvimento e respostas de milho.

Portanto segundo Durães et al. (2002) e Durães (2007) mediante ensaios de genótipos de milho cultivados em diferentes locais das regiões Centro e Oeste do Brasil, regiões que se situam na mesma latitude que a região desse objeto de estudo permitem observar variações significativas no rendimento de grãos, quando os ensaios foram separados por grupos de altitude ( $\geq 700$  e  $< 700$ m). Em ambas as regiões observaram-se os maiores rendimentos em locais de altitudes superiores a 700 metros e menores produtividades de grãos de milho em baixas altitudes (abaixo de 700 metros).

A constatação de que altitude, dentro de certos limites, limita a produção de grãos de milho, permite orientar a decisão quanto à escolha de cultivares, épocas de semeadura, adoção de determinadas práticas de manejo, bem como melhorar o entendimento quanto a rendimento potencial e rendimento atual, devido a fatores estressantes, de ação indireta ou direta, em processos fisiológicos que afetam o rendimento de grãos (DURÃES, 2007).

#### 2.4.1.6. Semeadura

No milho, não é constatada a presença de fatores inibitórios do processo de germinação, visto que sob condições ótimas de umidade os grãos podem germinar imediatamente após a maturidade fisiológica mesmo ainda estando preso à espiga (MAGALHÃES et al., 2012; ALVARENGA et al., 2010).

Para a tomada de decisão quanto à época de plantio, é importante conhecer os fatores de riscos climáticos a que está sujeito, que tendem a ser minimizados quanto maior eficiente for o planejamento das atividades relacionadas à produção (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). O período de crescimento e desenvolvimento é afetado pela umidade do solo, temperatura, radiação solar e fotoperíodo, que afetam a produtividade do milho em função de vários fatores integrados, sendo os mais importantes à interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de fotossintatos para os grãos e a capacidade de dreno (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). As relações desses fatores são funções de condições ambientais às quais as plantas procuram se adaptar, daí a importância de conhecer a época de plantio analisando todo o ciclo da cultura, procurando prever as condições ambientais em todas as suas fases fenológicas (MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

Portanto, a época de plantio é função destes fatores, cujos limites extremos são variáveis em cada região agroclimática. Refere-se ao período em que a cultura tem maior probabilidade de desenvolver-se em condições edafoclimáticas favorável (FISCHER et al., 2012). A mais adequada é aquela que faz coincidir o período de floração com os dias mais longos do ano e a etapa de enchimento de grãos com o período de temperaturas mais elevadas e alta disponibilidade de radiação solar, isto

considerando satisfeitas as necessidades de água pela planta (MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

Trabalhos de pesquisas mostram que as épocas em que o rendimento de grãos foi maior e mais estável foram aquelas em que os estágios de desenvolvimento de quatro folhas totalmente desenvolvidas e a floração ocorrem sob boas condições de água no solo (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Nas condições tropicais, devido a menor variação da temperatura e do comprimento do dia, a distribuição de chuvas é que geralmente determina a melhor época de semeadura. A época de semeadura afeta várias características da planta, ocorrendo um decréscimo mais acentuado no número de espigas por planta e no rendimento de grãos (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Vários resultados da literatura mostram que o atraso na semeadura pode resultar em perdas que podem ser superiores a 60 kg/ha/dia. Essa tendência pode ser revertida se não houver déficit hídrico e ocorrer uma redução na temperatura do ar (MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

Em relação à cultura do milho de segunda safra, como é plantado após uma cultura de verão, a sua data de plantio depende da época do plantio dessa cultura e de seu ciclo, por isso tem sua produtividade bastante afetada pelo regime de chuvas e por fortes limitações de radiação solar e temperatura na fase final de seu ciclo. Assim, o planejamento do milho de segunda safra começa com a cultura do verão, visando liberar a área o mais cedo possível (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Quanto mais tarde for o plantio, menor será o potencial e maior o risco de perdas por seca e/ou geadas.

Nas regiões onde não ocorrem geadas, o plantio do milho poderá ser feito o ano todo, mas o agricultor deverá levar em consideração as alterações no ciclo da cultura, que afetarão a época de colheita e, conseqüentemente, o calendário agrícola, podendo afetar a época de plantio de culturas subsequentes (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). Além disto, o potencial produtivo pode variar de acordo com as condições climáticas resultantes da época de plantio.

Ainda para Magalhães & Durães (2010) no milho em condições de temperatura e umidade do ar adequado, a emergência ocorre 4 a 5 dias após a semeadura, pois as sementes absorvem água e começam a crescer, porém, em condições de baixa temperatura e pouca umidade, a germinação pode demorar até

duas semanas ou mais. Ainda para o mesmo O Autor o ponto de crescimento da planta, nesse estágio, está localizado cerca de 2,5 a 4,0 cm abaixo da superfície do solo. Essa profundidade onde se acha o ponto de crescimento é também a profundidade onde se vai originar o sistema radicular definitivo do milho, conhecido como raízes nodais ou fasciculadas.

Para uma germinação e emergência mais rápidas em plantio mais cedo, deve-se optar por uma profundidade de semeadura mais rasa, onde a temperatura do solo é mais favorável (MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

Sendo o milho uma planta cujo sistema radicular tem grande potencial de desenvolvimento, é desejável que o solo seja profundo (mais de 1 m). Solos rasos dificultam o desenvolvimento das raízes e possuem menor capacidade de armazenamento de água, estando sujeitos a um desgaste mais rápido em função da pouca espessura do perfil. A profundidade de semeadura está condicionada aos fatores temperatura do solo, umidade e tipo de solo. A semente deve ser colocada numa profundidade que possibilita um bom contato com a umidade do solo (MAGALHÃES & DURÃES, 2010).

Entretanto, a maior ou menor profundidade de semeadura vai depender do tipo de solo. Em solos mais pesados, com drenagem deficiente ou com fatores que dificultam o alongamento do mesocótilo, dificultando a emergência de plântulas, as sementes devem ser colocadas entre 3 e 5 cm de profundidade. Já em solos mais leves ou arenosos, as sementes podem ser colocadas mais profundas, entre 5 e 7 cm de profundidade, para se beneficiarem do maior teor de umidade do solo (MAGALHÃES & DURÃES, 2010). A Tab. 2 mostra o efeito da profundidade de semeadura sobre a emergência, o vigor e a duração do período de emergência na cultura do milho.

QUADRO 2 - PORCENTAGEM DE EMERGÊNCIA, VIGOR E DURAÇÃO DO PERÍODO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES.

Profundidade (cm)	Emergência (%)	Vigor <sup>1</sup>	Duração Média (dias)
2.5	100.0	3.0	8.0
5.0	97.5	3.0	10.0
7.5	97.5	3.0	12.0
10.0	80.0	2.5	15.0
12.5	32.5	0.7	18.0

<sup>1</sup>Vigor aos 22 dias após a sementeira. Notas: 3.0 para o máximo vigor a zero para mínimo vigor

FONTE: Adaptado de MAGALHÃES; DURÃES (2010) apud FAGUNDES (1975)

Assim pode-se concluir que com a análise dos levantamentos, as diferenças edafoclimáticas de cada região influenciam muito na tomada de decisão da época de plantio da cultura de milho.

## 2.5. ANGOLA

### 2.5.1. Panorama econômico e produtivo.

Oficialmente, a República de Angola é um país situado na região ocidental da África Austral, com uma extensão territorial de 1.246.700 km<sup>2</sup> (23.<sup>o</sup>), uma dimensão de fronteira marítima de 1.650 km, e de fronteira terrestre de 4.837 km, estando no Norte com a República Democrática do Congo e a República do Congo, no Leste a Zâmbia, a Sul Namíbia, e Oeste o imenso Oceano Atlântico. Inclui também o enclave de Cabinda, através do qual faz fronteira com a República do Congo, a norte. É o sexto país Africano de maior dimensão, sua divisão administrativa compreende 18 Províncias de norte a sul do país, 164 municípios divididos em 532 comunas. A divisão administrativa do território menor é o bairro na cidade, enquanto que nos meios rurais é a povoação (Portal Oficial da Republica de Angola, 2015).

Os resultados definitivos do Censo 2014 mostraram que em 16 de Maio de 2014, a população residente em Angola era de 25.789.024 de habitantes, dos quais 12.499.041 do sexo masculino (48%) e 13.289.983 do sexo feminino (52%) (INE, 2016).

Atualmente nas áreas rurais vivem somente 37,4 % dos angolanos, contra 85 % registados no Censo de 1970 quando a população total era de 5,6 milhões habitantes (CEIC, 2016). A população deverá crescer para mais de 47 milhões de pessoas até 2060 (INE, 2016). Destes números, tem-se ainda por considerar que maior parte da população (aproximadamente 7 milhões de pessoas correspondentes a 28 % da população total) vive em torno de Luanda, que é tida como a província mais populosa do país.

Os valores da importação trazem um conjunto amplo de problemas em todos os setores e estágios, desde o fornecimento de suprimento, até no serviço ao consumidor. Para Pacheco (2009), o petróleo domina o quadro econômico do país e apresenta-se como o principal inimigo da aposta em outros setores da diversificação da economia como agricultura. O volume das importações dos principais cereais consumidos no ano 2014 foi de 279.212 toneladas para o arroz e 16.305 toneladas para o milho respectivamente (GEPE-MINAGRI, 2016). A figura abaixo apresenta um gráfico que ilustra o comportamento das importações de bens e serviços para os últimos treze anos (2002-2015).

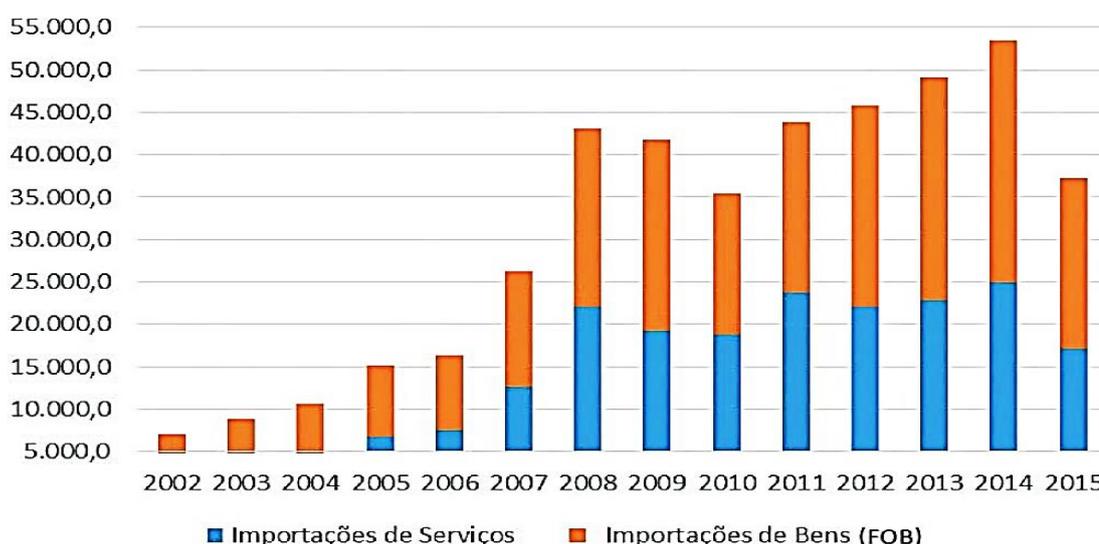


FIGURA 6 - COMPORTAMENTO DAS IMPORTAÇÕES EM ANGOLA (MILHÕES DE USD).

FONTE: CEIC (2016)

Como é possível observar no gráfico acima, em 2015 houve uma redução de 30% nas importações em relação a 2014, passando de USD 53,5 mil milhões para

USD 37,2 mil milhões. Segundo CEIC (2016) essa redução deveu-se essencialmente a pelo menos dois fatores: (i) o agravamento da pauta aduaneira e (ii) as dificuldades no acesso às divisas.

A seguir é apresentando outra figura que especifica as categorias dos bens importados, sendo bens de consumo corrente (satisfazem diretamente as necessidades das pessoas, como alimentos, roupas, eletrodomésticos, etc.), bens de consumo intermediário (insumos e matérias-primas usados no processo de fabrico de bens de consumo final) e os bens de capital (equipamentos, máquinas e maquinarias).

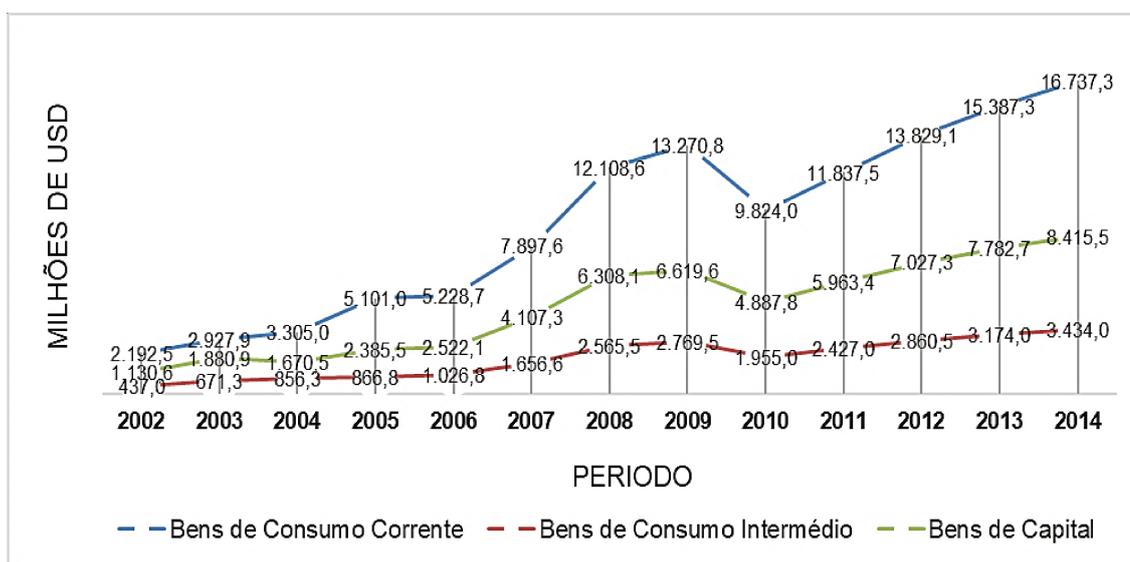


FIGURA 7 – VALORES DAS IMPORTAÇÕES DE BENS (2002-2014).

FONTE: CEIC (2016)

Observa-se no gráfico que o país importa mais bens de consumo final do que bens de consumo intermédio e bens de capital juntos. Isso se justifica pela fraca estrutura da cadeia industrial, sendo que não se importa quase nada como matéria prima, apenas é importada já como produto final acabado e pronto para consumo. Observa-se ainda que ao longo de treze anos, apesar do aumento na importação de bens de consumo intermédio (686%, média anual de 53%) e de capital (em 644%, média anual de 50%), os bens de consumo corrente ao invés de diminuírem, aumentaram quase na mesma proporção (663%, uma média anual de 50%), tudo porque tal como cresce a população, cresce também a demanda por esses produtos, nomeadamente alimentação, vestuário, etc.

Os principais alimentos consumidos por essa população são o milho, arroz, a mandioca, feijão (HENRIQUE et al., 2010). Assim não restam dúvidas sobre a importância do milho no peso do consumo de produtos alimentares em Angola. As importações, especificamente do milho e arroz como os principais cereais consumidos, segundo relatórios do CEIC (2016), para os três últimos anos (2013-2015) andaram em torno de 382.556,86 toneladas/ano (2013) 474.749,78 toneladas/ano (2014) e 250.594,91 toneladas/ano (2015) para o arroz e 22.938,12 toneladas/ano (2013) 40.771,10 toneladas/ano (2014) e 21.997,45 toneladas/ano (2015) para o milho respetivamente.

Referente à produção, dizer que antes da independência Angola foi um país autossuficiente em quase todos os principais cultivos. O setor agrícola angolano satisfazia a maior parte das necessidades alimentares do mercado nacional, chegando a ser um dos maiores exportadores mundiais de café e outras commodities do ramo (HENRIQUE et al., 2010). Após a independência (1975), começou a diminuição acentuada e vertiginosa da produção de bens alimentares (HENRIQUE et al., 2010). Esta diminuição foi influenciada pela guerra civil e pelas graves deficiências na transformação da estrutura agrária capitalista colonial. Hoje a agricultura é caracterizada por produções de valores muito baixos, sendo predominantemente de subsistência (Figura 8).

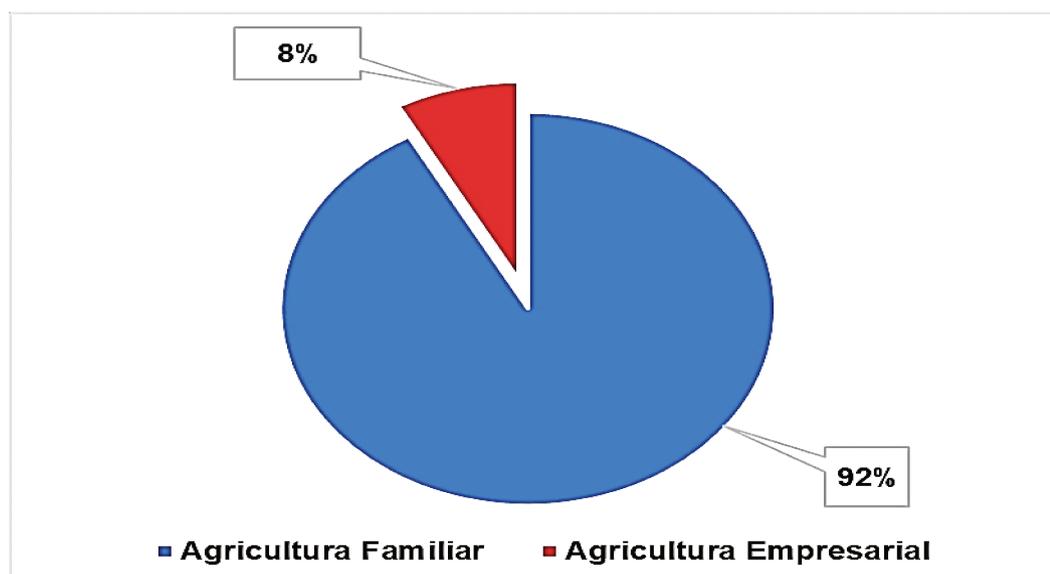


FIGURA 8 - ÁREAS SEMEADAS EM ANGOLA REFERENTE AOS SETORES FAMILIAR E EMPRESARIAL.

FONTE: CEIC (2016)

Os agricultores empresariais e familiares angolanos, estimados em dois milhões e 500 mil, produziram na campanha agrícola 2006/2007 cerca de 1.037.000 toneladas de milho, contra as 800.000 toneladas do produto colhidas na safra de 2005/2006 (ANGOP, 2010; HENRIQUE et al., 2010).

Ainda de acordo com HENRIQUE et al. (2010), e segundo os relatórios da FAO (2006) e do MINADER (2005), a província do Huambo é a que aparece com produtividade unitária mais alta, sendo ela estimada em 0,70 toneladas/hectare para a época 2004/05. Para o ano 2007/08, indicava a produção de milho, nesta província, de 0,98 tonelada/hectare.

Portanto, na apresentação dos relatórios, para a época 2012/2013, foram semeados na campanha agrícola a nível nacional 1.942.772 hectares dos quais se obteve uma produção de 1.548.750 toneladas de grãos. As EAF (Explorações Agrícolas Familiares) produziram 1.223.636 toneladas com uma produtividade média de 0,833 tonelada/hectare enquanto as EAE (Explorações Agrícolas Empresariais) registaram uma produção de 325.114 toneladas, donde se obtém uma produtividade média de 1,78 toneladas/hectare. Na época 2013-2014 teve uma produtividade

avaliada em 0,9 kg/há para as famílias agrícolas e 2,37 toneladas/hectares para a agricultura familiar (GEPE-MINAGRI, 2016).

A figura 9 ilustra um mapa representativo da disponibilidade de cereais para alimentação nas províncias como resultado da produção da campanha agrícola 2014/2015 (Kg/per Capita).

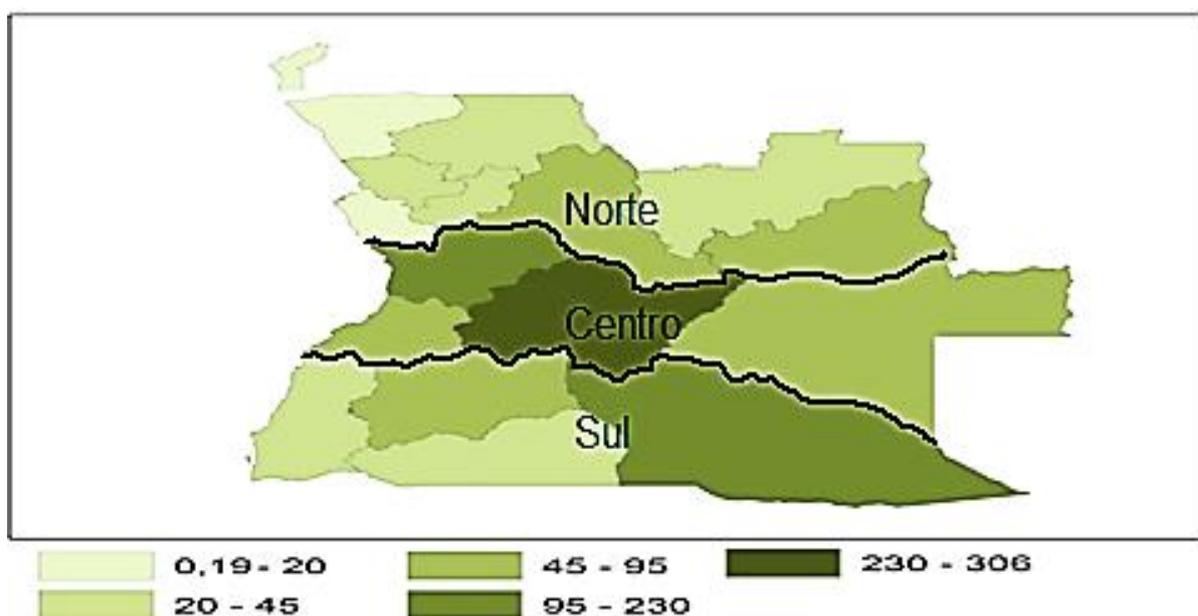


FIGURA 9 – DISPONIBILIDADE PER CAPITA DE CEREAIS POR PROVÍNCIA.

FONTE: GEPE-MINAGRI (2016)

Como é possível observar nas tabelas apresentadas, para o período analisado repartido em 2 subperíodos, quanto à produtividade da cultura do milho, o Planalto Central é constatado como mais predominante. Se considerarmos que 92% é o valor representativo da área cultivada com tecnologia extremamente rudimentar (familiar), sendo os outros desprezíveis 8% representarem a setor empresarial da agricultura nacional. Então é imprescindível um esforço para melhorar a tecnologia de modo a permitir uma maior produtividade do trabalho e da terra, e, conseqüentemente, um aumento da produção.

Portanto, muito ainda resta por fazer para atingir os níveis de produção necessários. Hoje apesar dos resultados de produção apresentados, ainda cerca de 70% do PIB angolano depende do setor industrial petrolífero e este se estima ser

responsável por 17% do total de empregos (AICEP-Portugal Global, 2013; CEIC, 2016).

Os valores para o setor primário são certamente baixos se consideradas as necessidades, por ser o setor prioritário para o desenvolvimento da economia angolana, e pelas potencialidades do país. A grande maioria da população angolana é de tradição camponesa: a agricultura é vista como instrumento central para a luta contra o desemprego, sobretudo nas áreas rurais mais pobres. O setor também é estratégico para a necessária e inadiável diversificação da economia angolana, dependente de modo excessivamente desequilibrado do setor petrolífero.

A meta prevista do governo de Angola, no Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) para produção de 3,5 milhões de toneladas de milho em 2017 ficou muito longe de ser alcançada, pois o total da produção de 2014 havia sido de 1,6 milhões de toneladas, em 2015 não ultrapassou os 1,8 milhões de toneladas (51% do previsto), das quais as explorações familiares foram responsáveis por 1,3 milhões (81%) (CEIC, 2016). Essa situação representa um insucesso notável da política agrícola nacional, sobretudo numa cultura, onde de longe se investiu mais do que em qualquer outra em termos de dinheiro público.

## 2.5.2. Perfil edafo-climático.

Angola é um país situado na região ocidental da África austral, no sul do equador. Seu território compreende as coordenadas 4° 22' e 18° 02' de latitude Sul e 11° 41' e 24° 05' de longitude Leste, com uma extensão territorial de 1.246.700 km<sup>2</sup> (23<sup>o</sup>), e uma dimensão de fronteira marítima de 1.650 km, e de fronteira terrestre de 4.837 km.

### 2.5.2.1. Clima de Angola

Para Ngolo (2014), a localização de Angola na zona de convergência intertropical (ZCI) faz com que o país seja influenciado por fenômenos climáticos comuns a essa região, tais como os ventos alísios, o efeito brisa na zona costeira, entre outros. Fatores climáticos como relevo, as correntes frias de Benguela e o deserto do Namibe, são outros componentes que influenciam no clima de Angola. De acordo com Schukin (2012) a ocorrência de chuvas na África é dependente

principalmente da movimentação da ZCI, sendo que essa se move para o Hemisfério Norte durante os meses de junho, julho e agosto, trazendo chuvas para Angola a partir do mês de setembro quando essa se encontra justamente sobre o território angolano (Figura 10).

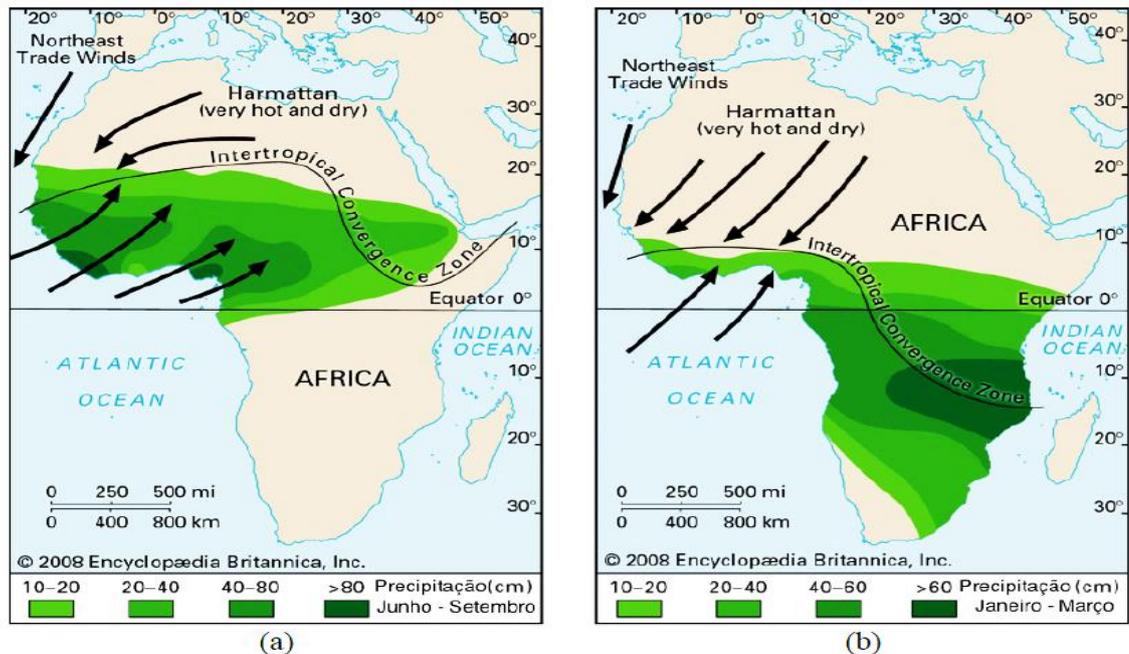


FIGURA 10 - POSICIONAMENTO SAZONAL DA CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL DE ÁFRICA. (A) INVERNO NO HEMISFÉRIO SUL (B) VERÃO NO HEMISFÉRIO SUL.

FONTE: NGOLO (2014) apud SCHUKIN (2012)

Segundo Ngolo (2014), em Angola predominam duas estações climáticas bem diferenciadas, a estação chuvosa e a seca, sendo esta última popularmente conhecida como estação do cacimbo. A estação chuvosa, que é mais úmida e quente vai de setembro a abril, enquanto a estação seca vai de maio a agosto conforme vistos na figura 11 (NGOLO, 2014; HENRIQUE et al., 2010). A precipitação média nacional atinge 1010 mm/ano. A região Norte a estação chuvosa vai de setembro a dezembro, a região centro de fevereiro a abril e a região sul ocorre de outubro a março (FAO-AQUASTAT, 2005).

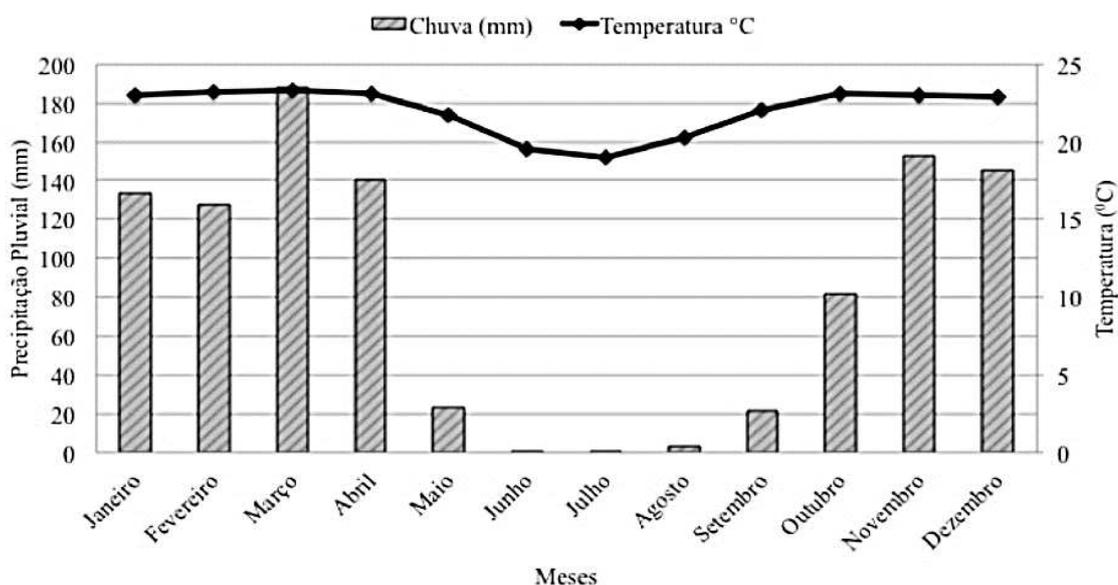


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA EM ANGOLA.  
 FONTE: NGOLO (2014) e HENRIQUE et al., (2010).

A nomenclatura e as definições dos regimes de umidade da FAO são apresentadas no quadro abaixo.

QUADRO 3 - REGIMES DE UMIDADES DOS DIAS DE CPC<sup>4</sup>, DETERMINADOS PELA FAO.

Comprimento do período de crescimento (dias)	Regime de Umidade
≤ 60	Árido
60 – 179	Semi-Árido Seco
120 – 179	Semi-Árido umido
180 – 269	Sub-umido
270 – 364	Umido
≥ 365 <sup>(a)</sup>	Hiper-umido

FONTE: FISCHER et al. (2012).

Assim, tendo em conta o regime do Quadro 1, a localização geográfica, a topografia e as influências das correntes marítimas de Angola, Ngolo (2014) e MINADER (2004) destacam a predominância em Angola de quatro tipos de clima descritos a seguir:

<sup>4</sup> Período de crescimento durante todo ano.

- a) Tropical úmido - domina principalmente o norte e nordeste do país e incluindo a província de Cabinda e a faixa litoral entre Benguela e Quelo. A região é caracterizada por precipitações anuais superiores a 1.200 mm, sendo que a maioria desta ocorre entre setembro e maio com valores máximos de chuva em torno de 300 mm em abril, e um curto período de estiagem entre junho a agosto. Nesse tipo climático a temperatura média anual do ar é superior a 22 °C.
- b) Tropical semiúmido - ocorre imediatamente no sul do clima tropical úmido, localizado na zona central sul e leste do país, aproximadamente entre as localidades de Quibala (província Kwanza Sul), Luena (província de Moxico), Lubango (província da Huíla), com chuvas anuais variando entre 750 e 1.250 mm. Esse tipo climático apresenta período muito seco entre junho a setembro, com médias térmicas anuais variando de 20 a 22 °C para o Leste e 18 a 20 °C na zona central, requerendo irrigação para a exploração agrícola.
- c) Tropical seco - ocorrendo ao longo do litoral, desde o norte do município de Quelo até ao centro do município do Lobito. As precipitações anuais variam entre 500 e 700 mm, com máxima mensal de 130 mm em abril e mínima em maio, sendo o período seco de maio a setembro. Esta zona é considerada semiárida e requer irrigação complementar para à exploração agrícola. A temperatura média anual varia entre 24 e 26 °C, diminuindo até 20 °C em direção a sul nas províncias de Cunene e Cuando-Cubango.
- d) Tropical desértico - ocorrendo na região litoral sudoeste do país entre o norte do município de Lobito e sul do município do Tômbua. Esta faixa é mais larga para sul e apresenta precipitação média anual inferior a 250 mm, com máxima de 100 mm no mês de março, à altura de Benguela, e um período seco entre maio a setembro. A temperatura média anual varia de 20 a 22 °C. O extremo sul é ainda mais seco com precipitações médias anuais inferiores a 100 mm entre janeiro a abril e longo período seco entre maio a dezembro. As temperaturas médias anuais variam entre 18 e 20 °C.

### 2.5.2.2. Relevo

No território de Angola predomina, de acordo com o Ministério do Urbanismo e Ambiente (MINUA, 2006), um relevo constituído por um maciço de terras altas, limitado por uma estreita faixa de terras baixas cuja altitude varia entre o nível do mar e 200 metros ao longo de toda a faixa costeira ocidental. Logo acima dos 200 metros de altitude em direção ao centro do continente, surge um relevo constituído por escadarias associadas aos planaltos e montanhas, aumentando gradualmente de altitude até atingir o planalto central, cujas altitudes médias variam entre 1.200 e 1.600 metros (NGOLO, 2014). O ponto mais alto do território de Angola, localiza-se na província do Huambo com altitude em torno de 2.620 metros (figura 12).

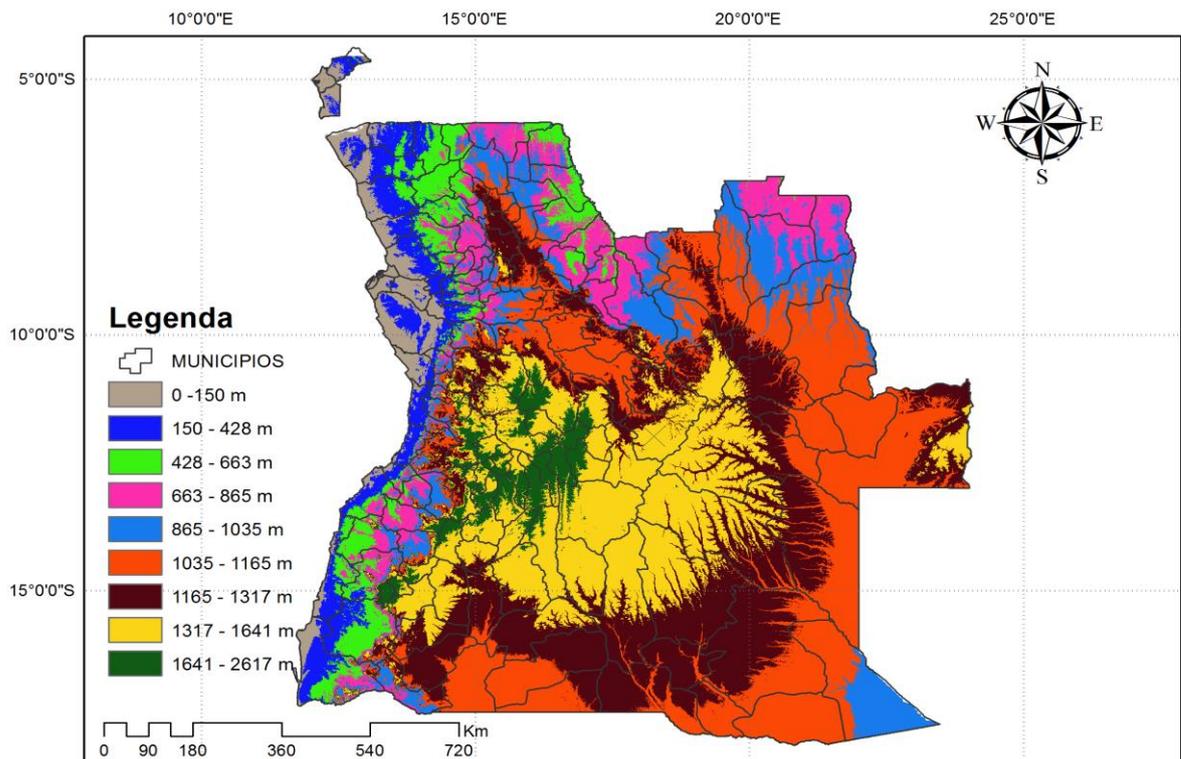


FIGURA 12 - MAPA DO RELEVO DE ANGOLA (ALTITUDE)

FONTE: SRTM (2017)

A caracterização da topografia de Angola também, constituída por escadarias, faz com que a maior parte dos cursos de água não seja navegável por curtos percursos ao longo do perfil longitudinal dos rios (Figura 13).

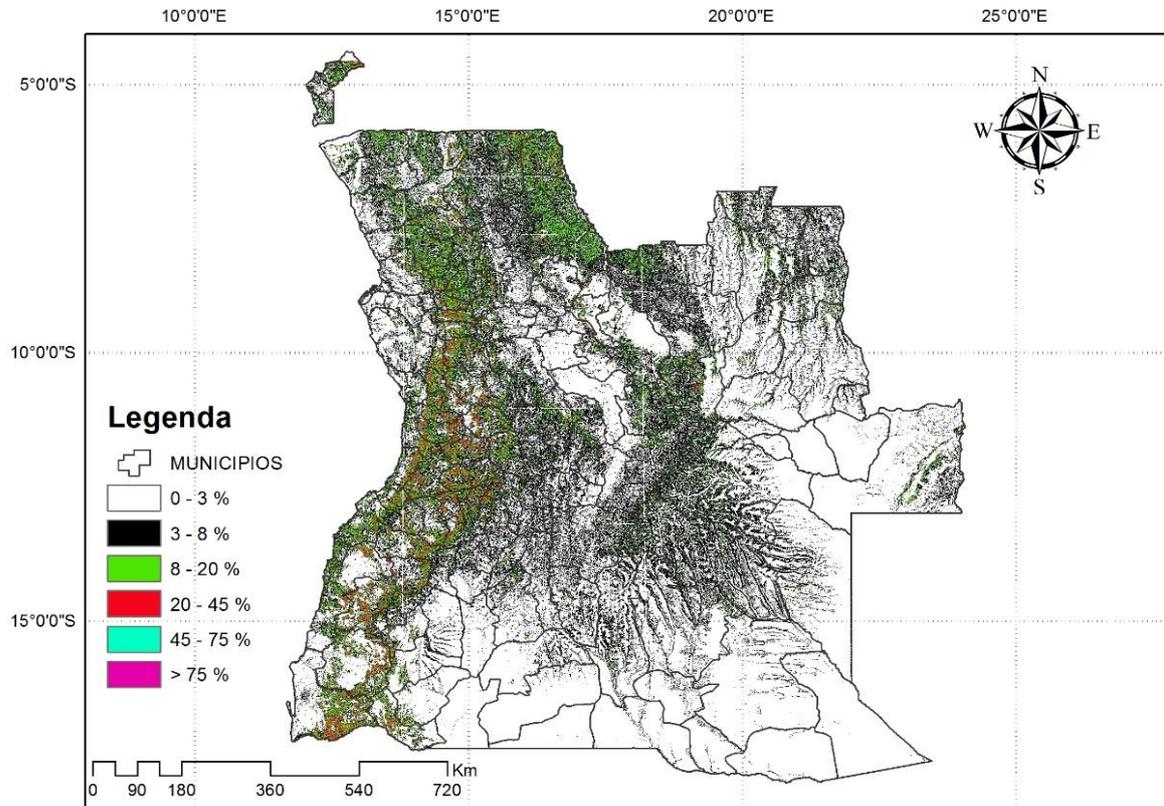


FIGURA 13 - MAPA DO RELEVO DE ANGOLA (DECLIVIDADE).

FONTE: SRTM (2017)

Em relação à altitude, observa-se na Figura 13, que seguindo em direção a parte central do continente, após a faixa litorânea, é possível identificar um grande desnível do terreno, formado por cadeias marginais de montanhas com altitudes variando entre 600 a 1.200 metros até alcançar o extenso planalto, que domina a região central do país e chegando no extremo Leste, na fronteira com a Zâmbia e a República Democrática do Congo. Nas províncias de Huíla e Huambo pode ser observado que é nelas onde se localizam as áreas de maior altitude do país, onde exatamente está situado o ponto mais alto de Angola.

### 2.5.2.3. Solos

Em Angola, dentro de sua ampla superfície, existe vasta diversidade de classes de solos. Os trabalhos de âmbito agrícola desenvolvidos no território angolano, geralmente obedecem à taxonomia de solos segundo a classificação da Organização das nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) de acordo com *World Reference Base for Soil Resources* (WRB, 2006).

Há diversos tipos de solos em Angola na sua maioria altamente intemperados, sendo que os solos mais utilizados são os Ferrassolos, os quais apresentam baixo pH com altos conteúdos de sesquióxidos de ferro e alumínio, boa drenagem e baixos conteúdos de nutrientes, porém têm propriedades físicas favoráveis para o cultivo e respondem bem aos fertilizantes. Estes solos predominam nas regiões do oeste do país, desde o norte de Cabinda, em direção a Lubango, e de Cassinga a Menongue (MINADER, 2004).

Pode-se observar (Figura 14), que toda a parte Leste do país, representando quase metade do território angolano, é dominada por solos do tipo arenosos (Arenossolos), que apresentam certa limitação agrícola devido às características gerais típicas desse grupo de solos. A característica principal que os Arenossolos possuem, é de terem em comum textura arenosa, respondendo geralmente por sua alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes.

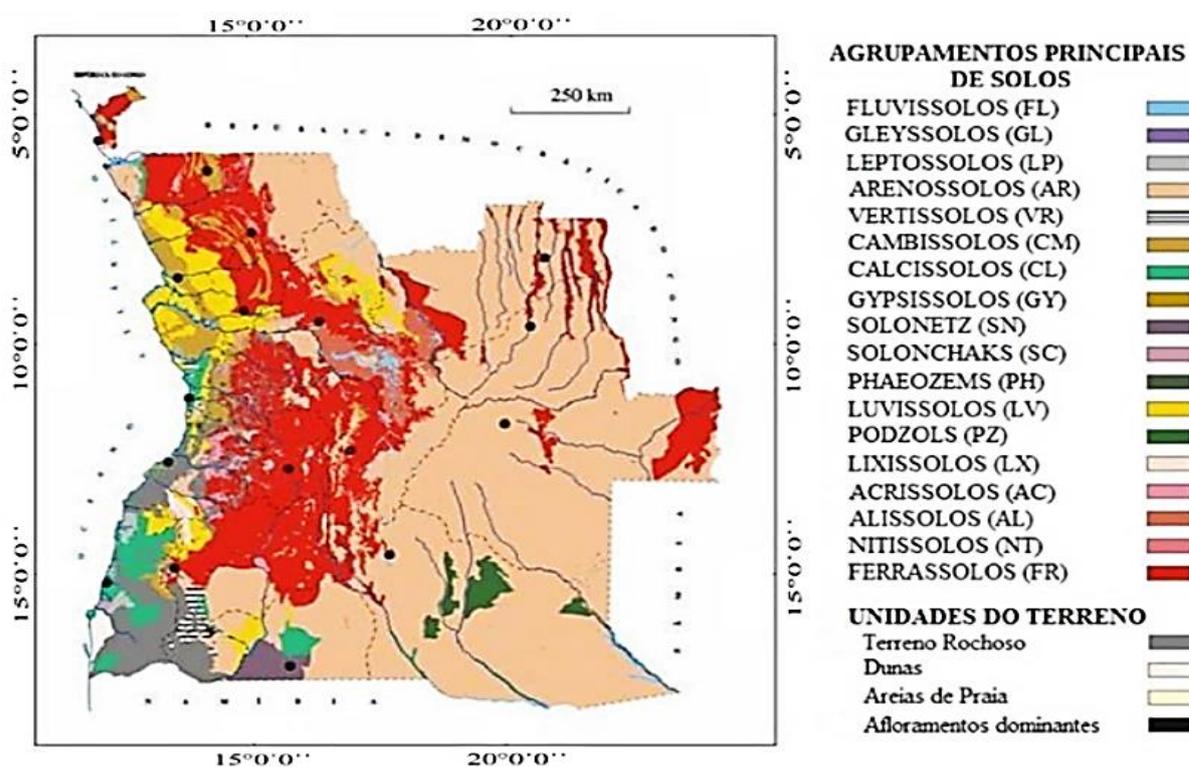


FIGURA 14 - PRINCIPAIS CLASSES DE SOLOS DE ANGOLA.

FONTE: SERTOLI (2009) e HWSO (2017).

As regiões planálticas e subplanálticas do centro e norte de Angola são dominadas pelos Ferrassolos cujo seu condicionamento agrícola é ditado principalmente pela baixa fertilidade natural. Esses solos apresentam boas propriedades físicas como grandes profundidades, boa permeabilidade e microestrutura estável tornando-os menos suscetíveis à erosão do que a maioria dos outros solos tropicais intensamente intemperados.

De acordo com Sertoli (2009), o grupo dos ferrassolos englobam os solos tipoferrálicos, solos fracamente ferrálicos, solos psamoferrálicos franco arenosos, solos tipoparaferálicos e solos eutroparaferálicos. Os arenossolos englobam os psamorregossolos, solos oxipsâmicos e solos psamoferrálicos arenoso-francos. Além dos grupos anteriormente citados, os solos fersialícos são os que não se enquadram em nenhum dos dois, se enquadrando no grupo de referência dos Cambissolos (Cambisols).

Os arenossolos compreendem os solos com textura arenosa, incluindo os solos desenvolvidos nas áreas residuais após intemperismo de sedimentos *in situ* ou

de rochas geralmente ricas em quartzo, e solos desenvolvidos nas areias depositadas recentemente, como dunas em desertos e areias de praia (WRB, 2006). De acordo com Sertoli (2009), em associação ao clima, esses solos ocorrem desde os climas áridos a úmidos e de muito frio a muito quente, sendo que em Angola, os Arenossolos ocupam uma área que corresponde a cerca de 50% do território nacional.

O resumo dos tipos de solos que predominam no território angolano, com a classificação local e sua equivalência para a classificação da FAO encontra-se apresentado abaixo.

QUADRO 4 – VALORES DE ÁREA DOS PRINCIPAIS SOLOS DE ANGOLA.

CLASSES DE SOLOS	Km <sup>2</sup>	PORCENTAGEM (%)
Arenossolos	3.732	0,30
Fluvisolos	9.635	0,77
Leptosolos	64.474	5,17
Arenosolos	718.459	57,63
Calsisolos/Cambisolos	9.008	0,72
Vertisolos	11.176	0,90
Calsisolos/Gipsisolos	60.095	4,82
Luvisolos Calcicos	5.916	0,47
Alisolos	706	0,06
Lixisolos	40.283	3,23
Nitrosolos/Cambisolos	46.875	3,76
Ferrasolos	271.108	21,75
Geisolos	3.084	0,25
Arenossolos	2.150	0,17
<b>TOTAIS</b>	<b>1.246.700</b>	<b>100</b>

FONTE: CASTANHEIRA DINIZ (1990); NGOLO (2014)

Pode-se ver no Quadro 4 que os Arenosolos dominam o quadro dos principais tipos de solos em Angola, representando uma área total de 718.459 Km<sup>2</sup> (57,63 %), seguido pelos Ferrasolos com área de 271.108 Km<sup>2</sup> (21,75 %), e sendo os restantes poucos representativos pelos valores das suas áreas.

### 3. METODOLOGIA DE PESQUISA

#### 3.1. MÉTODOS DE PESQUISA

Neste trabalho o problema é abordado de forma quantitativa, em uma abordagem axiomática normativa, com ênfase em funções de regressão empírica e esquemas de classificação hipotéticas, nas relações entre os rendimentos das culturas e os atributos selecionados da terra, pressupondo sustentabilidade agrícola na redução das potenciais tendências de intensificação agrícola (VAN WART et al., 2013a; YANG et al., 2004; FISCHER et al., 2012).

Portanto, a partir do desenvolvimento de uma modelagem de estimativas empíricas para analisar as relações de dependência entre os valores de variáveis respostas de interesse (sujeitas), foram estimadas e previstas um conjunto de variáveis (independentes, auxiliares ou preditoras) e geraram como resultado um modelo (CAUCHICK et al., 2012, FISCHER et al., 2012).

As relações entre as variáveis foram descritas como causais, ou seja, reconhecidas de forma explícita, pois a mudança de valores nas variáveis preditoras ( $\mathbf{x}$ ) levaram a mudanças de valores em outras variáveis sujeitas ( $\mathbf{y} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$ ). No entanto, segundo Cauchick et al. (2012) uma consequência importante das relações causais e quantitativas é que ao invés de apenas explicarem o que é observado, também são usadas para prever o estado futuro dos processos modelados e gerando resultados ambíguos e verificáveis.

Portanto, os processos subsequentes que envolveram a modelagem estão descritos a seguir.

#### 3.2. MODELAGEM

A modelagem avaliou para o desenvolvimento da cultura de milho os atributos de clima e solo de 164 regiões (que representam todos os municípios de Angola) e como estes se comportam ao longo dos períodos, a partir do momento que iniciam o plantio. Este modelo é uma combinação de duas abordagens: Um modelo matemático-fisiológico (GAEZ – FAO) (FISCHER et al., 2012; ALLEN et al., 1998), e um sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras e/ou solo (ZAE) (RAMALHO

FILHO & BEEK, 1995; ASSAD et al., 2004; PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004; NEAMATOLLAHI et al. 2012).

Essa é uma abordagem que integra exigências da planta específica e características do meio envolvente, uma vez que a produtividade da terra depende do clima, da topografia e da disponibilidade de água. Estas constituem as categorias importantes de informação ambientais necessárias para avaliar a adequação da terra para a produção de culturas.

O modelo envolveu três (3) etapas principais:

**Etapa 1.** Levantamento de Bases de Dados que forneçam parâmetros com maior grau de viabilidade e consistência.

**Etapa 2.** Determinação das variáveis que definem os requisitos para o milho crescer e se desenvolver.

Nessa etapa se determinou nomeadamente:

- a) Estimativa I - Condições Topográficas;
- b) Estimativa II - Condições Térmicas e de Radiação;
- c) Estimativa III - Condições Hídricas.

**Etapa 3.** Elaboração do Zoneamento propriamente dito, onde mediante o cruzamento de dados das variáveis determinadas, se elaborou as delimitações que resultaram no zoneamento de milho em Angola.

O modelo derivado deste zoneamento de milho para Angola está denominado por motivo de abreviação de ZAA-Milho, que significa Zoneamento Agro edáfico de Angola para plantio de Milho.

Para melhor ilustração, os processos que envolveram o desenvolvimento do modelo, são apresentados na Figura 15.

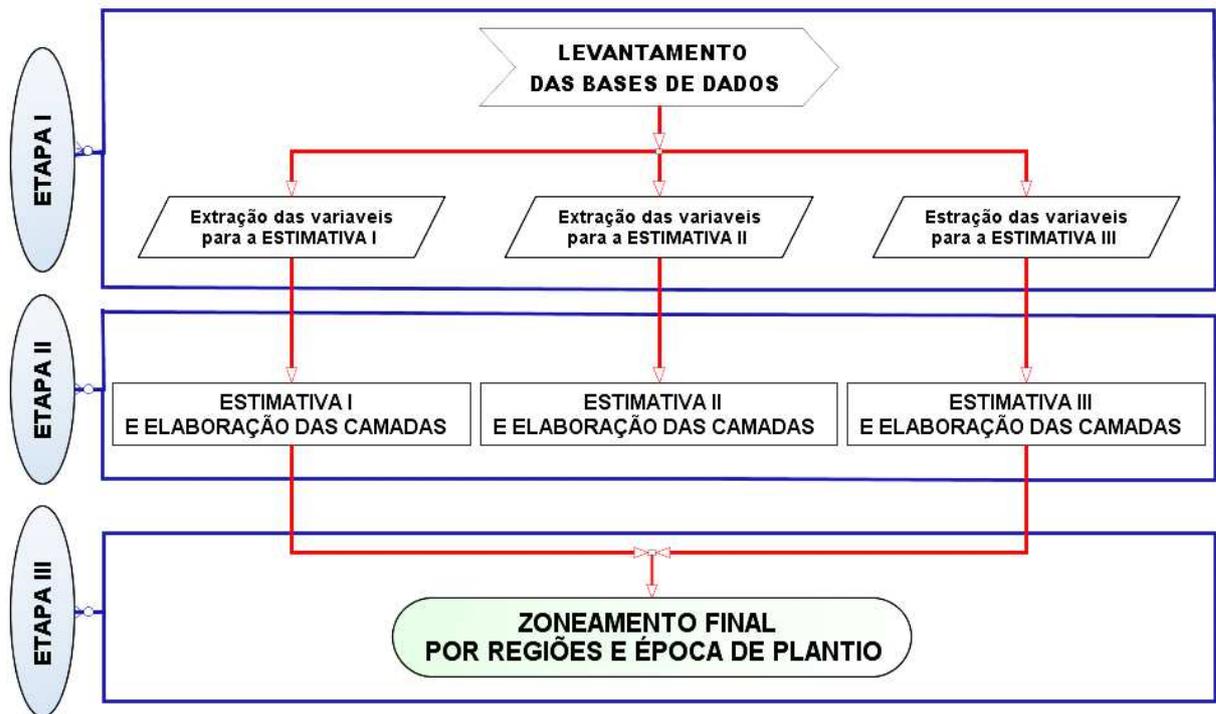


FIGURA 15 - ESTRUTURA GERAL DO ZAA-MILHO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Os passos representados na Figura 15 são explicados, mas detalhadamente no desenvolvimento da modelagem presente no capítulo subsequente.

## 4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.

Nesta secção são apresentados o desenvolvimento, os resultados e discussão do trabalho. Decidiu-se abordar os três aspectos separados, sendo primeiro apresentado todo o desenvolvimento da modelagem, que levou aos resultados e posteriormente a devida discussão.

### 4.1. DESENVOLVIMENTO DA MODELAGEM

#### 4.1.1. **Etapa I** - Bases para coleta, manipulação e geração de dados.

O tempo pode ser definido como o estado da atmosfera em determinado instante e lugar, e o clima definido como um tempo médio, ou seja, um conjunto de condições normais que dominam uma região observada durante certo intervalo de tempo (CASALI et al., 2008). A previsão das condições climáticas futuras ainda é relativamente incerta e seu impacto é difícil de controlar ou inverter quando as condições ocorrem fora dos limites habituais.

No contexto da variabilidade ou mudança climática, é importante que a informação climática usada para planejar sistemas agrícolas seja de caráter conciso, que expressem o estado atmosférico real (SALINGER et al., 2000; DE LA CASA & OVANDO, 2014).

Pela diversidade de locais a estudar e das técnicas utilizadas nesses trabalhos, existem ainda regiões de grande importância agrícola e económica que carecem de informações climatológicas.

A ausência ou diminuição da qualidade das informações da pesquisa, diminuem a sua precisão ou introduzem viés significativo em previsões, por isso os zoneamentos agrícolas são feitos apoiando-se fortemente em dados globais e georreferenciados do clima, do solo e do terreno, disponíveis e combinados em bancos de dados e pacotes de softwares, que são gerados a partir de interpolações (BATTAGLIA et al., 2002; FISCHER et al., 2012; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO FILHO et al., 2010). Segundo Mani & Ferreira (2003) e Fischer et al. (2012) o ajuste de séries históricas de dados em função da longitude, latitude, por meio de regressão e interpolações possibilitam a estimativa de variáveis climáticas mínimas,

médias e máximas para os períodos decendiais, mensais e anuais, com aceitável grau de precisão.

Neste trabalho, os dados extraídos incluíam dois grupos: [1] os dados do meio ambiente envolvente à cultura (clima e solo), e [2] os dados fenológicos da cultura de milho (requisitos da cultura específica).

A avaliação dos requisitos do milho foi realizada com base no conhecimento das necessidades da cultura, levantadas através da revisão da literatura nas bases científicas internacionais. Realçando que relativamente à Angola e como confirma CEIC (2016) existe grande dificuldade em encontrar dados, pela debilidade estatística e pela questão da literatura que quase não existe.

Os dados climáticos, nomeadamente os de temperaturas (média, máxima e mínima), precipitação e radiação solar; e os dados de solo, que incluíram a textura (teores de argila, silte e areia), a profundidade de enraizamento do solo e topografia (altitude e declividade), foram extraídos de um conjunto de bases de dados climatológicos e de solos internacionais e que foram selecionadas a partir de um determinado critério.

Portanto, o critério de seleção das bases de dados utilizadas neste trabalho fundamentou-se nas opiniões e sugestões de técnicos e especialistas da área. Foram efetuadas visitas em duas entidades subordinadas a Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI-UNICAMP) e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). Segundo o Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO – FEAGRI, 2017) e o Laboratório de Engenharia de Biosistemas (LEB – ESALQ, 2017), as bases por categoria que apresentam maior consistência dos seus dados são: ECMWF (Centro Europeu de Previsões Meteorológicas de Médio-Alcance), SRTM (Missão de Topografia de Radar do *Shuttle*), HWSD (Base de Dados Mundial Harmonizada de Solos).

Do ECMWF, a partir do recorte de uma área de retangular de 114 pontos *rasters* que representavam as 114 estações meteorológicas distribuídas no território de Angola foram extraídos os parâmetros regionais climáticos em períodos decendiais que incluíram temperaturas (média, máxima e mínima), precipitação e radiação solar.

Esses parâmetros decendias com uma série histórica de 31 anos (1974-2005) na abrangência de 0,40 graus.

Da SRTM, foram obtidos a partir do modelo de elevação digital (DEM) os valores da declividade (expressa em porcentagem) e da altitude (expressas em metros), utilizando-se uma resolução de arco de 3 segundos em coordenadas geográficas *World Geodetic System* (GCS-WGS 1984) de aproximadamente 90 metros/pixel cobrindo mais de 100% do território de Angola.

Da HWSD (que é resultado de uma colaboração entre o Fundo das Nações Unidas para Alimentação (FAO), do Instituto Internacional de Análise de Sistemas Aplicados (IIASA), da Informação Geral Sobre Solos (ISRIC), do Instituto de Ciência do solo da Academia Chinesa de Ciências (ISSCAS) e o Centro Comum de Pesquisa da Comissão Europeia (CCI)) e da literatura sobre os solos de Angola foram extraídos a partir dos mesmos 114 pontos *shape*, os dados dos teores de argila, silte, areia e da profundidade de enraizamento. Esses dados das unidades de mapeamento em quadros de 30 segundos de arco, combinam atualizações regionais e nacionais de informações do solo de todo território angolano.

Os parâmetros de entrada extraídos das bases de dados e o momento em que eles foram requeridos estão apresentados na figura 16.

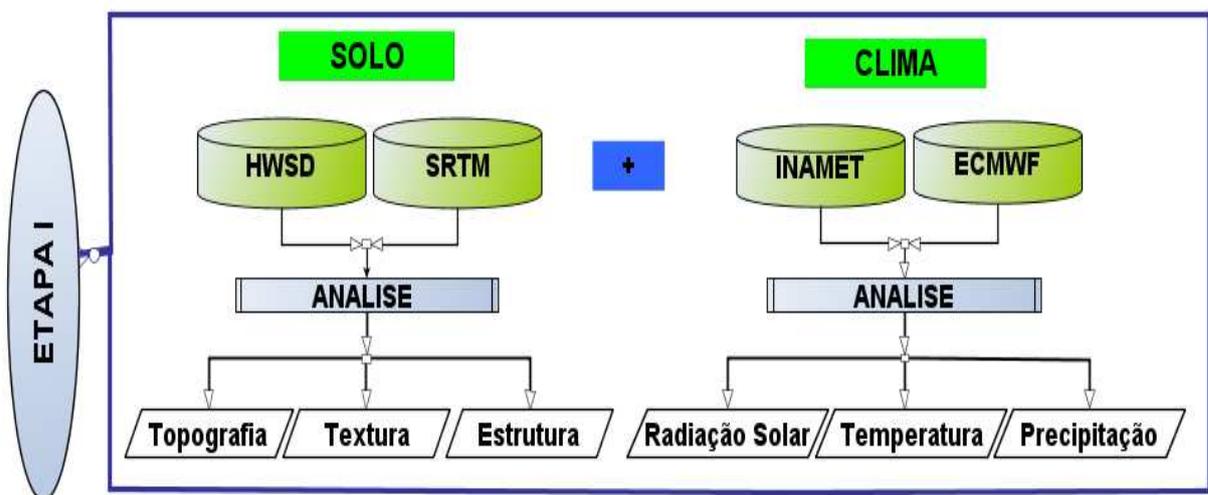


FIGURA 16 – DESENVOLVIMENTO DA ETAPA I

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Após manipulação e disponibilização de todos os parâmetros regionais, eles foram convertidos em arquivos de formato EXCEL, para permitir a utilização dos softwares MatLAB 2016b e ArcGIS 10.5. Estes dois softwares foram usados para determinar todas as variáveis de estimativas e para espacialização das camadas de mapas respectivamente.

Realçar que a utilização do MatLAB (MATrix LABoratory) justifica-se por se tratar de um software interativo de alto desempenho voltado para o cálculo numérico, integrando análise numérica e cálculo com matrizes. Ele representou uma ferramenta essencial pelo extenso conjunto de dados que se processou. E o EXCELL pela maior facilidade de conversação com as mais variadas linguagens de softwares inclusive sistemas SIG, servindo de ponte entre o MatLAB e o ArcGIS.

Portanto, todo o processo de determinação das estimativas está apresentado na secção a seguir.

#### 4.1.2. **Etapa II** - Determinação das estimativas para ZAA-Milho.

Onde e que momento as variáveis foram requeridas está ilustrado na Figura 17.

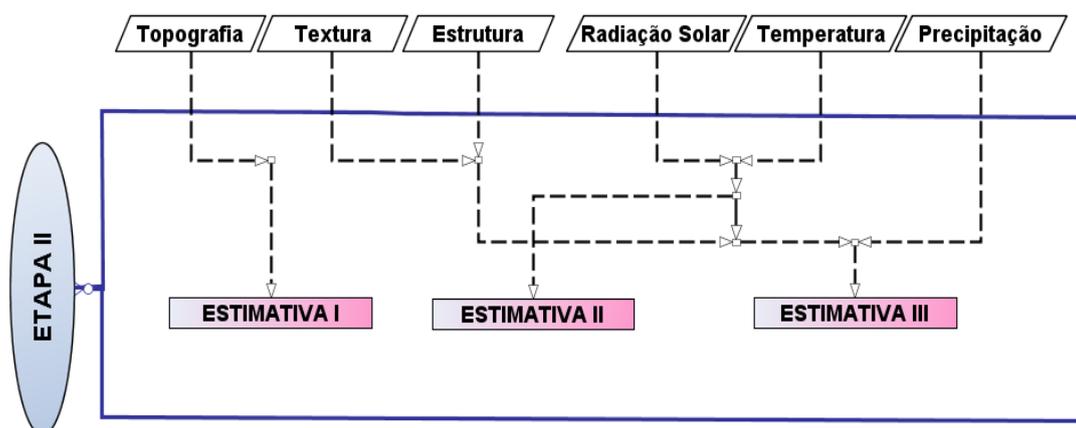


FIGURA 17 – DESENVOLVIMENTO DA ETAPA II

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

A figura 17 foi resumida na tabela 1.

TABELA 1 – REQUISIÇÃO DE DADOS PARA A ETAPA II

Dados de entrada		Estimativa I	Estimativa II	Estimativa III
Dados Climáticos	Precipitação			X
	Temperatura		X	X
	Radiação Solar		X	X
Dados Edáficos	Textura (Argila, Silte e Areia)			X
	Estrutura (Fases do solo)			X
	Topografia (Altitude e declive)	X		

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Verifica-se na Tabela 1, que a estimativa III que calcula a disponibilidade hídrica é a que mais requisitou dados de entrada, porque é ela que determina a maior ou menor produtividade das plantas, pelo processo de transpiração. A seguir vem a estimativa II que calcula a variação térmica diária e noturna, pelo processo de metabolismo e fotossíntese. Por último a estimativa I que apenas necessita dados da declividade e altitude para efeito de trabalhabilidade.

#### 4.1.2.1. Estimativa I: Condições Topográficas (Altitude e Declividade).

Os atributos abióticos, que devem ser identificados e usados como critério de seleção: radiação solar, temperatura, umidade, vegetação e nutrientes são dependentes do relevo do terreno, nomeadamente altitude e declividade (CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003). Por esse motivo as condições de terreno foram analisadas sob dois (2) critérios (NEAMATOLLAHI et al. 2012; RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; PEREIRA & LOMBARDI NETO, 2004; RAMALHO FILHO et al., 2010):

- O valor da altitude para a suscetibilidade da variação térmica e radiativa.
- O valor da declividade para suscetibilidade à erosão e trabalhabilidade.

A Declividade de um terreno descreve em linha a inclinação ou gradiente em grau ou em porcentagem. A inclinação pode ser definida como a razão do aumento dividido pela distância entre dois pontos em uma linha, ou seja, a proporção de altitude que muda para a distância horizontal entre dois pontos, então um valor de inclinação mais alto indica uma inclinação mais íngreme (NEAMATOLLAHI et al. 2012).

A elevação de uma localização geográfica é a altura acima de um ponto de referência fixo, que geralmente é o nível médio do mar. A elevação ou altura geométrica é usada principalmente quando se refere a pontos na superfície da Terra, como uma aeronave em voo ou uma nave espacial em órbita. Um mapa topográfico é o principal tipo de mapa usado para descrever a elevação, muitas vezes através do uso de linhas de contorno (NEAMATOLLAHI et al. 2012.).

Para avaliação da adequação da altitude e declividade foi adotada a metodologia do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras - ZAE (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; RAMALHO et al., 2010; PEREIRA & LOMBARDI NETO, 2004), a partir de incorporação de parâmetros (fator de limitação) e estabelecimento de tabelas de critérios para estes dois atributos considerados na avaliação. Com esta metodologia tem-se uma melhor adequação do método à escala de mapeamento, maior aprimoramento e atualização, ampliação do caráter quantitativo da avaliação e redução do grau de subjetividade do método.

As exigências da declividade e altitude para a cultura de milho estão organizadas segundo cinco graus de limitação: Nula, Ligeira, Moderada, Forte e Muito Forte. Com base nessas limitações, foram consideradas e estabelecidas três classes de aptidão agrícola: APTA, RESTRITA e INAPTA como vistos na tabela abaixo.

QUADRO 5 - GRAUS DE ADEQUAÇÃO DEVIDO AS CONDIÇÕES DE RELEVO DO TERRENO.

Declive (%)	Nulo	Ligeiro	Moderado	Forte	Muito Forte
	0-3	3-8	8-13	13-20	> 20
Aptidão no ZAA-Milho	Aptas 0-8		Restritas 8-20		Inaptas > 20
Altitude (m)	Adequado > 1200		Médio 1200-700		Não adequado < 700
Aptidão no ZAA-Milho	Aptas > 1200		Restritas 1200-700		Inaptas < 700

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Portanto, esses critérios de adequação apresentados no Quadro 5 serviram para produzir no ArcGIS as camadas dos aspectos do terreno mediante os modelos de elevação digital para todo território de Angola, como vistos na figura 18A) e 18B).

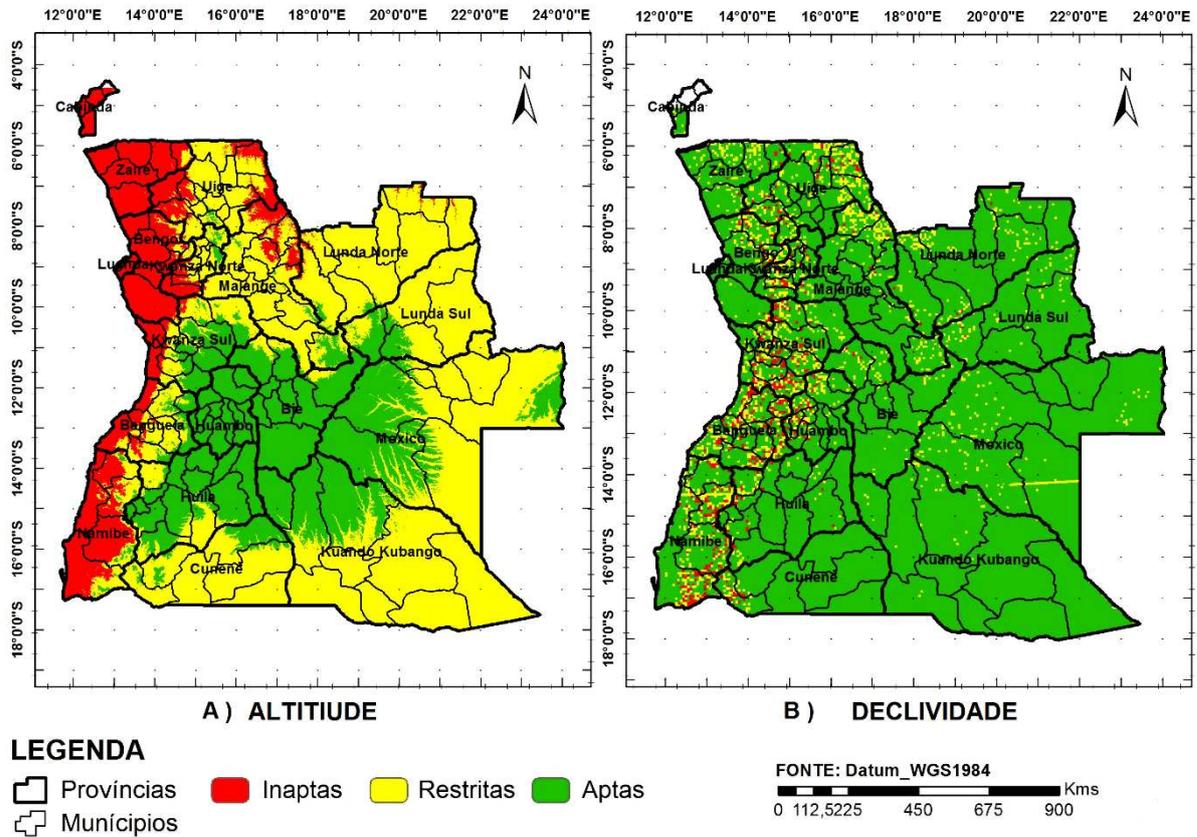


FIGURA 18 – APTIDÃO DO TERRENO PARA A ALTITUDE E DECLIVIDADE.  
FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Pode-se observar na figura 18A com base nas classes de adequação que a faixa costeira atlântica apresenta quase na sua totalidade elevações do terreno que vão desde -3 (no nível do mar) até 200 metros de altitude. Seguindo-se em direção à parte central do continente, após a faixa litorânea, até alcançar o extenso planalto que domina a região central do país e contornando este em direção ao extremo Leste até a fronteira com a República Democrática do Congo, a República da Zâmbia e da Namíbia é possível identificar uma elevação do terreno, formado por cadeias de montanhas com altitudes variando entre 200 a 700 metros.

Na região central do país que abrange a totalidade das províncias do Huambo, Bié e Huíla (e os seus 11, 9 e 14 municípios respectivamente) e mais parte de algumas províncias, nomeadamente a região Central e Sudeste do Kwanza-Sul, o noroeste do Cuando-Cubango, todo o Centro-oeste do Moxico, e outras pequenas partes das províncias de Malange e Lunda-Sul, pode ser observado que é nelas onde

se localizam as áreas de maior altitude do país, estando todas elas acima de 1200 metros do nível do mar.

Na figura 18B, a caracterização da topografia de Angola é constituída por escadarias, apresentando-se declividades que vão desde 0 até acima de 20 %. Nas regiões planálticas centrais, no extremo Sul e Leste perto das fronteiras com a Namíbia, Zâmbia e República Democrática do Congo encontram-se inclinações do terreno abaixo dos 8 %. A medida que se afasta da faixa litorânea até as regiões Centro e Norte, a inclinação do terreno vai se acentuando, sendo altamente íngreme e atingindo declividades acima de 20 %.

#### 4.1.2.2. Estimativa II: Condições Térmicas e de Insolação.

A temperatura é um determinante principal do crescimento e desenvolvimento da cultura. Os dados de temperatura foram correlacionados com os dados de insolação, pois estão fortemente relacionados e a planta é fortemente exigente por esses dois fatores. Fischer et al. (2012) e Durães (2007) afirmam que as variações térmicas noturnas e diurnas resultam em influências diretas no desenvolvimento do milho. Resultados experimentais e observações empíricas em áreas de produção mostram que altas temperaturas noturnas reduzem o rendimento de grãos, pois o período de enchimento de grãos é reduzido, provocando precoce senescência e maturidade.

Os requisitos específicos da cultura são então combinados individualmente com os regimes de temperatura que prevalecem nas regiões individuais e a partir daí determinados os intervalos de adequação para a variação térmica diurna e noturna. Para a radiação solar, a sua eficiência de conversão máxima é afetada pelas temperaturas diurnas e noturnas reinantes no período, bem como pelas suas amplitudes resultantes. As temperaturas diurnas relativamente elevadas possibilitam altas taxas fotossintéticas, ao passo que temperaturas noturnas amenas contribuem para o prolongamento do período de crescimento, assegurando à cultura maior número de dias para o aproveitamento efetivo da radiação incidente.

Mediante a construção de funções de códigos de repetição para as 164 regiões simuladas e para os 36 decêndios anuais correspondentes, todas as estimativas de adequação por região e época de plantio foram calculadas utilizando-

se o software MatLAB 2016b. Os valores latitudinais, o número do dia no ano entre 1 (1 de janeiro) e 365-366 (31 de dezembro), a relação entre o perímetro da circunferência da terra e seu diâmetro foram usados para calcular a declinação da terra, essa que por sua vez serviu para calcular o ângulo da hora do pôr-do-sol e depois com a variação máxima e mínima da temperatura se estimar os valores da variação térmica noturna e diurna. Os processos que envolveram os cálculos das variações térmicas estão ilustrados na figura 19.

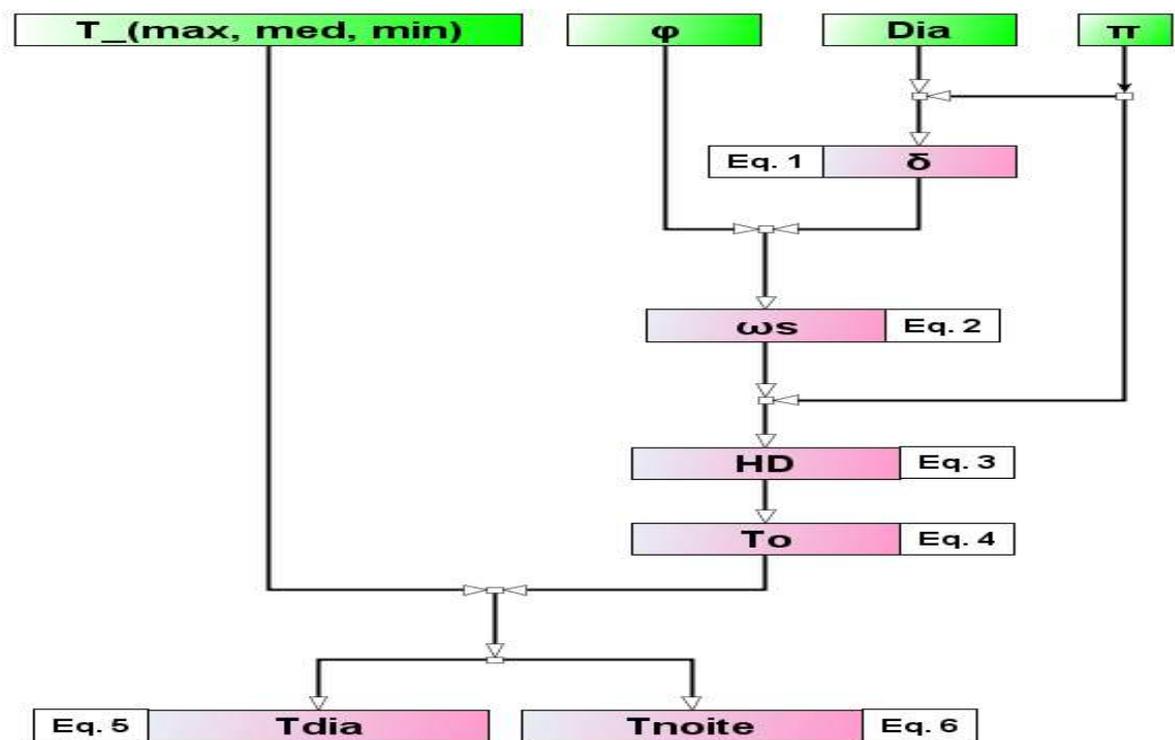


FIGURA 19 – ESTRUTURA DA ESTIMATIVA II.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Seguindo a Figura 19, a declinação solar ( $\delta$ ), o ângulo da hora do pôr do sol ( $\omega_s$ ), uma medida de comprimento do dia para todas as regiões (HD) foram calculadas (ALLEN et al., 1998):

$$\delta = 0.409 * \sin\left(\left(2 * \frac{\pi}{365}\right) * \text{Dia} - 1.39\right) \quad (1)$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) * \tan(\delta)]; \quad (2)$$

Tal que:

$$HD = \frac{24}{\pi} * \omega_s \quad (3)$$

E

$$T_o = 12 - 0,5 * HD \quad (4)$$

Onde:

$\delta$  – é a declinação solar da terra (rad),

Dia – o número do dia no ano entre 1 (1 de janeiro) e 365/366 (31 de dezembro)

$T_o$  – uma função calculada como comprimento do dia.

HD – uma média do comprimento dos dias nos períodos analisados (horas) e calculado como:

$\pi$  – relação entre o perímetro da circunferência da terra e seu diâmetro (rad.)

Prosseguindo, os valores de temperatura média decendiais diurnas ( $T_{dia}$ ) para cada um dos 164 municípios foram estimados em função da equação 5 (FISCHER et al., 2012):

$$T_{dia} = T_{med} + \left( \frac{T_{max} - T_{min}}{4 * \pi} \right) * \left( \frac{11 + T_o}{12 - T_o} \right) * \text{sen} \left( \pi * \left( \frac{11 - T_o}{11 + T_o} \right) \right) \quad (5)$$

Onde:

$T_{med}$  – é a temperatura média do ar (°C),

$T_{max}$  – é a temperatura máxima (°C)

$T_{min}$  – é a Temperatura mínima (°C).

Com os valores da variação térmica diurna e mediante as três classes de aptidão eles foram reclassificados. A reclassificação foi feita para os três limiares de

adequação térmicas padrão para períodos de crescimento como visto abaixo (CRUZ et al., 2011; LANDAU et al., 2010):

QUADRO 6 - CLASSES DE APTIDÃO PARA TEMPERATURAS DIURNAS.

Temperaturas Diurnas	Aptidão
$24^{\circ}\text{C} \leq T_{dia} \leq 30^{\circ}\text{C}$	APTAS ao desenvolvimento da cultura
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{dia} \leq 24^{\circ}\text{C}$	RESTRITAS ao desenvolvimento da cultura
$T_{dia} \leq 10^{\circ}\text{C} \text{ e } T_{dia} \geq 30^{\circ}\text{C}$	INAPTAS ao desenvolvimento da cultura

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Terminados os cálculos, os valores de  $T_{dia}$  foram novamente exportados do MatLAB para planilha EXCEL e apresentados no apêndice 1 (Tabela 1). Essas planilhas foram posteriormente importadas para o ArcGIS e reclassificadas para a elaboração das camadas de adequação, abrangendo toda área de estudo. Essa reclassificação resultou em 36 camadas, que depois de descarregadas foram corrigidas e recortadas. O resultado está representado na forma de mapas, que contêm três (3) classes: Aptas, Restritas e Inaptas, as quais foram atribuídas respectivamente as cores verde, laranja e vermelha como vistos nas Figuras 20A e 20B.

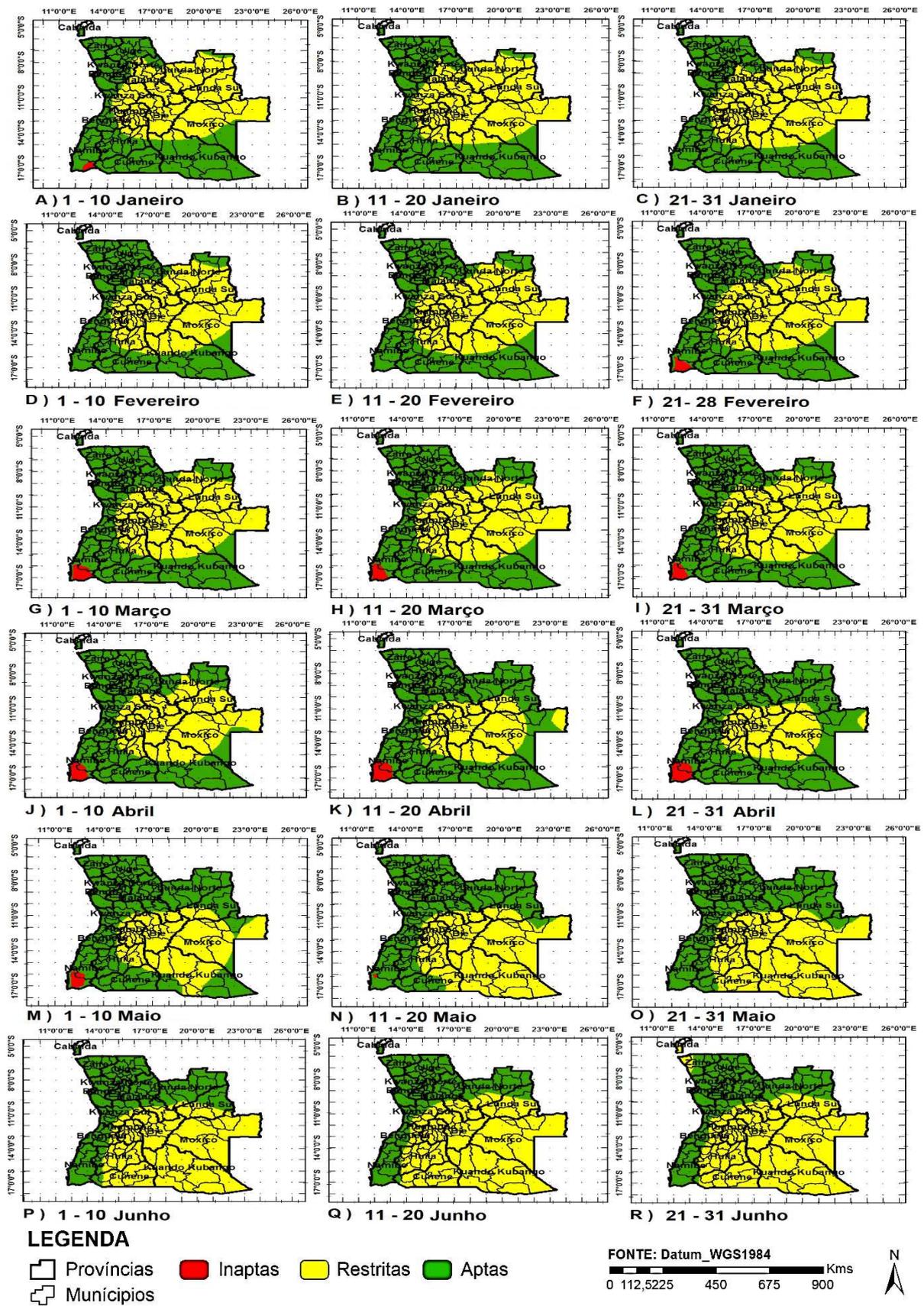
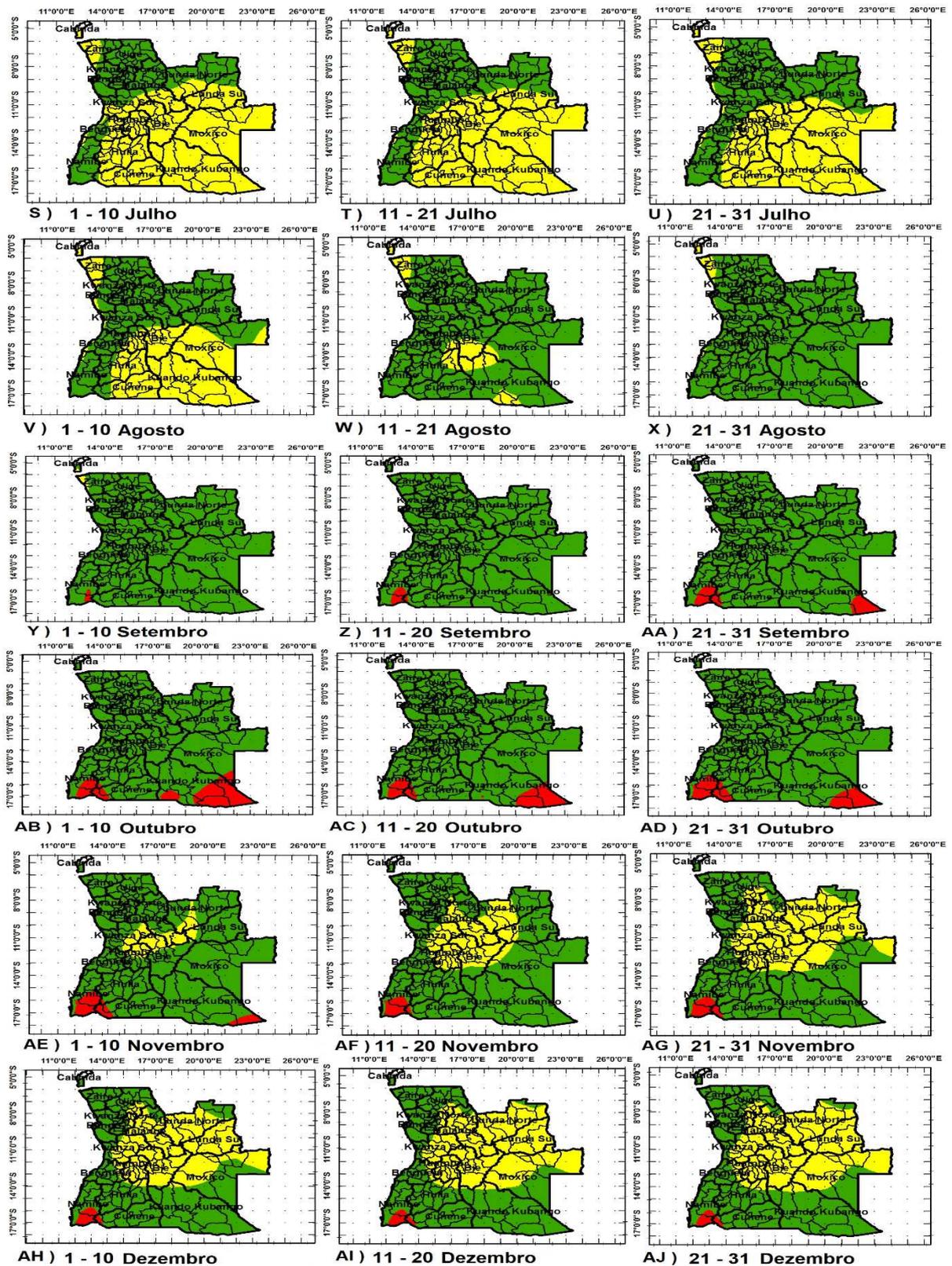


FIGURA 20 - CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS DIURNAS (TDIA)

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)



**LEGENDA**

- Províncias
- Inaptas
- Restritas
- Aptas
- Municípios

FORNTE: Datum\_WGS1984

0 112,5225 450 675 900 Kms



FIGURA 20B – CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS DIURNAS (TDIA)

FORNTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No entanto, usando os mesmos procedimentos das temperaturas diurnas ( $T_{\text{dia}}$ ) (Equação 5), os valores das temperaturas noturnas ( $T_{\text{noite}}$ ), para os 164 Municípios foram estimados em função da equação 6 (FISCHER et al., 2012):

NOITE:

$$T_{\text{noite}} = T_{\text{med}} - \left( \frac{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}{4 * \pi} \right) * \left( \frac{11 + T_0}{T_0} \right) * \text{sen} \left( \pi * \left( \frac{11 - T_0}{11 + T_0} \right) \right) \quad (6)$$

Onde:

$T_{\text{med}}$  – é a temperatura média do ar (°C),

$T_{\text{max}}$  – é a temperatura máxima (°C)

$T_{\text{min}}$  – é a Temperatura mínima (°C).

Os valores da variação térmica noturna reclassificados mediante as três classes de aptidão. A reclassificação para os três limiares de adequação padrão para os períodos de crescimento estão apresentados abaixo (CRUZ et al., 2011; LANDAU et al., 2010):

QUADRO 7 - CLASSES DE APTIDÃO PARA TEMPERATURAS NOTURNAS.

Temperaturas Noturnas	Aptidão
$16^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{noite}} \leq 19^{\circ}\text{C}$	APTAS ao desenvolvimento da cultura
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{noite}} \leq 16^{\circ}\text{C}$	RESTRITAS ao desenvolvimento da cultura
$T_{\text{noite}} \leq 10^{\circ}\text{C}$ e $T_{\text{noite}} \geq 19^{\circ}\text{C}$	INAPTAS ao desenvolvimento da cultura

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Seguindo os mesmos procedimentos de  $T_{\text{dia}}$ , os valores de  $T_{\text{noite}}$  foram exportados do MatLAB para planilhas EXCEL e apresentados no apêndice 1 (Tabela 2), que foram importados para o ArcGIS e reclassificados para gerar as camadas de adequação abrangendo toda área de estudo. Os valores de  $T_{\text{noite}}$  resultaram em 36 camadas que depois de corrigidas e recortadas foram descarregadas. O resultado está representado na forma de mapas, que contêm três (3) classes: Aptas, Restritas

e Inaptas, as quais foram atribuídas as cores verde, laranja e vermelha respectivamente e apresentadas nas figuras 21A e 21B.

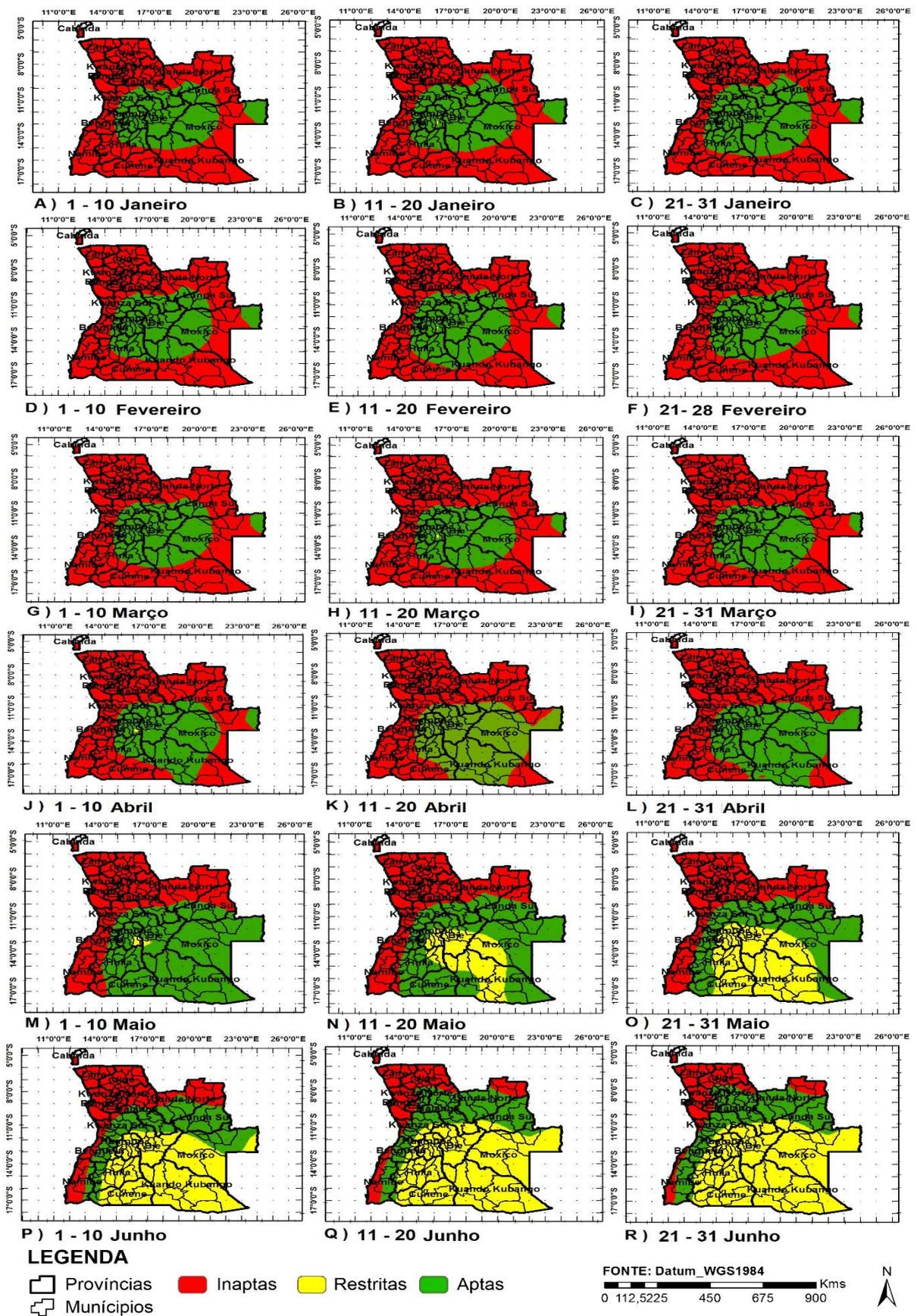
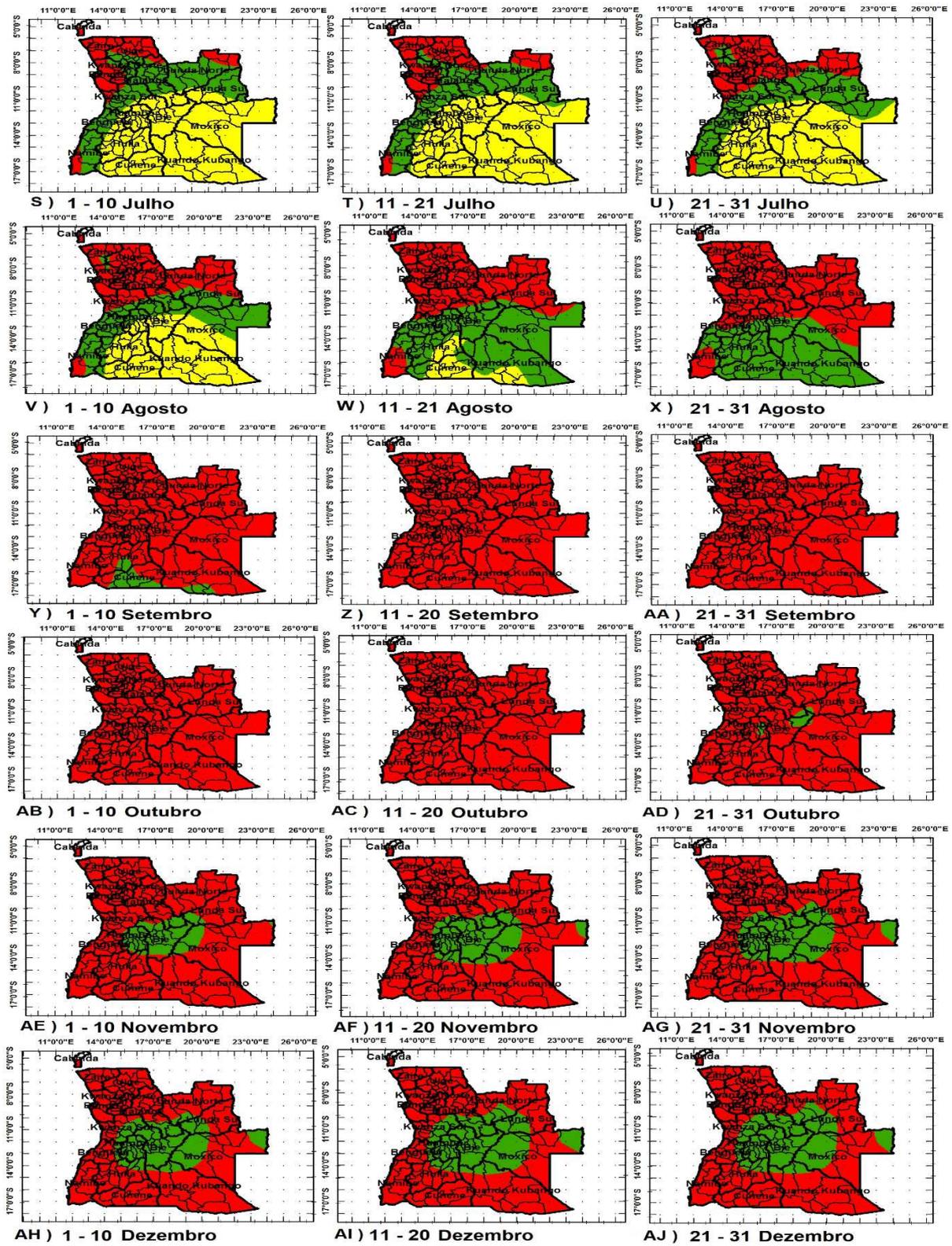


FIGURA 21 - CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS NOTURNAS (TNOITE).

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)



**LEGENDA**

- Províncias
- Inaptas
- Restritas
- Aptas
- Municípios

FORTE: Datum\_WGS1984

0 112,5225 450 675 900 Kms



FIGURA 21B – CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A TEMPERATURAS NOTURNAS (TNOITE)

FORTE: Elaborado pelo Autor (2017)

#### 4.1.2.3. Estimativa III: Condições Hídricas.

D'Urso (2010), afirma que os requisitos de água da cultura representam a água total necessária para a planta, desde o plantio até a colheita num regime climático específico quando a água do solo é mantida pela precipitação de modo que não limite o desenvolvimento da planta e o rendimento da cultura.

Portanto, o volume de água disponível para a absorção da planta é calculado por meio de um balanço hídrico do solo (BH), considerando-se a cultura específica. Segundo Monteiro (2009) o balanço hídrico é a principal informação a ser considerada para identificar os períodos com excedência e/ou deficiência e suas respectivas intensidades, permitindo também definir o tipo de sistema de cultivo a ser empregado e o período em que cada um deles deve ser conduzido.

Assim para esse cálculo foram consideradas um conjunto de variáveis de grande importância para sua realização, entre elas: A capacidade de armazenamento de água do solo (CAD), a estimativa da evapotranspiração de referência regional ( $ET_{ref}$ ), evapotranspiração real, que representa o consumo efetivo de água pela planta ( $ET_{real}$ ), a capacidade de campo (CC), o excedente de água (ExA), a água total potencialmente disponível no solo para as plantas (ADT), a profundidade de enraizamento (Pr), entre outras na escala decenal.

O (BH) é representada pelo fluxo periódico acumulado de água proveniente da precipitação (P), e saída pela evapotranspiração ( $ET_{max}$ ). A água que entrou no solo e excedeu a capacidade de retenção (ADT) foi considerada perdida pelo escoamento ou percolação profunda como excesso de água (ExA) e considerada não disponível para o cálculo de balanço de água (FISCHER et al., 2012; ALLEN et al., 2010; MOELETSI, 2010; NEAMATOLLAHI et al., 2012). Logo se pode considerar que as condições de drenagem também foram assumidas nesse pressuposto.

O cálculo da disponibilidade hídrica mediante o balanço de água do solo seguiu as metodologias descritas por Allen et al., (1998) e Fischer et al. (2012) conforme ilustrados na Figura 22.

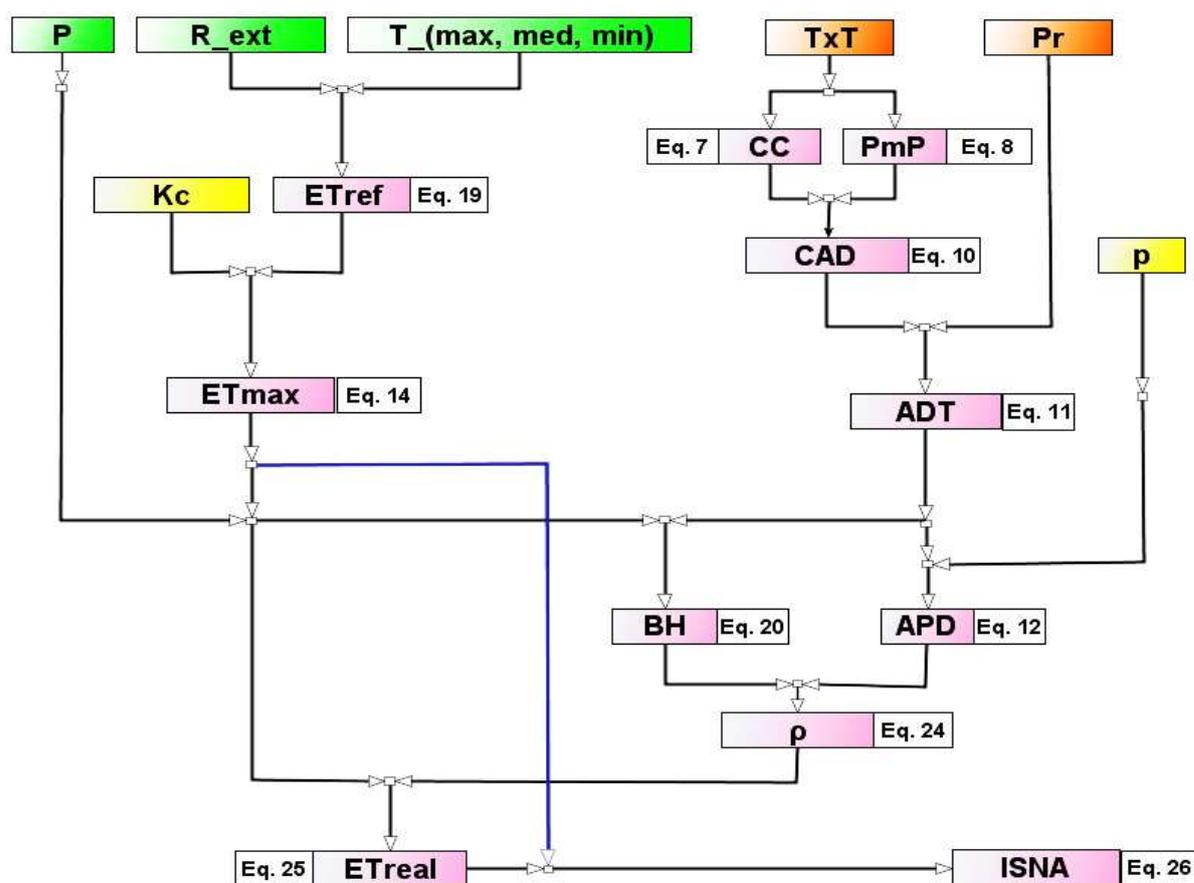


FIGURA 22 – ESTRUTURA DA ESTIMATIVA III

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No cálculo da capacidade de campo (CC) e do ponto de murchamento (PmP) foram utilizadas as equações de Arruda et al. (1987), que consideram os parâmetros referentes aos teores de argila e silte na composição do solo (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004):

$$CC = 3,07439 + (0,629239 * X) - (0,00343813 * X^2) \quad (7)$$

$$PmP = \frac{(398,889 * X)}{(1308,09 * X)} \quad (8)$$

Em que:

$$X = (\% \text{ argila} + \% \text{ silte}) \quad (9)$$

Onde:

ADT – Quantidade total de água disponível (mm);

CC – Capacidade de campo (mm);

O valor de CAD é um atributo específico do solo, e definido como a diferença entre o teor de água do solo na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente sobre a zona de enraizamento (PmP). Ele foi calculado como (FISCHER et al. 2012; PEREIRA & LOMBARDI NETO, 2004):

$$CAD = CC - PmP \quad (10)$$

O limite superior da água disponível para as plantas (ADT) depende das características físicas e químicas do solo que influenciam a capacidade total de retenção de água no solo (CAD), decorrente nomeadamente de atributos do solo como textura (tipo de argila, silte e areia) (RAMALHO FILHO et al., 2010). Isto implica que a água total disponível do solo (ADT) é o produto da capacidade total de retenção de água do solo (CAD) e da profundidade de enraizamento (Pr) (FISCHER et al., 2012).

$$ADT = CAD * Pr \quad (11)$$

O limiar de água prontamente disponível no solo (APD) é, por sua vez, calculado a partir de ADT e de uma fracção de depleção de humidade do solo (p) (FISCHER et al., 2012).

$$APD = ADT * (1 - p) \quad (12)$$

Essa fracção p (fracção de depleção de umidade do solo) representa uma percentagem de ADT abaixo da qual a umidade do solo começa a tornar-se difícil de extrair (FISCHER et al., 2012).

A fração ( $p$ ) varia com a demanda por evapotranspiração da cultura, tipo de cultura e características do solo. Ela diminui com o aumento da demanda por evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_{max}$ ). Variando de 0,3 para plantas rasas com taxas elevadas de  $ET_{max}$  ( $> 8$  mm/dia) a 0,7 para plantas profundamente enraizadas com baixas taxas de  $ET_{max}$  ( $< 3$  mm/dia). Essas estimativas estão disponíveis em várias fontes da FAO, mas os valores comumente usados estão apresentados no quadro 6 (ALLEN et al., 1998).

QUADRO 8 - AMOSTRAS DA FRAÇÃO DE DEPLEÇÃO DE ÁGUA DO SOLO SEM ESTRESSE ( $p$ ), PARA CULTURA DE REFERÊNCIA.

Colheita	Fração de depleção (para $ET_{max} \approx 5$ mm/dia) (%)
Milho, (grão)	0,55
Milho, (milho doce)	0,50

FONTE: Adaptado de ALLEN et al. (1998)

Como estes valores para  $p$  são válidos para  $ET_{max} \approx 5$  mm/dia, neste trabalho ele foi ajustado para diferentes  $ET_{max}$  de acordo com Allen et al. (1998):

$$p = p(\text{Quadro 8}) + 0,04 * (5 - ET_{max}) \quad (13)$$

Onde  $p$  é expresso como uma fração de  $ET_{max}$  (mm / dia).

O Valor de evapotranspiração máxima ( $ET_{max}$ ) está relacionado com evapotranspiração de referência ( $ET_{ref}$ ) através da aplicação dos coeficientes de cultura para a necessidade de água ( $kc$ ) que estão relacionados ao desenvolvimento fenológico e à área foliar da planta:

$$ET_{max} = kc * ET_{ref} \quad (14)$$

O período de máxima evapotranspiração da cultura do milho ocorre entre o pré-florescimento (quando as plantas cobrem quase todo o solo) até o final da fase de enchimento de grão (CRUZ et al., 2011). No entanto os coeficientes de cultivo para o

milho são de 0,50 para a fase I; 0,85 para a fase II; 1,26 para a fase III e 1,12 para a fase IV, com a duração dos dias de crescimento (CPC) aproximado de 120 dias (ASSAD et al., 2004). Os valores de  $K_c$  específicos da cultura estão apresentados na Figura 23.

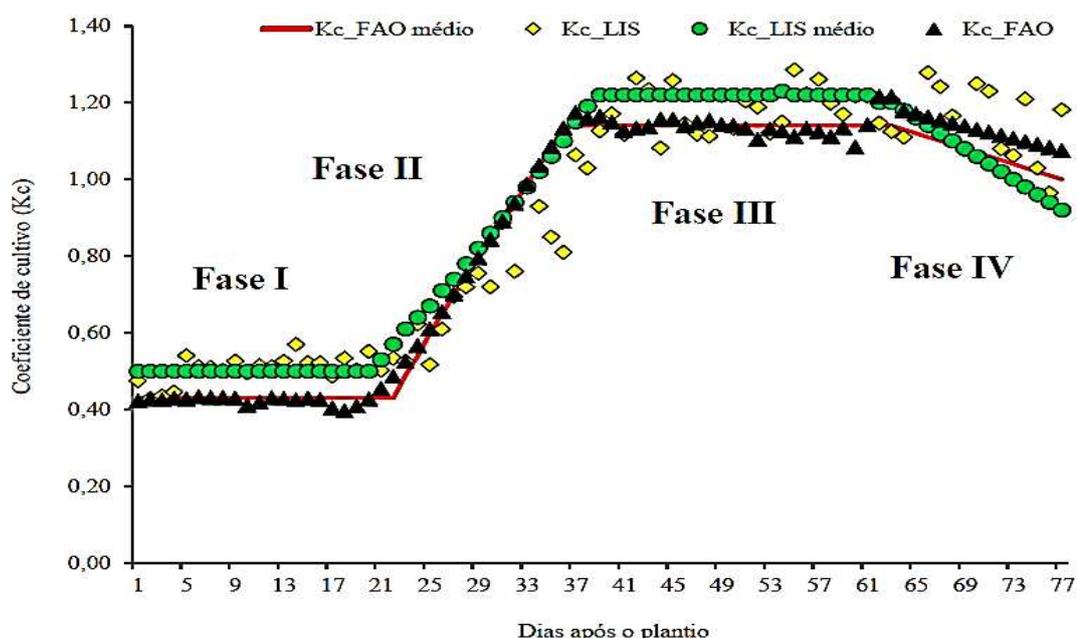


FIGURA 23 - VALORES DE  $K_c$  PARA ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO DO MILHO.  
 FONTE: OLIVEIRA SANTOS et al. (2014).

Para cada etapa, os parâmetros de entrada definem o comprimento de cada estágio de cultura como uma porcentagem do comprimento total do ciclo (CPC), assim sendo em cada fase do ciclo total (da I à IV) correspondem a 25%, 29%, 33% e 13 % respectivamente (DOORENBOS & KASSAM, 1979; OLIVEIRA SANTOS et al., 2014).

Os quatro estágios de desenvolvimento da cultura (dias) são indicados como fase inicial ou emergência (I) com 30 dias, vegetativa (II) com 35 dias, reprodutiva (Floração- enchimento de grãos) (III) com 40 dias e maturação (IV) com 15 dias (ASSAD et al, 2004). Esses parâmetros de entrada definem o coeficiente de cultura fracionário para o requisito de água ( $K_c$ ) ao longo das etapas I ( $K_{c1}$ ) e II ( $K_{c2}$ ), etapa III ( $K_{c3}$ ) e no ponto final da etapa IV ( $K_{c4}$ ) (FISCHER et al., 2012).

O cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_{ref}$ ), ou seja, a taxa de evapotranspiração a partir de uma cultura de referência hipotética é feita frequentemente de acordo com a equação de Penman-Monteith (PENMAN-MONTEITH, 1981; FAO, 1992; ALLEN et al., 1998; FISCHER et al., 2012).

O procedimento de cálculo utiliza um conjunto padronizado de parâmetros de entrada, nomeadamente: Temperatura média, intervalo de tempo, fracção de luz solar, velocidade do vento, umidade relativa, precipitação e frequência de dia úmido. E a equação pode ser escrita mediante a combinação de um termo aerodinâmico e de um outro radiativo:

$$ET_{ref} = ET_{ar} + ET_{ra} \quad (15)$$

Onde o termo aerodinâmico pode ser aproximado por:

$$ET_{ar} = \frac{\gamma}{\vartheta + \gamma^*} * \frac{900}{T_{real} + 273} * U_2 * (e_a - e_d) \quad (16)$$

E o termo radiativo aproximado por:

$$ET_{ra} = \frac{\vartheta}{\vartheta + \gamma^*} * (R_n - G) * \frac{1}{\lambda} \quad (17)$$

Onde,  $\gamma$  é a constante psicométrica (KPa/°C),  $\gamma^*$  é a constante psicométrica modificada (KPa/°C),  $T_{med}$  é a temperatura média decendial (°C),  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação (KPa/°C),  $e_a$  a pressão real de vapor ou do ponto de orvalho (KPa),  $(e_s - e_a)$  é o défice de pressão de vapor (KPa),  $U_2$  é a medição da velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s),  $R_n$  é o fluxo de radiação líquida na superfície (Mj/m<sup>2</sup>/dec),  $G$  o fluxo de calor do solo (Mj/m<sup>2</sup>/dec),  $\Delta$  é o calor latente de vaporização (Mj/kg).

Finalmente, a equação de Penman-Monteith (1965) resultante da combinação de  $ET_{ar}$  (equação 16) e  $ET_{ra}$  (equação 17) é escrita como:

$$ET_{ref} = \frac{0,408 * \Delta * (R_n - G) + \gamma * \frac{900}{T_{med} + 273} * U_2 * (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (18)$$

Portanto, apesar da combinação de Penman-Monteith ter sido recomendada pela FAO e vários autores (ALLEN et al., 1998; FISCHER et al., 2012) como equação padrão para estimar  $ET_{ref}$ , o principal inconveniente na equação é a grande quantidade de dados necessários, e que na maior parte de países em desenvolvimentos não estão disponíveis. Para mais detalhes sobre os procedimentos de cálculo da Evapotranspiração consultar (TABARI, 2010; TABARI et al., 2012; FISCHER et al., 2012; ALLEN et al., 1998; JENSEN et al., 1990; HARGREAVES & SAMANI, 1985; LI et al., 2009; MCKENNEY & ROSENBERG, 1993; DEHGHANISANIJ et al., 2004)

Sendo assim, vários outros métodos têm sido abordados na literatura. A equação de Hargreaves & Allen (2003) tem sido considerada mediante vários estudos como a maior simplificação do modelo de Penman-Monteith. Para Tabari et al. (2012) esse modelo tem se revelado como o modelo mais preciso em condições climáticas quentes úmidas e semiáridas<sup>5</sup>, pois a equação fornece uma estimativa do único termo radiativo (temperatura e radiação) do modelo de Penman-Monteith que influencia mais o  $ET_{ref}$  do que o termo aerodinâmico.

Ainda para Hargreaves & Samani (1985), a utilização do método de Penman-Monteith pode resultar de uma calibração fraca do termo aerodinâmico na equação, por isso o método de temperatura é recomendado como um método superior para estimar a evapotranspiração da cultura de referência.

A forma deste modelo apresentado como:

$$ET_{ref} = 0,0023 * R_{ext} * (T_{ref} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (19)$$

---

<sup>5</sup> Este representa exatamente o clima característico de Angola, pela sua posição geográfica.

Onde:

$ET_{ref}$  — é evapotranspiração de referência (mm/decêndio),

$R_{ext}$  — é a radiação global extraterrestre (Mj/mm/decêndio),

$T_{ref}$  — é a temperatura média (°C),

$T_{max}$  — é a temperatura máxima (°C)

$T_{min}$  — é a Temperatura mínima (°C).

0,0023 — uma constante resultante da análise de regressão ou por ajuste empírico.

Portanto, neste trabalho o cálculo da  $ET_{ref}$  foi feito mediante a equação de Hargreaves & Allen (2003) (equação 19), exatamente pelas debilidades de dados relativos à velocidade do vento, humidade relativa do ar e das horas possíveis de sol que não foram possíveis estimar.

Os valores de radiação Global Extraterrestre ( $R_{ext}$ ) foram estimados em função das equações (20) a (22) e mediante os valores das Equações (1) e (2) respectivamente (ALLEN et al., 1998):

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left[\left(2 * \frac{\pi}{365}\right) * \text{Dia}\right]; \quad (20)$$

$$A = \omega_s * \text{sen}(\varphi) * \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega_s); \quad (21)$$

$$R_{ext} = \frac{24 * 60}{\pi} 0,0820 * d_r * [A]; \quad (22)$$

Onde:

A — uma variável auxiliar.

$\delta$  — é a declinação solar da terra (rad),

Dia — é o número do dia no ano entre 1 (1 de janeiro) e 365 ou 366 (31 de dezembro).

$\varphi$  – é a latitude local;

$\omega_s$  – ângulo da hora do pôr do sol (rad.);

$d_r$  – distância relativa terra-sol;

Na equação acima,  $R_{ext}$  é expresso em  $Mj/m^2/dia$ , então a evaporação equivalente correspondente no dia em (mm) foi obtida multiplicando  $R_{ext}$  por 0.408 (Equação 23).

$$R_{ext}(Mj/mm/dia) = 0,408 * R_{ext}(Mj/m^2/dia) \quad (23)$$

Assim tendo os valores de  $ET_{max}$  e ADT foi possível determinar os valores de (BH) para se definir as condições de disponibilidade para a cultura do milho (FISCHER et al., 2012):

$$BH_j = \min \{BH_{j-1} + P_j - ET_{maxj}, ADT\} \quad (24)$$

Onde:

$BH_j$  – o balanço de água no decêndio analisado (mm)

$BH_{j-1}$  – o balanço de água do decêndio anterior (mm)

$j$  – o decêndio do ano;

ADT – o máximo de água disponível para as plantas, contabilizada dentro dos procedimentos de cálculo do balanço (mm),

$P$  – a precipitação decendial (mm);

A absorção real da água para a cultura de referência é caracterizada pela evapotranspiração real ( $ET_{real}$ ). O cálculo da  $ET_{real}$  diferencia dois casos possíveis, dependendo da disponibilidade de água para extração de plantas (FISCHER et al., 2012):

- Disponibilidade adequada de água do solo ( $ET_{real} = ET_{max}$ ).
- Disponibilidade limitante de água do solo ( $ET_{real} < ET_{max}$ )

A condição  $ET_{real} = ET_{max}$ , enquanto BH estiver acima ou igual do limiar de água prontamente disponível (APD), assumindo a precipitação (P) como a fonte de água, é definida quando  $P \geq ET_{max}$ , ou quando  $P < ET_{max}$ , mas  $P + BH - APD > ET_{max}$ . Estas condições implicam que há água extraível facilmente suficiente para atender a demanda de água da cultura, portanto nenhum estresse hídrico (FISCHER et al., 2012).

Em condições de água limitantes,  $ET_{real}$  é uma fração de  $ET_{max}$ , dependendo da disponibilidade da água do solo. O valor de  $ET_{real}$  é configurado para ser igual a  $ET_{max}$ , desde que o balanço hídrico (BH) seja superior ou igual ao limiar da água do solo prontamente disponível (APD).

Isto implica que quando a água do solo é limitante, ou seja, quando as condições anteriores não são satisfeitas e  $P + BH - APD < ET_{max}$ , então  $ET_{real}$  fica aquém de  $ET_{max}$ . Neste caso,  $ET_{real}$  é calculado como uma fração ( $\rho$ ) de  $ET_{max}$ . A variável  $\rho$  é a razão entre o balanço hídrico atual (BH) e o limiar de água do solo prontamente disponível (APD) (FISCHER et al., 2012).

$$\rho = \frac{BH}{APD} \quad (25)$$

$ET_{real}$  é então calculada como:

$$ET_{real} = P + \rho * ET_{max} \quad (26)$$

Os procedimentos acima pressupõem que as chuvas estão imediatamente disponíveis para as plantas no dia da precipitação antes de reabastecer a umidade do solo.

Portanto, em qualquer período, o teor real de água do solo (BH) estará disponível para as plantas se  $PmP < BH < CC$ . No entanto, um esquema que representa as condições de adequação da disponibilidade de água no balanço hídrico do solo, considerando como fonte de água a precipitação é apresentado na figura 24.

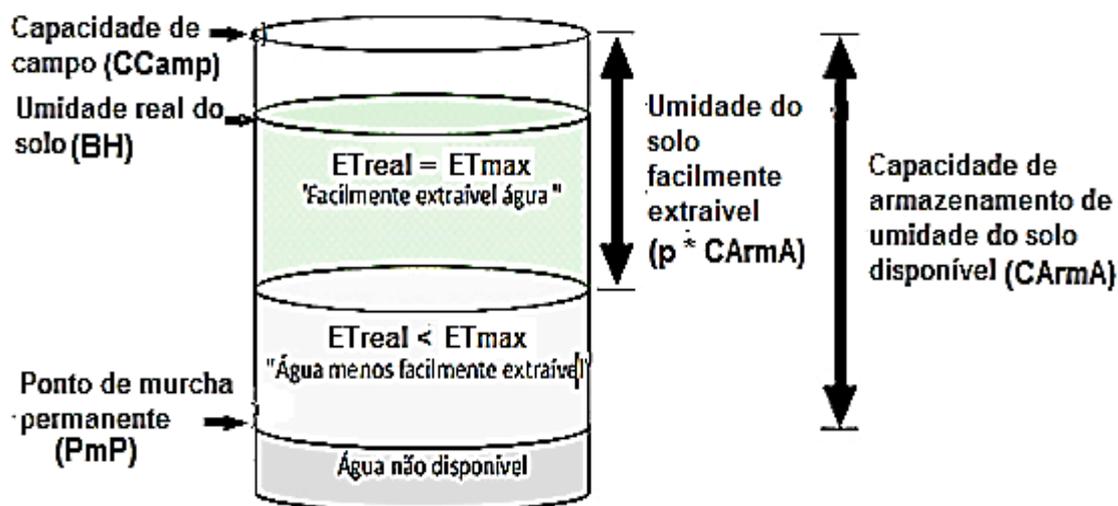


FIGURA 24 - ADEQUAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO.

FONTE: Adaptado de FISCHER et al. (2012).

A disponibilidade adequada de água no solo é determinada em termos relativos entre a evapotranspiração real ( $ET_{real}$ ) e a máxima da cultura ( $ET_{max}$ ) que representa o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA). Foram empregados os valores de ISNA estimados para o período fenológico compreendido entre a floração e o enchimento de grãos (período mais crítico ao déficit hídrico), com frequência mínima de 80% nos períodos utilizados em cada estação meteorológica (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001; SILVA et al., 1998; SINGH, 2010; ASSAD et al., 2004; MOELETSI, 2010; NEAMATOLLAHI et al., 2012). Cada valor de ISNA observado durante essa fase foi associado à localização geográfica da respectiva estação para posterior espacialização dos mesmos em época de plantio, para todos os 36 decêndios do ano.

$$ISNA = \frac{ET_{real}}{ET_{max}} \quad (27)$$

Onde:

ISNA — índice de satisfação da necessidade de água (decimal);

$ET_{real}$  — evapotranspiração real da cultura (mm);

$ET_{max}$  – evapotranspiração máxima da cultura (mm).

No entanto considerando as fases fenológicas mais restritas para o desenvolvimento do milho foi definido as melhores condições para iniciar a semeadura, sendo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2001; SILVA et al., 1998; PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004):

QUADRO 9 - CLASSES DE APTIDÃO PARA A SATISFAÇÃO HÍDRICA.

Satisfação Hídrica	Aptidão
$ISNA > 0,55$	APTAS ao desenvolvimento da cultura
$0,45 \leq ISNA \leq 0,55$	RESTRITAS ao desenvolvimento da cultura
$ISNA < 0,45$	INAPTAS ao desenvolvimento da cultura

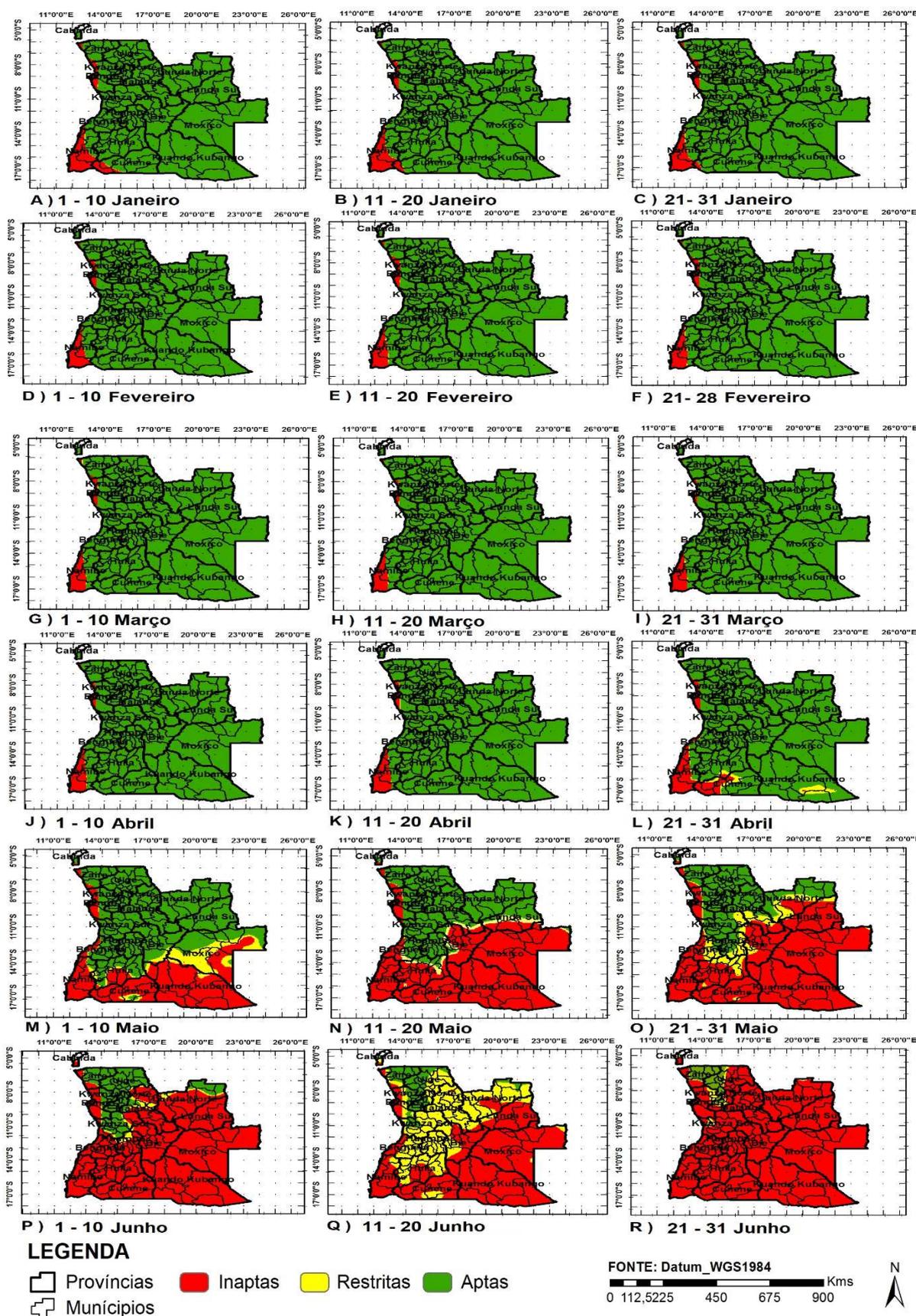
FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

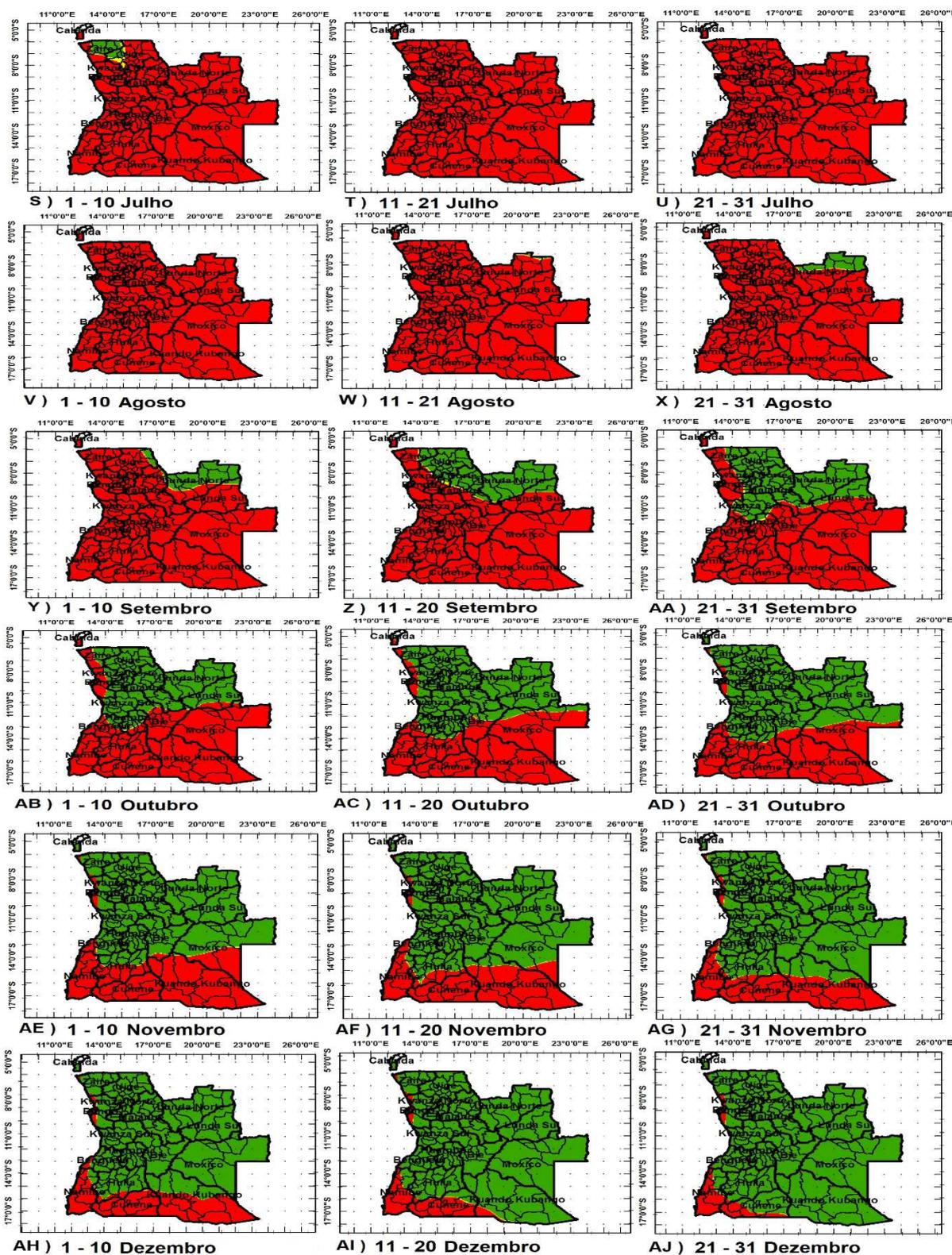
Cada valor de ISNA observado durante esta fase foi associado à localização geográfica da respectiva estação para posterior espacialização dos mesmos.

Terminados os cálculos, os valores de  $T_{dia}$  foram novamente exportados do MatLAB para planilha EXCEL e apresentados no apêndice 1 (Tabela 1). Essas planilhas foram posteriormente importadas para o ArcGIS e reclassificadas para a elaboração das camadas de adequação, abrangendo toda área de estudo. Essa reclassificação resultou em 36 camadas que depois de descarregadas foram corrigidas e recortadas. O resultado está representado na forma de mapas, que contêm três (3) classes: Aptas, Restritas e Inaptas, as quais foram atribuídas respectivamente as cores verde, amarela e vermelha como vistos nas Figuras 20A e 20B.

Portanto, tal com na estimativa II os valores de ISNA foram exportados do MatLAB para planilhas EXCEL, apresentados no apêndice 1 (Tabela 3). Essas planilhas foram novamente importadas para o ArcGIS para a elaboração das camadas de adequação. Os valores de ISNA das médias decendiais resultaram em 36 camadas que depois de corrigidas e recortadas foram descarregadas. O resultado

está representado na forma de mapas, que contêm três (3) classes: Aptas, Restritas e Inaptas, as quais foram atribuídas as cores verde, amarela e vermelha, respectivamente representandos nas Figuras 25A-B.





**LEGENDA**

- Províncias
- Inaptas
- Restritas
- Aptas
- Municípios

FORTE: Datum\_WGS1984

0 112,5225 450 675 900 Kms



FIGURA 25B – CAMADAS DE MAPAS REFERENTES A SATISFAÇÃO HÍDRICA (ISNA)

FORTE: Elaborado pelo Autor (2017)

#### 4.1.3. Etapa III - Elaboração do Zoneamento para o ZAA-Milho.

Aqui chega a etapa final que vai culminar com a elaboração do zoneamento propriamente dito e terminando toda a parte metodologica proposta no ZAA-Milho, seguindo os processos observados na Figura 26.

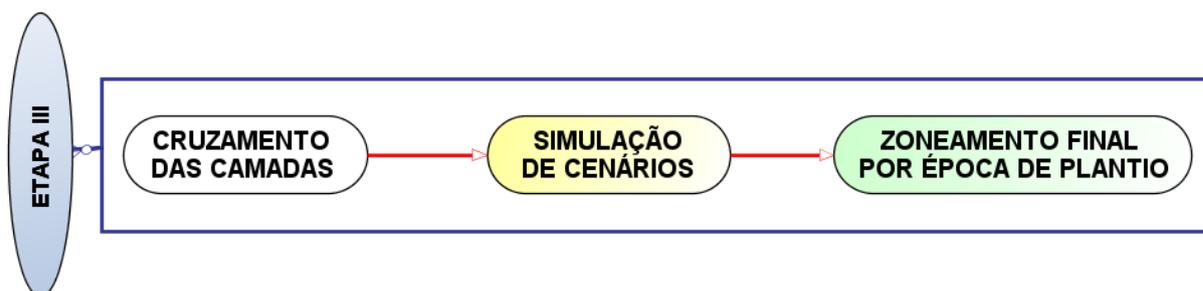


FIGURA 26 - DESENVOLVIMENTO DA ETAPA III

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No cruzamento das camadas, todos os mapas (camadas) das estimativas (I – III) já elaboradas foram usados como entradas para intersecção/sobreposição e que definiram as épocas mais adequadas para se começar o plantio do milho. Uma ilustração deste processo é apresentada na Figura 27.

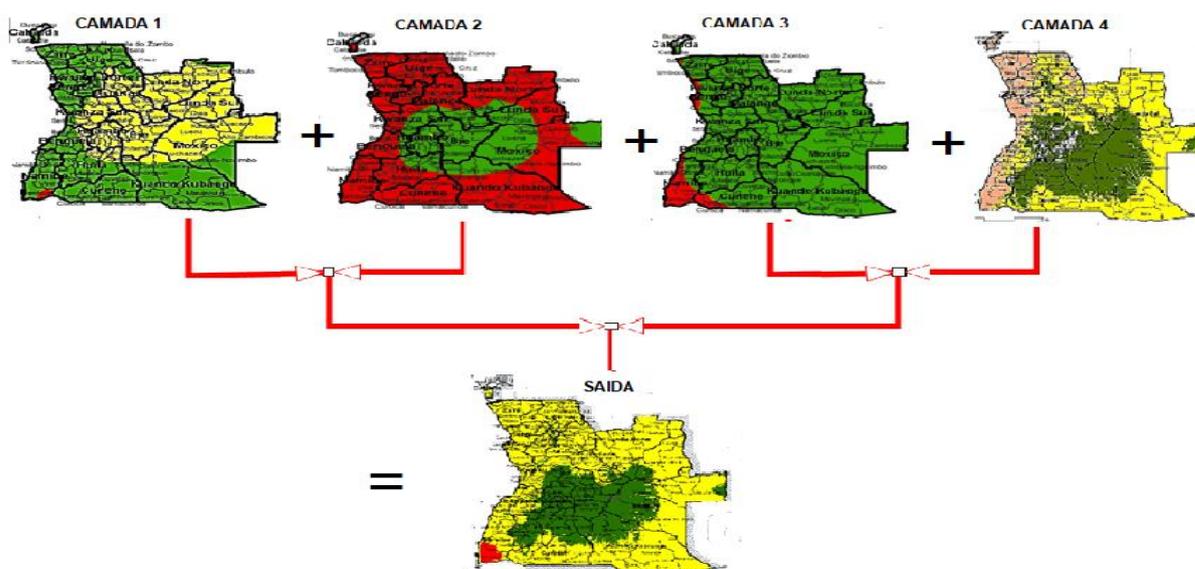


FIGURA 27 - ILUSTRAÇÃO DAS CAMADAS PARA A SOBREPOSIÇÃO.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

A sobreposição das camadas foi feita utilizando os arquivos em formatos raster (matricial). Foi usada a ferramenta de extensão do ArcGIS - *Weighted Sum* que é análoga à soma ponderada de matrizes. Esta ferramenta reclassifica os valores *raster* de cada camada, somando as matrizes da escala de adequação expressas em valores de 1 á 3, sendo "1" representando a classe Inapta, "2" Restrita e "3" Apta respectivamente. A Figura 28 representa a configuração das camadas reclassificadas para sobreposição em uma escala de 1 a 3.

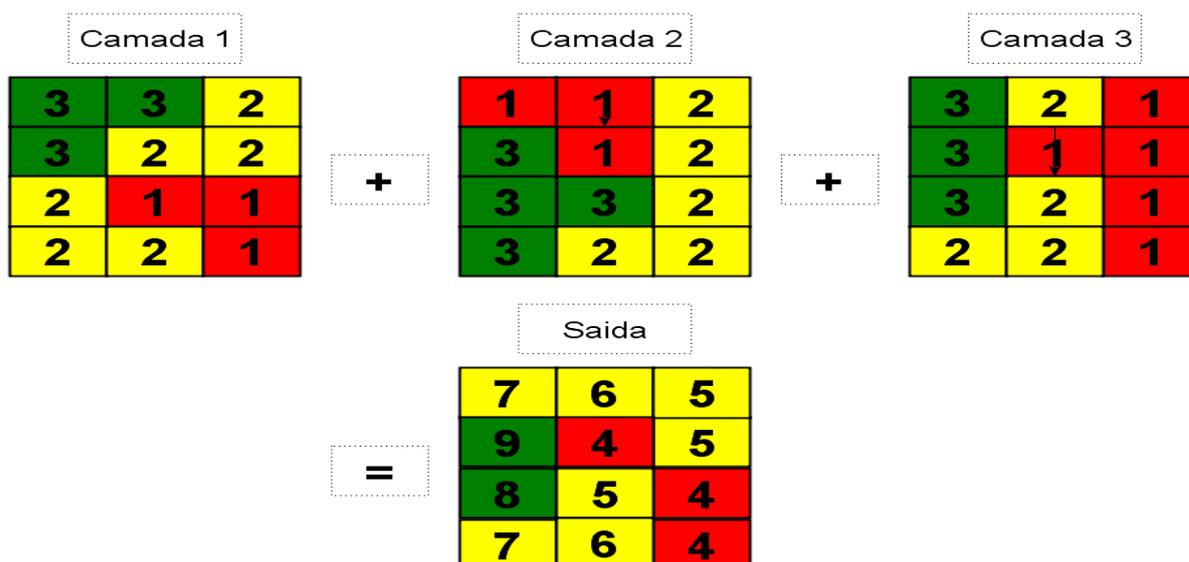


FIGURA 28 – CONFIGURAÇÃO DAS CAMADAS PARA SOBREPOSIÇÃO NO WEIGHTED – SUM.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Este processo de sobreposição resultou em 36 camadas que representaram os mapas de zoneamento ou adequação para o cultivo do milho para cada um dos 36 períodos decendias.

Para identificação das regiões de adequação climática, fez-se um estudo da distribuição da precipitação pluviométrica, do balanço hídrico das culturas e da variação térmica diurna e noturna para o comprimento do período de crescimento (CPC) da cultura do milho correspondente a 120 dias. Este CPC representa os dias em que os atributos de cada região estão no limiar dos requisitos da cultura do milho nas várias fases de desenvolvimento (FISCHER et al., 2012).

Os dias totais de CPC podem apresentar-se sob um período contínuo ou podem ocorrer como dois ou mais períodos de desenvolvimento descontínuos, quando os requisitos de umidade e temperatura em períodos de soma acumulados se tornam suficientes e/ou insuficientes para as culturas. No caso de limitações, o CPC é interrompido por uma quebra de dormência com base nos limites dos fatores para a sobrevivência das culturas e causar diminuição de rendimento.

Assim, para determinar os CPC contínuos individuais vários estágios de fornecimento de temperatura e umidade são registrados e vários indicadores são calculados da seguinte forma:

- I. Número total de dias de cultivo da região;
- II. Número de períodos de desenvolvimento individuais da cultura;
- III. Número de dias de cultivo (soma), durante os quais as condições estão dentro ou fora do limiar;
- IV. Data de início dos períodos de crescimento individuais;
- V. Data de fim dos períodos de crescimento individuais;

As exigências edafoclimáticas da planta cultivada são definidas com base em informações disponíveis na literatura, considerando as condições mais adequadas para maior produtividade. Essas exigências são comparadas com parâmetros que caracterizam o funcionamento do clima e solos dentro dos processos de cálculos das variáveis resposta de interesse, para com os valores dessas variáveis de interesses delinear o melhor zoneamento agroecológico para a cultura do milho nas regiões estudadas.

Para a espacialização de cada variável climática estudada e cumprimento do CPC foram adotados os procedimentos abaixo:

- (i) Atributos das regiões: verificar se a cultura é considerada adequada para crescer nos atributos predominantes na região, capturando a compatibilidade dos requisitos de cultura e sua sazonalidade. O rastreio de culturas em relação ao clima predominante resulta num filtro "sim/não" para cálculos adicionais a serem realizados em regiões individuais.

- (ii) Número de dias: o número de dias em que os atributos das regiões estão dentro de um limiar da duração do período de crescimento da cultura. Os requisitos individuais da cultura são combinados com as somas dos atributos para a duração do ciclo de crescimento da cultura (CPC), sendo apto quando os requisitos estão dentro da gama ótima, restrito quando caem em condições de gama sub-ótima, e inaptos quando requisitos predominantes são demasiados elevados ou demasiados baixos.

Portando, para definir as épocas de plantio foram feitas varias simulações de cenários para todos os possíveis inícios de plantio, começados no primeiro decendio de cada mês e obedecendo os mesmos processos de sobreposição de camadas da figura 28 para a soma dos periodos de CPC correspondentes a 120 dias, e assim identificar as melhores épocas para plantio do milho. No entanto, para a seleção das zonas de adequação seguiu os criterios esquematizados na figura 29.



FIGURA 29 - DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS DE ADEQUAÇÃO CONSIDERANDO O CPC.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Considerou-se que para os três níveis de aptidão regional no estudo: APTA, RESTRITA e INAPTA. As características das diferentes classes de aptidão utilizadas para o ZAA-Milho são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 - CLASSES DE APTIDÃO PARA O ZAA-MILHO

CLASSES DE APTIDÃO	CARATERISTICAS
APTA	Aquelas que ofereceram a melhor combinação das Três estimativas, ou seja, que apresentaram a menor ou quase que nenhuma limitação para o desenvolvimento da cultura.
RESTRITA	Aquelas que veem num nível baixo logo a seguir a primeira, isto é, apresentaram alguma limitação em relação à primeira.
INAPTA	Aquelas que apresentaram total limitação para o desenvolvimento da cultura, ou seja, apresentarem a maior minimização das entradas e conseqüente minimização das saídas.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Os produtos gerados somam um conjunto de mapas, definindo áreas e época de plantio conforme a aptidão agrícola da região (FISCHER et al., 2012; ASSAD et al., 2004; ANDRADE JÚNIOR et al., 2001; CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003; FALASCA et al., 2012).

Então estes mapas estão apresentados e debatidos nos resultados e discussão deste trabalho.

## 4.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela extensa área de abrangência do estudo e por motivos de abreviação no detalhamento do trabalho decidiu-se apresentar os resultados agrupando os 164 municípios em Nove grandes regiões como apresentando da Tabela 3.

TABELA 3 – CONSTITUIÇÃO DAS GRANDES REGIÕES DE ANGOLA.

REGIÕES	MUNICIPIOS	PROVÍNCIAS
Noroeste	Belize; Buco Zau; Cabinda; Cakongo.	<b>Cabinda</b>
	Cuimba; Mbanza Congo; Nóqui; Nzeto; Soyo; Tomboco	<b>Zaire</b>
	Ambriz; Bula-Atumba; Dande; Dembos-Quibaxe; Nambuanguongo; Pango-Aluquém.	<b>Bengo</b>
	Belas; Cacuo; Cazenga; Icolo E Bengo; Luanda; Quissama; Viana.	<b>Luanda</b>
Norte	Ambuíla; Bembe; Buengas; Bungo; Cangola; Damba; Maquela Do Zombo; Milunga; Mucaba; Negage; Puri; Quimbele; Quitexe; Sanza Pombo; Songo; Uíge.	<b>Uíge</b>
	Ambaca; Banga; Bolongongo; Cambambe; Cazengo; Golungo Alto; Lucala; Ngonguembo; Quiculungo; Samba Cajú.	<b>Kwanza Norte</b>
	Cacuso; Cahombo; Calandula; Cambundi-Catembo; Cangandala; Cunda-Dia-Baze; Kiuaba-N'zoi; Luquembo; Malange; Marimba; Massango; Mucari; Quela; Quirima.	<b>Malange</b>
	Cambulo; Capenda Camulemba; Caungula; Chitato; Cuango; Cuilo; Lubalo; Lucapa; Xá-Muteba.	<b>Lunda Norte</b>
Nordeste	Cacolo; Dala; Muconda; Saurimo.	<b>Lunda Sul</b>
Oeste	Amboim; Cassongue; Cela (Waku_kungo); Conda; Ebo; Libolo (Calulo); Mussende; Porto Amboim; Quibala; Quilenda; Seles (Uku Seles); Sumbe.	<b>Kwanza Sul</b>
	Baía Farta; Balombo; Benguela; Bocoio; Caimbambo; Catumbela; Chongoroi; Cubal; Ganda; Lobito.	<b>Benguela</b>
Centro	Bailundo; Caála; Catchiungo; E Cunha; Huambo; Longonjo; Mungo; Tchikala Tcholohanga; Tchinnenje; Ukuma.	<b>Huambo</b>
	Andulo; Camacupa; Catabola; Chinguar; Chitembo; Cuemba; Cuito; Cunhinga; N'hárea.	<b>Bié</b>
Leste	Alto Zambeze; Camanongue; Cameia; Léua; Luacano; Luau; Luchazes; Luena; Lumbala-Nguimbo.	<b>Moxico</b>
Sudoeste	Bibala; Camucuo; Namibe; Tômbwa; Virei.	<b>Namibe</b>
Sul	Caconda; Cacula; Caluquembe; Chibia; Chicomba; Chipindo; Cuvango; Gambos; Humpata; Jamba; Lubango; Matala; Quilengues; Quipungo.	<b>Huila</b>
	Cahama; Cuanhama; Curoca; Cuvelai; Namacunde; Ombadja.	<b>Cunene</b>
Sudeste	Calai; Cuangar; Cuchi; Cuito Cuanavale; Dirico; Mavinga; Menongue; Nancova; Rivungo.	<b>Kuando Kubango</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

#### 4.2.1. Resultados.

Depois da análise das condições de adequação de plantio por região e época, a decisão de plantio baseada numa sequência de processos contínuos no tempo, que vai desde a decisão de produção até decisões de consumo (Figura 2), considerando os três períodos de decisão agrícola (pré-cultivo, durante cultivo e pós

cultivo), para cada um dos 8 cenários simulados está apresentada na Figura 30A – 30B).

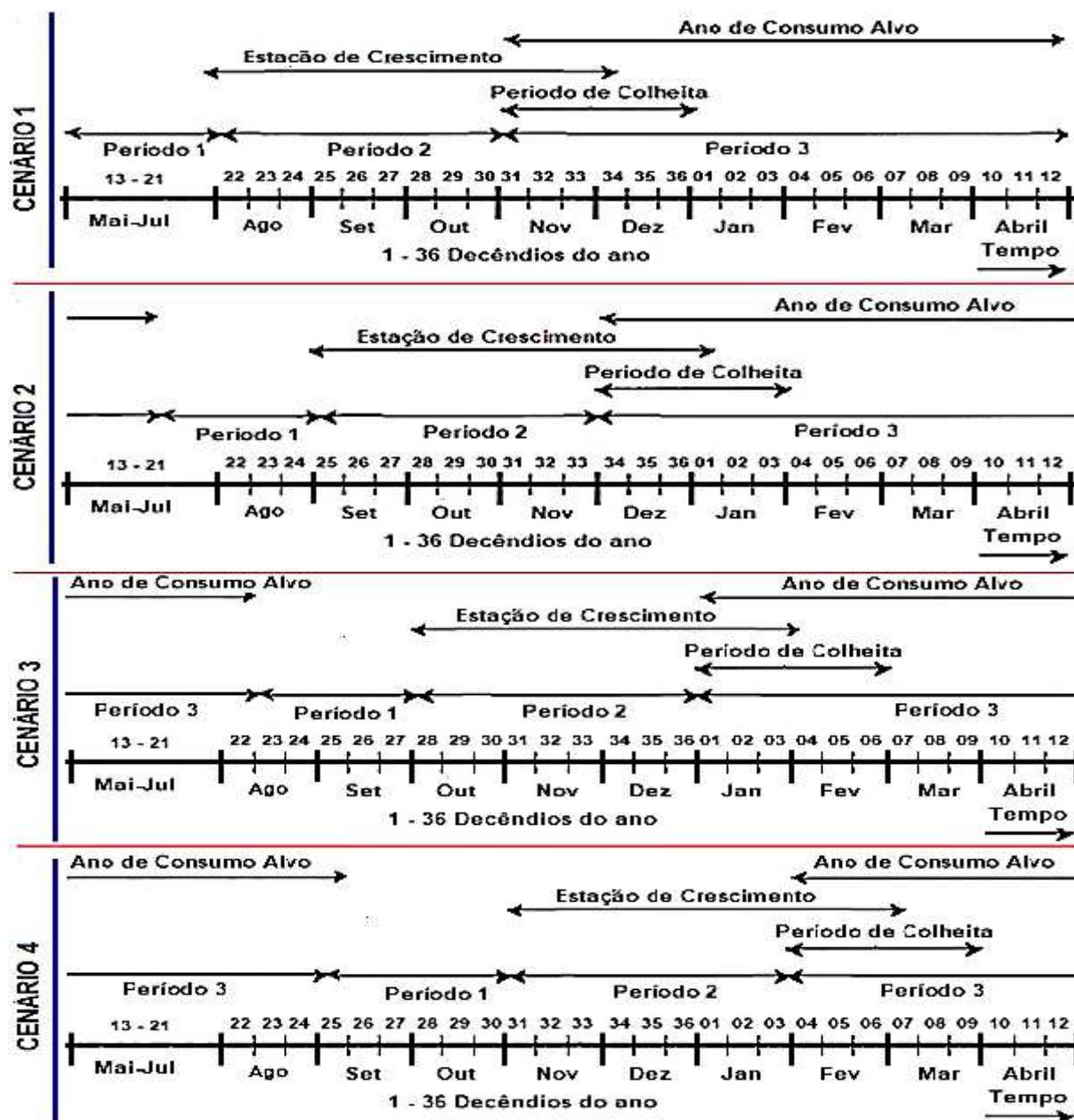


FIGURA 30A - UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO DE PLANTIO (CENÁRIO 1 - 4)

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017).

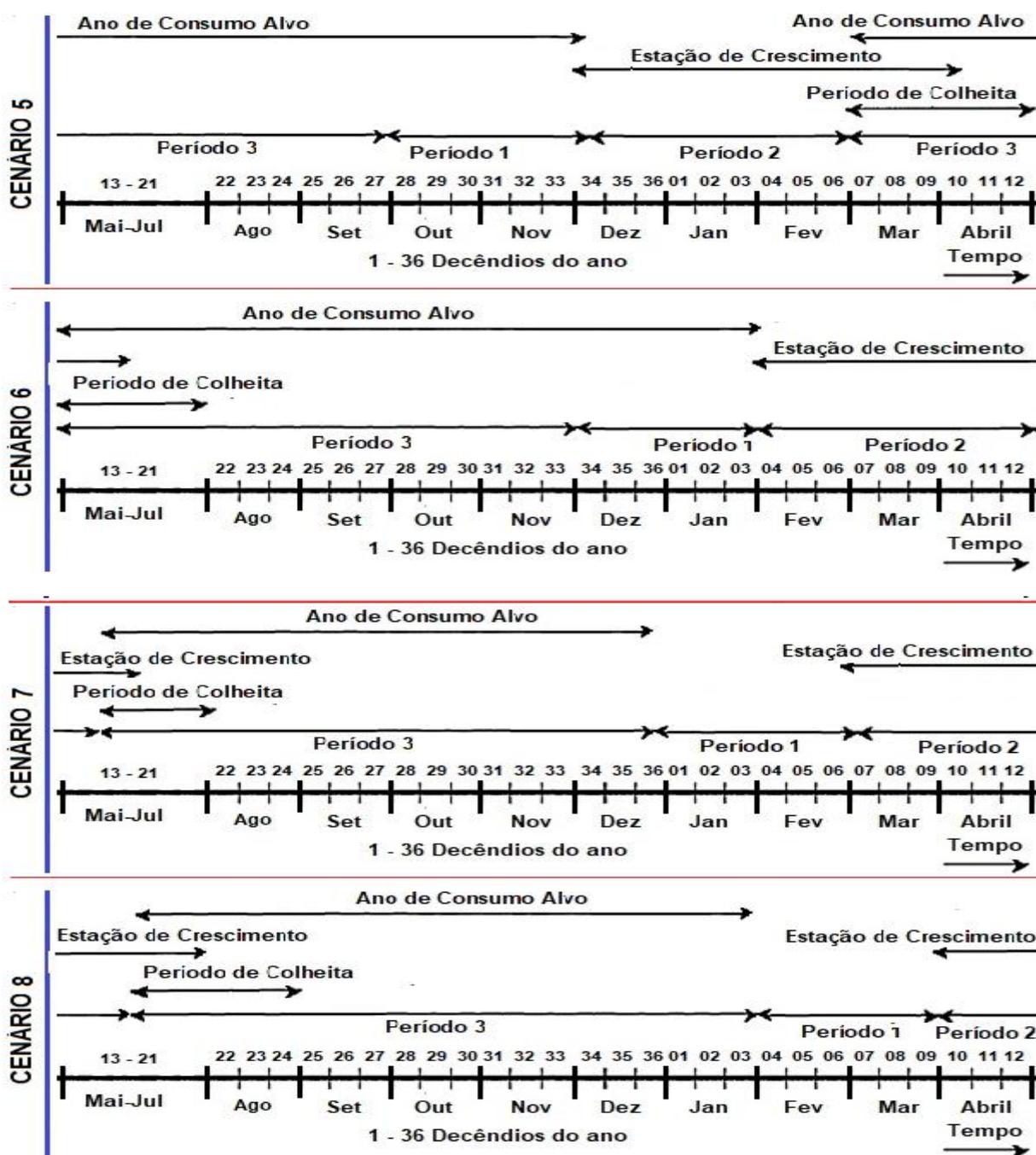


FIGURA 30B - UMA ESTRUTURA DE PLANEJAMENTO DE PLANTIO (CENÁRIO 5 - 8)

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Observa-se na Figura 30A-B que relativamente aos 8 cenários analisados, os três períodos foram definidos. Cada um dos períodos de decisão foi determinado em função das características fenológicas da cultura combinadas com a distribuição dos atributos para cada região. No pré – cultivo se antevê as condições de semeadura, antecipando os padrões de chuvas incertos das próximas estações de crescimento. Pelo fato de nesse período não existirem condições para a semeadura, ele foi definido

para o planejamento da safra, correspondendo a exatamente 60 dias. O período de cultivo começa com o início da sementeira, representando as primeiras 10 semanas da estação de crescimento após a sementeira, e tendo em conta os padrões reais observados para as decisões tomadas no primeiro período, novas decisões devem ser tomadas para contrapor as situações mal previstas ou de certa forma consideradas inesperadas. O pós-cultivo, começa com início da colheita - período de consumo alvo. Este período é definido em função da distribuição das densidades pluviométricas, prevendo uma máxima colheita com o mínimo de densidade de água nas sementes. Mediante os níveis de colheita, as decisões são tomadas neste período em relação ao consumo, armazenamento, vendas e compras.

Para melhor compreensão os resultados dos cenários de simulação, estão explicados nas secções subseqüente. Ilustrando as regiões de adequação e suas áreas de delimitação correspondente.

#### 4.2.1.1. CENÁRIO 1 - Plantio entre 1-10 Agosto.

Neste cenário pressupõe-se que o plantio tem início entre os dias 1-10 de agosto (22º decêndio anual), e contabilizando os 120 dias de ciclo normal da cultura, este período termina no mês de dezembro. As áreas de aptidão da cultura são apresentadas na Figura 31.

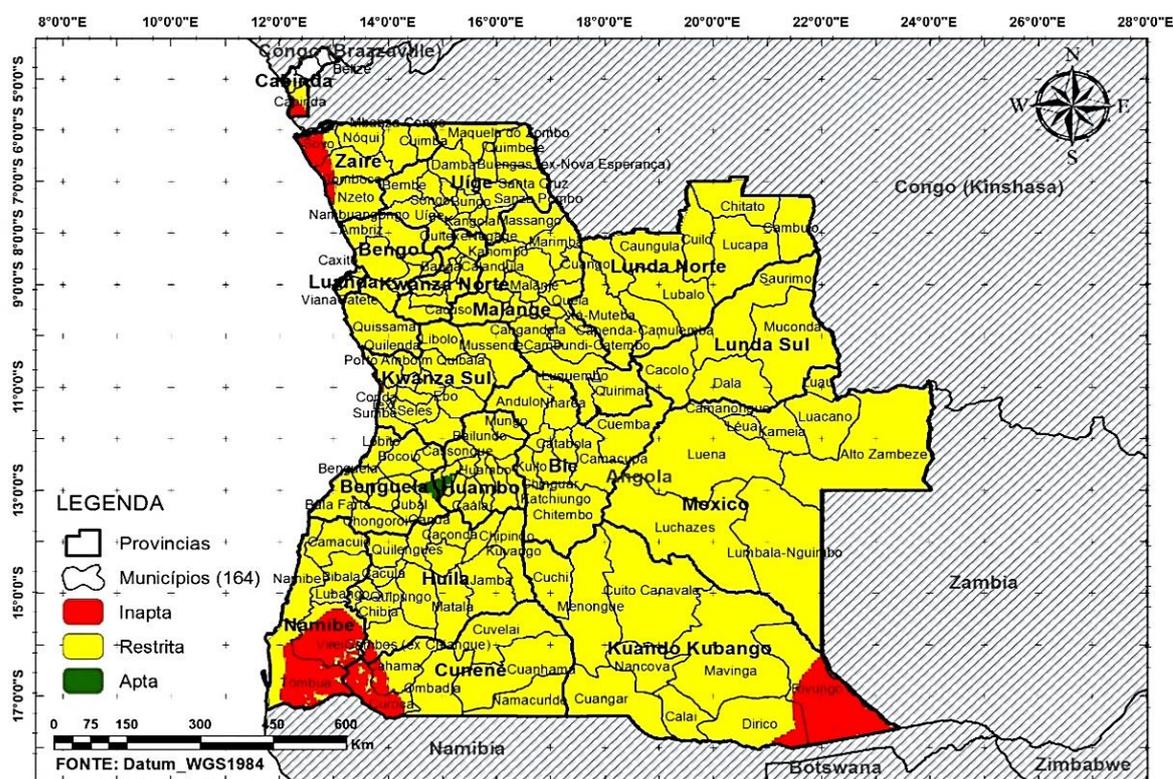


FIGURA 31 – ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 AGOSTO.  
 FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

As áreas totais abrangidas estão apresentadas na tabela 4

TABELA 4 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 AGOSTO

1 - 10 Agosto

CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	60.966	60.965.847	4,89
Restrita	1.183.701	1.183.701.137	94,95
Apta	2.033	2.033.016	0,16
<b>TOTAL</b>	<b>1.246.700</b>	<b>1.246.700.000</b>	<b>100</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Os resultados acima mostram que não é boa opção o plantio do milho a partir de agosto. Pode-se perceber na tabela 4 que o território de Angola se apresenta quase na sua totalidade (94,95 %) restrito ao cultivo de milho nessa época, e agravando-se nos extremo sudeste, sudoeste e noroeste, abrangendo os municípios

de Virei, Tômbua (Namibe), Curoca (Cunene) e Rivungo (K. Kubango), numa área de 60.966 Km<sup>2</sup> (4,89 %), que foi classificada como inapta para cultivo do milho.

#### 4.2.1.2. CENÁRIO 2 - Plantio entre 1-10 Setembro.

No cenário 2 pressupõe-se que o plantio tem início entre os dias 1-10 de setembro (25<sup>o</sup> decêndio anual) e tal como no cenário 1 são contabilizados os 120 dias de ciclo normal da cultura. Este ciclo leva o crescimento da safra até primeira semana de janeiro. As áreas de aptidão estão apresentadas na Figura 32.

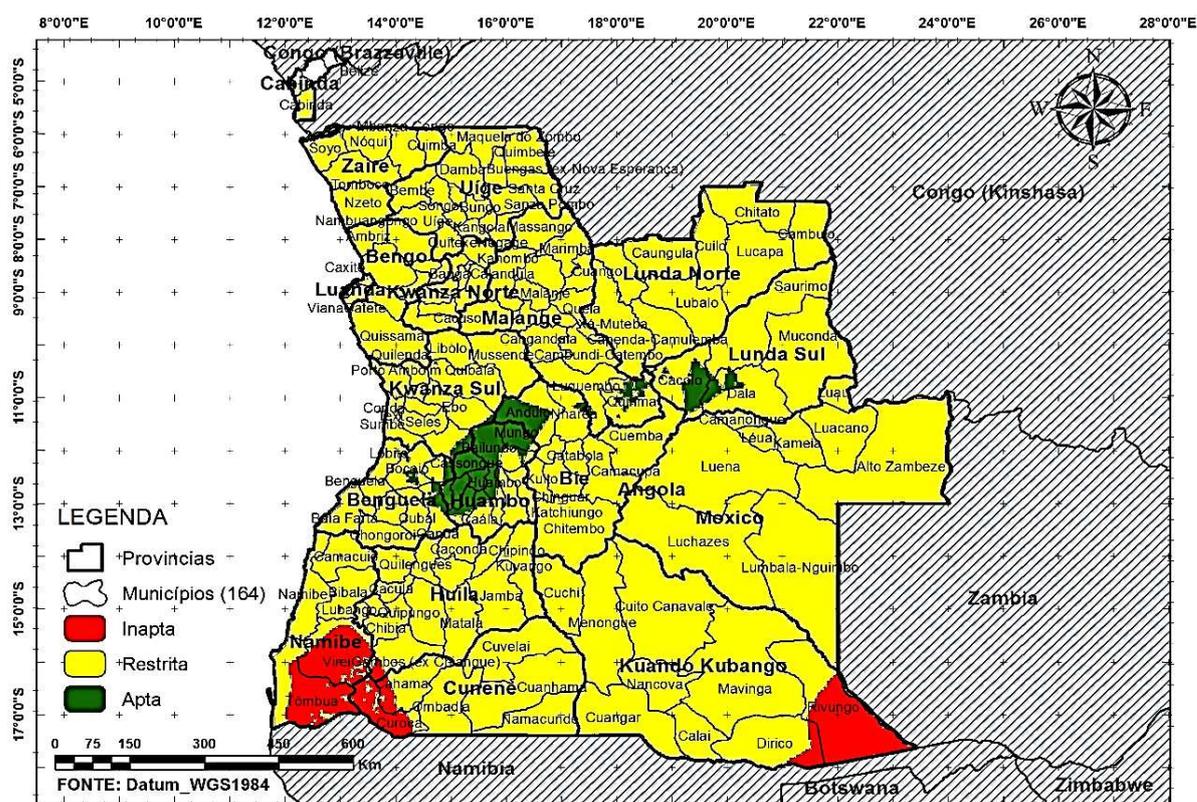


FIGURA 32 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 SETEMBRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

A tabela 5 apresenta as áreas abrangidas.

TABELA 5 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 SETEMBRO

**1 - 10 Setembro**

CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	54.760	54.760.453	4,39
Restrita	1.155.254	1.155.253.649	92,66
Apta	36.686	36.685.898	2,94
<b>TOTAL</b>	<b>1.246.700</b>	<b>1.246.700.000</b>	<b>100</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Neste cenário observa-se uma ligeira alteração em relação ao cenário 1. Pode-se constatar na Figura 32, que com o arranque do plantio nas primeiras semanas de setembro, já é possível cultivar o milho numa pequena parte da região central, que compreende o município do Andulo (província do Bié), e toda região noroeste da província do Huambo, e outro pequeno pedaço na parte sudeste do município de Caculo (província da Luanda Sul). Estas regiões somadas cobrem uma área total de 36.685.898 hectares (Tabela 5).

Apesar do aumento da região apta a cultura, o território ainda é dominado por regiões restritas, com uma área de 1.155.254 Km<sup>2</sup> (92,66 %). Não muito diferente em termos de extensão territorial, existe uma outra pequena região no Sul, que abrange partes dos municípios do Virei, Tômbua (província do Namibe), Cahama, Curoca (Cunene), Dirico e Rivungo (K. Kubango), que se apresentam como regiões inadequadas para o plantio do milho em Setembro.

#### 4.2.1.3. CENÁRIO 3 - Plantio entre 1-10 Outubro.

Neste cenário o plantio tem início entre os dias 1-10 de outubro (28<sup>o</sup> decêndio anual). E para os 120 dias de ciclo da cultura, o período termina no mês de fevereiro. Os resultados estão apresentados na Figura 33.



do Huambo e do Bié (19,97 % do território total). Esse aumento de área apta resultou na diminuição das áreas restritas e inaptas. Sendo que esta última classe ainda prevaleceu nas províncias do Namibe, Cunene e Kuando Kubango, por se caracterizarem como as mais áridas do país.

#### 4.2.1.4. CENÁRIO 4 - Plantio entre 1-10 Novembro.

Neste cenário pressupõe-se que o plantio tem início entre os dias 1-10 de novembro (Decêndio 31). E contabilizando os 120 dias de ciclo normal, este período vai terminar exatamente no mês de março. O resultado está apresentado na Figura 34.

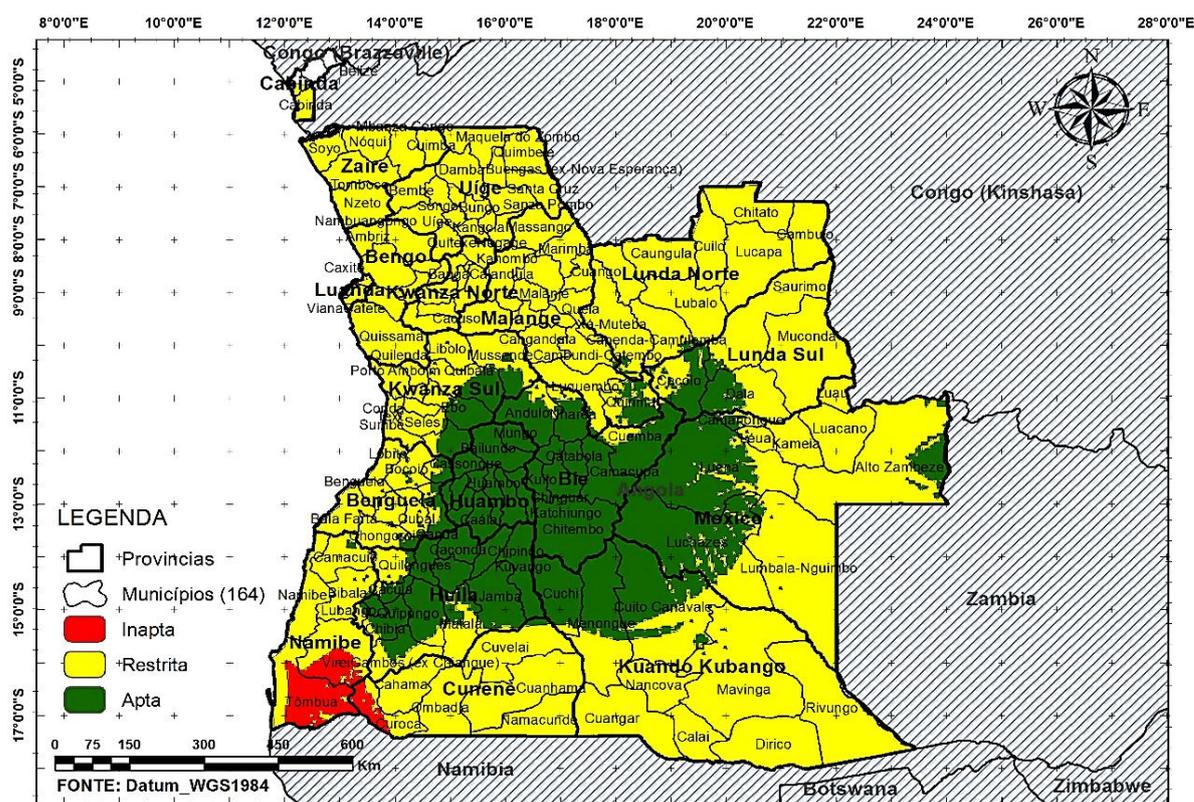


FIGURA 34 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 NOVEMBRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

As áreas abrangidas são também apresentadas.

TABELA 7 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 NOVEMBRO

1 - 10 Novembro			
CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	20.216	20.215.909	1,62
Restrita	907.013	907.013.190	72,75
Apta	319.471	319.470.901	25,63
<b>TOTAL</b>	<b>1.246.700</b>	<b>1.246.700.000</b>	<b>100</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Com o plantio ocorrendo em novembro, estende-se a região de adequação ótima. Vê-se na Figura 34, que num total 319.471 km<sup>2</sup>, quase toda a parte central do território de Angola que inclui totalidade da província do Huambo, parte oeste do Moxico e Lunda Sul, quase totalidade da província do Bié e parte sul da província de Malanje, apresentam como áreas aptas para cultivo do milho. Todas as demais áreas em torno do planalto central que abrange a região sul, desde a parte central da província da Huila e percorrendo longitudinalmente em direção a leste entre a fronteira das províncias do Cuando-Cubango e Bié e caminhando para o norte e noroeste, essa região apresentou-se restrita para a cultura do milho.

Observa-se que embora as regiões com a classe apta tenham aumentado para 25, 63 %, ainda a condição restrita domina parte do território nacional (72, 75 %), sendo que com aumento da área apta, a região restrita estendeu-se, e deslocou toda a região considerada inapropriada para a cultura do milho para oeste e mantendo uma região mais árida pertencente à província desértica do Namibe, concretamente no município do Tômbua (20.216 km<sup>2</sup>). Isto implica que é moderado o cultivo do milho com o plantio ocorrendo no início de setembro.

#### 4.2.1.5. CENÁRIO 5 - Plantio entre 1-10 Dezembro.

No cenário 5, pressupôs-se que o plantio começa entre os dias 1-10 de dezembro (Decêndio 34). E para que a cultura complete seu ciclo, esse período termina em abril. As áreas de aptidão da cultura são apresentadas na Figura 35.

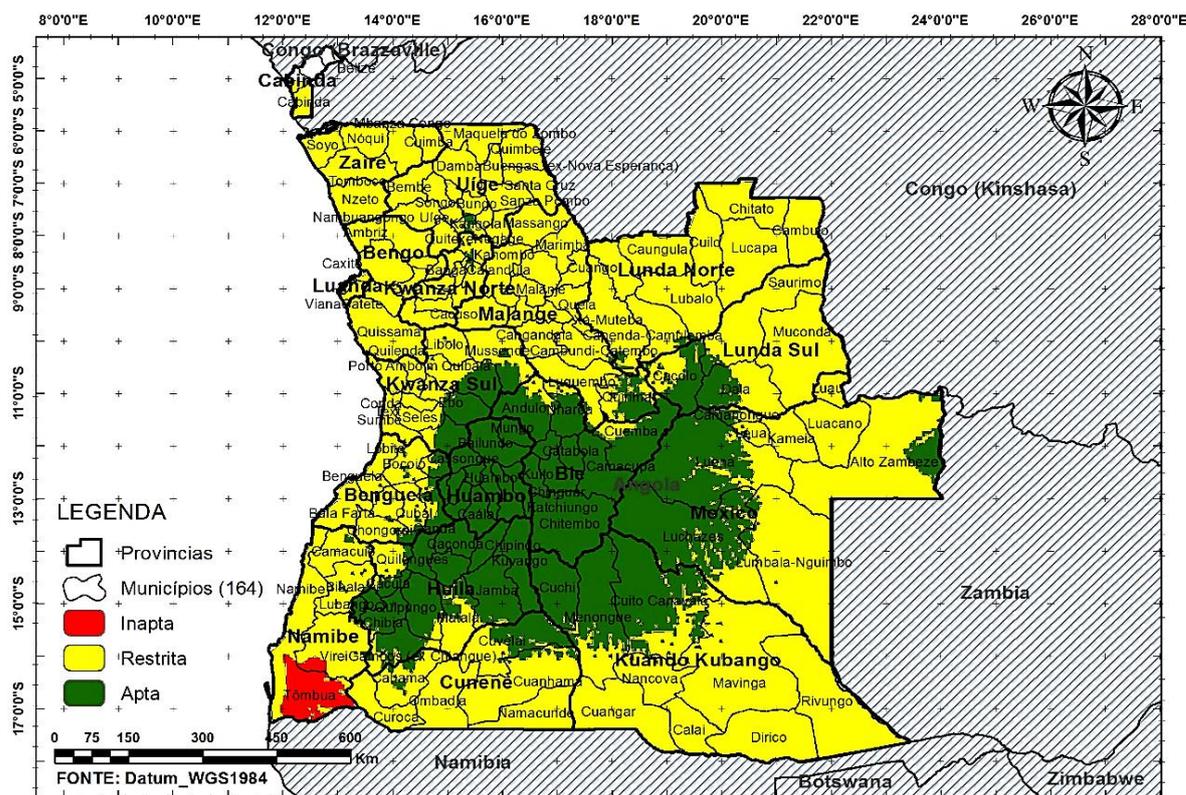


FIGURA 35 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 DEZEMBRO  
 FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

As áreas abrangidas por este cenário estão descritas na Tabela 8.

TABELA 8 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 DEZEMBRO  
 1 - 10 Dezembro

CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	12.323	12.323.029	0,99
Restrita	885.813	885.813.204	71,05
Apta	348.564	348.563.767	27,96
<b>TOTAL</b>	<b>1.246.700</b>	<b>1.246.700.000</b>	<b>100</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Como se verifica, este cenário em relação ao cenário 5, não se verificou grandes alterações nas áreas de adequação. A região apta quase que se manteve intacta, tendo um ligeiro aumento de área (9%), passando de 319.471 km<sup>2</sup> com plantio

em novembro para 348.564 km<sup>2</sup> em dezembro, estendendo-se para o centro dos municípios do Cuvelai (Cunene), Cuito-Canavale e Menongue (K. Kubango).

Portanto, este cenário permanece muito parecido por mais um mês, sendo que embora alguma alteração nas zonas de adequação para o plantio em janeiro tenha ocorrido, nada de grande realce para ser descrito.

#### 4.2.1.6. CENÁRIO 6 - Plantio entre 1-10 Fevereiro.

Aqui o plantio tem início entre os dias 1-10 de fevereiro (Decêndio 2), e os 120 dias decorridos até exatamente o mês de junho. A representação das áreas encontra-se na Figura 36.

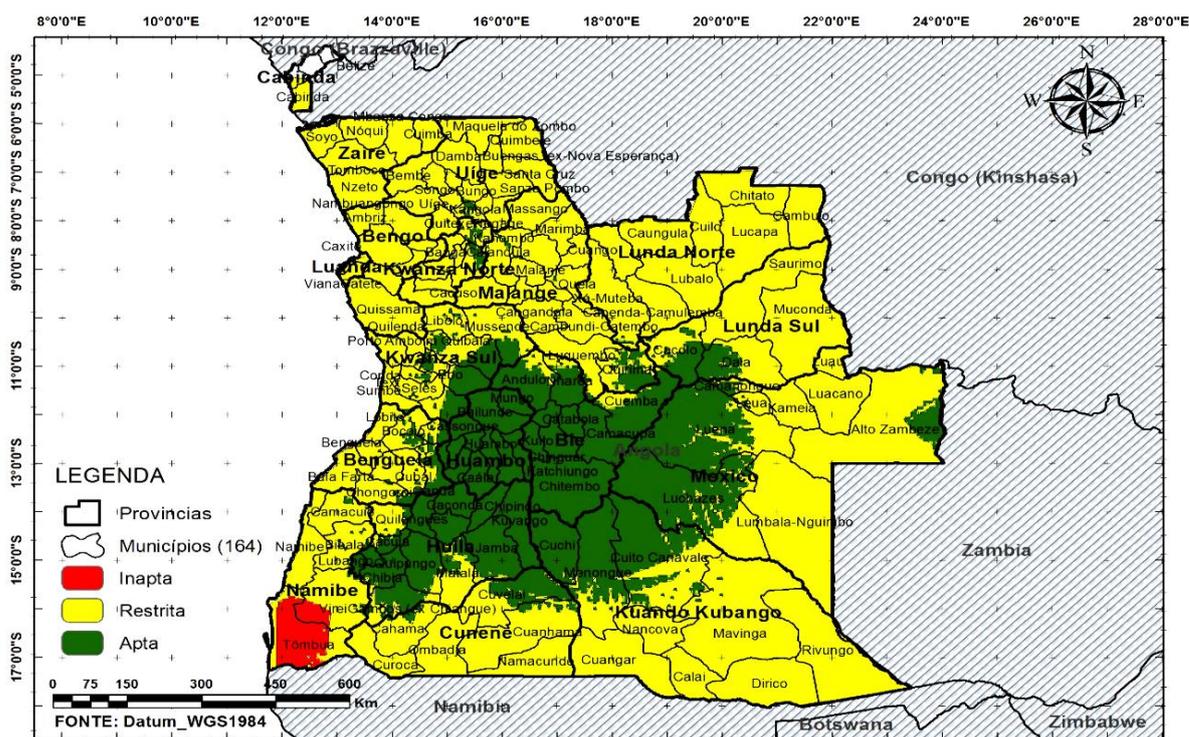


FIGURA 36 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 FEVEREIRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Na tabela 9 estão descritas as áreas abrangidas.

TABELA 9 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 FEVEREIRO

1 - 10 Fevereiro			
CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	14.387	14.387.019	1,15
Restrita	894.553	894.552.629	71,75
Apta	337.760	337.760.353	27,09
TOTAL	1.246.700	1.246.700.000	100

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Com o plantio começando em fevereiro e como se verifica na Tabela 9, contrariamente aos cenários 4 e 5, em que as regiões de aptidão tenderam a aumentar, aqui se verifica uma situação diferente. Ocorreu uma redução da área apta (348.564 km<sup>2</sup> para 337.760 km<sup>2</sup>) e estendendo a área restrita do sul em direção ao planalto central, e ao mesmo tempo que se aumentou a região inapta, o que significa que em termos de adequação os meses de dezembro e janeiro se caracterizaram como mais propícios para o plantio do milho em relação a fevereiro.

#### 4.2.1.7. CENÁRIO 7 - Plantio entre 1-10 Março.

Neste cenário pressupõe-se que o plantio tem início entre os dias 1-10 de março (Decêndio 3). E contabilizando os 120 dias de ciclo normal, este período vai terminar no mês de julho. A representação das áreas de aptidão da cultura é feita na Figura 37.



Cubal (Benguela) e a partir daí rumando para sul até a Chibia (Huila) numa área de 65.230.280 hectares (tabela 10). Essa situação torna 93,62 % do território nacional restrito ao cultivo com início em março, e 1,14 % do que sobra da região mais árida do país, na região do Tômbua e Virei (Namibe) como inadequadas para produzir milho.

#### 4.2.1.8. CENÁRIO 8 - Plantio entre 1-10 Abril.

Neste último cenário o plantio tem início entre os dias 1-10 de abril (Decêndio 4). E contabilizados os 120 dias de ciclo, o período termina no mês de agosto. A representação das áreas de cultura é apresentada na Figura 38.

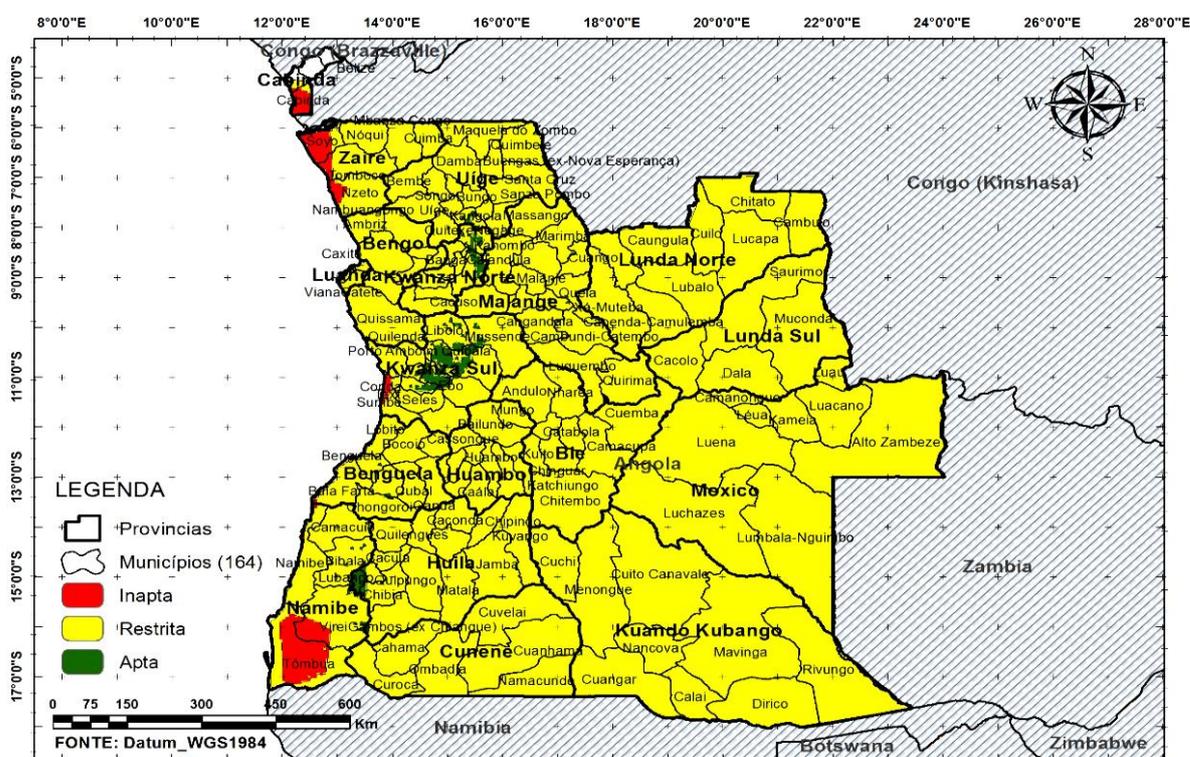


FIGURA 38 - ZONEAMENTO PARA O PLANTIO OCORRENDO ENTRE 1-10 ABRIL

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Os valores das áreas abrangidas estão apresentados na tabela 11 e ilustrados na Figura 39.

TABELA 11 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA PLANTIO ENTRE 1-10 ABRIL

1 - 10 Abril

CLASSES DE APTIDÃO	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (ha)	Porcentagem (%)
Inapta	19.950	19.950.056	1,60
Restrita	1.211.199	1.211.198.878	97,15
Apta	15.551	15.551.066	1,25
<b>TOTAL</b>	<b>1.246.700</b>	<b>1.246.700.000</b>	<b>100</b>

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Este cenário mostra que para o caso de Angola, uma safra de milho iniciada em Abril não completará o seu ciclo de cultura, o que estará sujeita a perdas consideráveis de produtividade. Isto significa, que é fortemente desaconselhável começar a safra nessa época, porque as regiões estudadas se apresentam quase na totalidade restritas e inaptas ao cultivo de milho.

Portanto, uma análise comparativa dos resultados para todos os cenários mediante linhas de tendências está apresentada na Figura 39.

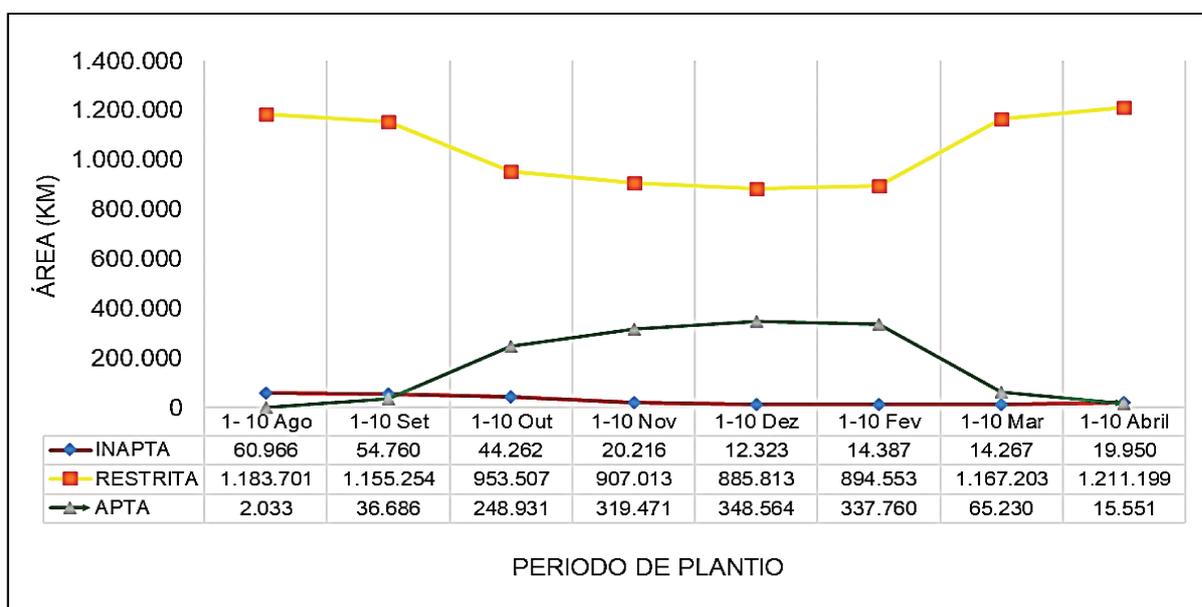


FIGURA 39 - ÁREAS TOTAIS DE APTIDÃO PARA AS POSSÍVEIS ÉPOCAS DE PLANTIO.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Observa-se que as regiões restritas ao cultivo de milho dominaram parte do território angolano. No entanto, a Figura 39 ilustra diminuição da área a partir de outubro, em detrimento das áreas aptas, porque exatamente neste período, as condições de adequação tiveram uma melhoria, tanto em termos hídricos, térmicos e de radiação. É normal pela variabilidade climática a nível temporal e espacial que varias regiões em um território estudado não se apresentam com valores semelhantes, o que justifica um estudo de zoneamentos agrícola para lidar com essas variabilidades e um melhor planejamento da lavoura.

Os fatores que justifiquem os resultados obtidos estão apresentados na secção a seguir em forma de discussão

#### 4.2.2. Discussão.

Os fatores mais limitantes para a produção de milho são o défice hídrico e adequação térmica, que na maior parte das vezes é condicionada pela distribuição das chuvas (ROUAULT & RICHARD, 2003; MOELETSI, 2010; NEAMATOLLAHI et al., 2012). A plantação no momento incorreto pode levar ao estresse de água em estágios iniciais da safra ou mesmo a uma perda total de colheitas, o que iria requer nova plantação, resultando num impacto econômico muito negativo (MOELETSI, 2010). Isto implica que a plantação é desejável quando o risco hídrico e térmico é baixo e a probabilidade de seca durante o período de crescimento é mínima (CEBALLOS-SILVA & LOPEZ-BLANCO, 2003; MOELETSI, 2010; NEAMATOLLAHI et al., 2012).

Os resultados obtidos nas simulações dos cenários obviamente são consequência desse conjunto de fatores. Estes expressos em forma de parâmetros climáticos fixos, ou seja, não apresentam variação no tempo (Estimativa I) e comumente por aqueles que variam ao longo do tempo (Estimativa II e Estimativa III).

Neste trabalho, pelo conjunto de parâmetros analisados é normal que aconteçam subjetividades, pois é comum que se em relação a um determinado atributo a cultura apresenta-se nos intervalos ótimos para crescer, para outro não se pode dizer o mesmo.

Portanto, uma comparação do comportamento dos parâmetros em relação às Nove regiões é apresentada na Figura 40.

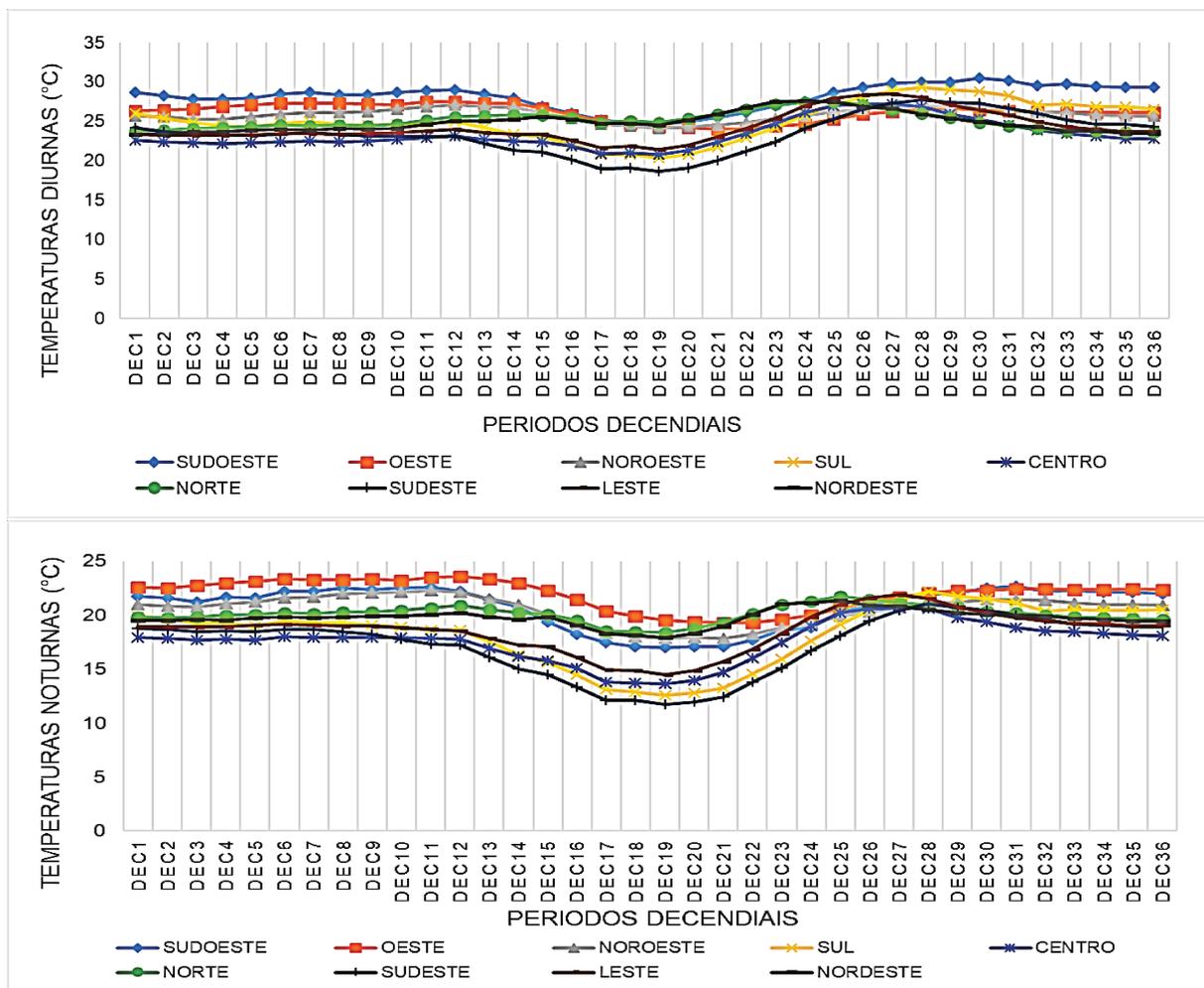


FIGURA 40 - VARIAÇÃO ESPACIO-TEMPORAL DAS DISPONIBILIDADES TÉRMICAS.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Pode-se observar na Figura 40 que a partir do decêndio 1 (primeira semana de janeiro) até aproximadamente no decêndio 12 (última semana de abril) as temperaturas diurnas e noturnas mostram-se quase contínuas, apresentando valores entre 22 - 30 °C e 18 - 24 °C respectivamente. Essa variabilidade temporal cria diferenças de adequação ao nível das várias regiões. Assim sendo, para esses valores resulta em uma condição ótima para a parte centro-sul e restrita para o centro-norte. A medida que se avança no tempo, a partir do decêndio 13 estes valores tendem a baixar consideravelmente, chegando a atingir aproximadamente 19°C para as temperaturas diurnas e 12°C para as temperaturas noturnas, que para a adaptabilidade do milho podem ser consideradas amenas. Essas temperaturas

tendem a crescer novamente a partir do decêndio 23 até atingir os limites térmicos máximos nos decêndios 34, 35 e 36 que correspondem ao mês de dezembro.

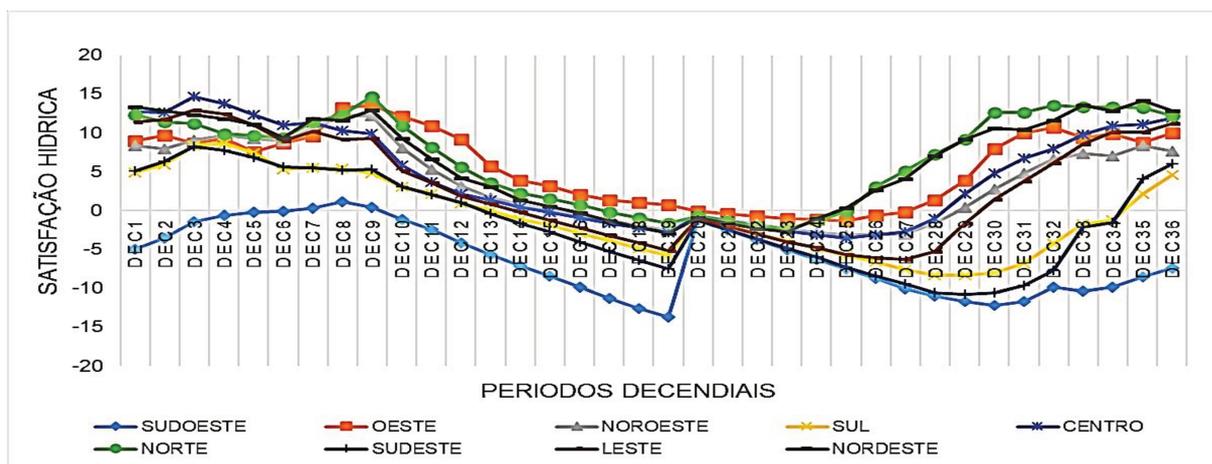


FIGURA 41 - VARIAÇÃO ESPACIO-TEMPORAL DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No entanto, relativamente à disponibilidade hídrica (Figura 41), a situação é análoga à variação térmica, sendo que ela apresenta uma condição de satisfação mais favorável nas primeiras semanas de janeiro e caindo consideravelmente nos meses de maio, e apresentando valores mais baixos para as regiões sudeste, sudoeste e sul.

Portanto, essa variabilidade temporal não acontece ao mesmo tempo e com a mesma amplitude para todas as regiões como pode ser observado no Figura 42.

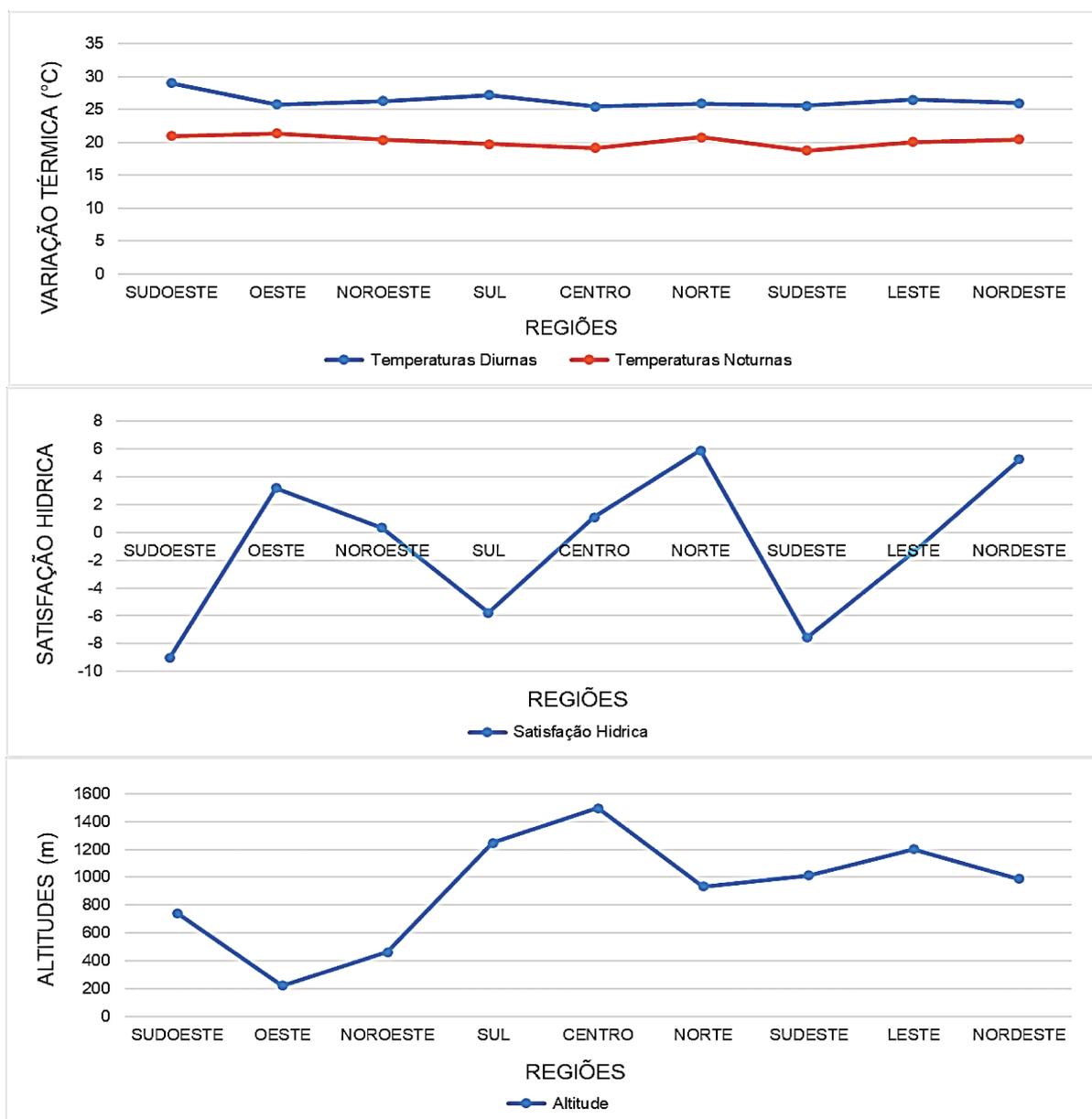


FIGURA 42 - VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 AGOSTO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

A Figura 42 mostra uma descrição das condições que lavaram aos resultados obtidos no cenário 1, onde se pressupôs que o plantio deve começar entre 1-10 de Agosto. Observa-se, que neste período não existem grandes variações térmicas ao nível das regiões, mas percebe-se que embora as temperaturas diurnas para todas as regiões estejam dentro do intervalo ótimo (25 – 30 °C), as temperaturas noturnas encontram-se fora do intervalo aceitável, sendo que nessas condições a cultura do

milho sofrerá pelas altas temperaturas noturnas ( $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), o que seria prejudicial, pois aumentaria o metabolismo da planta e consequente senescência.

Neste mesmo período as regiões sul, sodoete e sudeste passam por estresse hidrico. Já as restantes regiões, embora se apresentem com índices de satisfação hidrica e temperaturas diurnas aceitaveis, as altas temperaturas noturnas influenciadas pelas baixas altitudes (que variam entre 200 e 800 metros do nivel do mar), tornam essas regiões restritas para produzir milho.

No entanto, olhemos para a Figura 43.

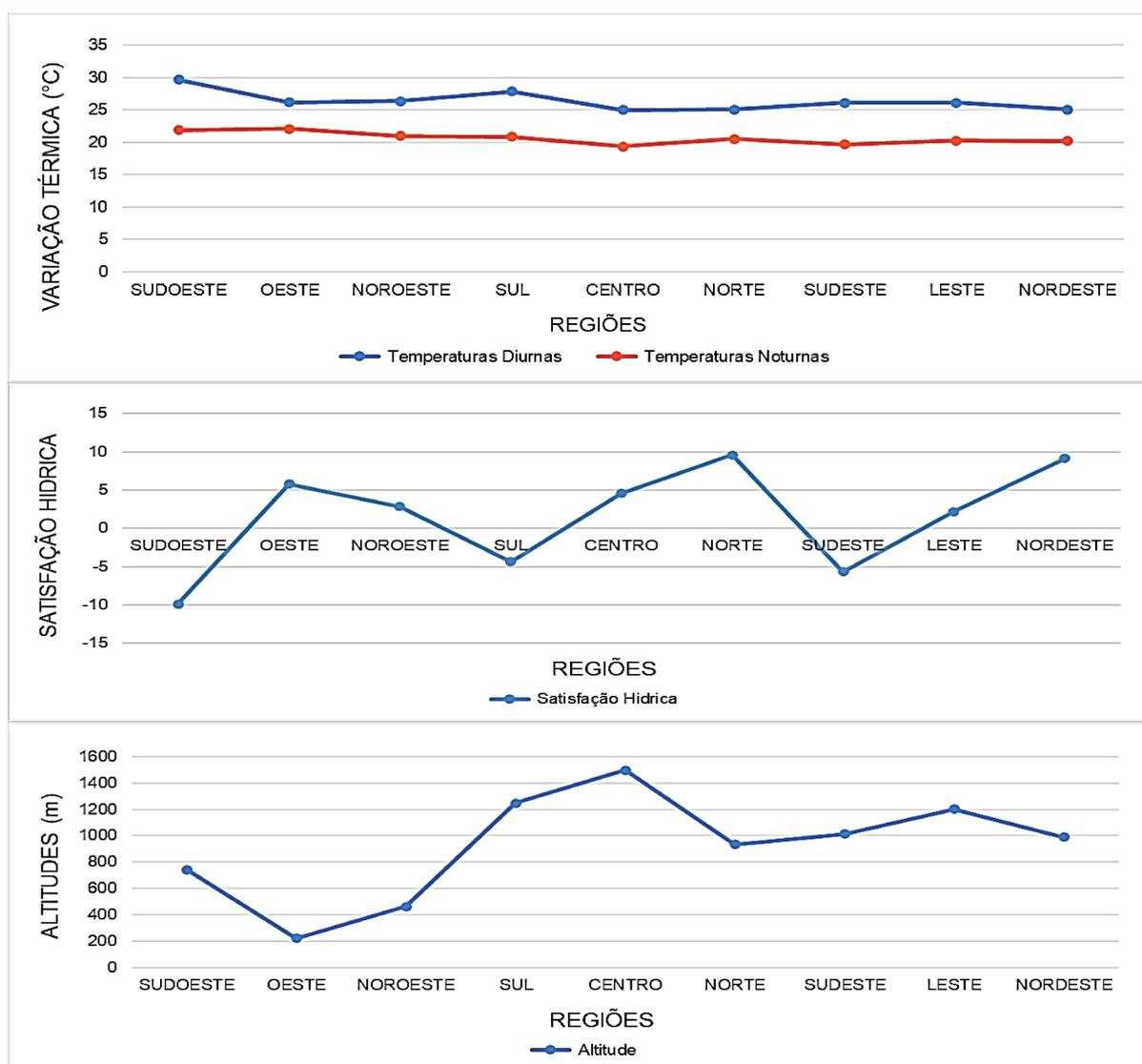


FIGURA 43 – VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 SETEMBRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Verifica-se na Figura 43 que com advento das chuvas no mês de setembro, a disponibilidade de água é incrementada e ocupa essencialmente as regiões do norte e nordeste do país. O aumento das chuvas viabiliza reduções de temperaturas, tanto diurnas como noturnas. Entanto, estas parcelas de território com exceção do centro, são constituídas por regiões de baixas altitudes, variando entre 200 e 700 metros, causando influência nos valores da temperatura, pois embora as variações térmicas diurnas estiveram entre 24 e 35 °C o que é boa para o milho, as noturnas encontram-se acima de 19 °C (consideradas elevadas) e assim faz com que o território angolano nesse período seja constituído, por regiões restritas<sup>6</sup> e inaptas<sup>7</sup>. A exceção da região central, mas concretamente nas partes oeste e norte das províncias do Huambo, cobrindo os municípios do Mungo, Bailundo, Ukuma e Tchinja, as temperaturas noturnas rodam em torno de 19 °C (Figura 43), e associados à altitude essas regiões foram consideradas ótimas para o plantio em setembro.

---

<sup>6</sup> Estendendo entre a costa marítima norte e as províncias das Lundas Sul e Norte (longitudinais) e de Cabinda ao Huambo (latitudinais).

<sup>7</sup> Desde a costa sul até as provinciais de Moxico (longitudinais) e Bie, Benguela ao Cunene K. Kubango (latitudinais).

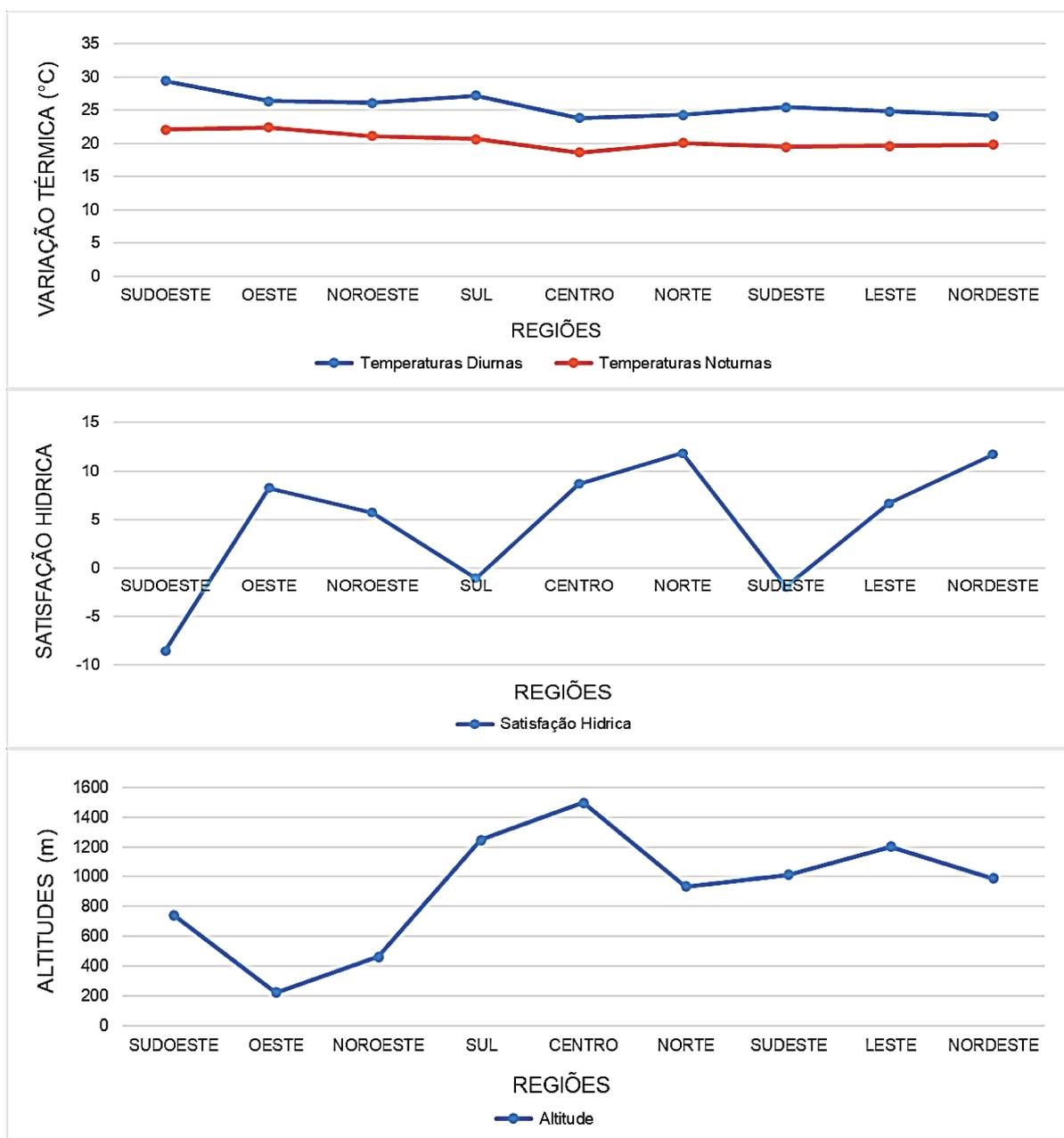


FIGURA 44 – VARIACÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 OUTUBRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

A medida que os dias vão se passando a precipitação vai se estabelecendo e conseqüentemente a disponibilidade hídrica. Essa condição altera também as variações térmicas. No entanto, com o plantio ocorrendo no 28º decêndio, as classes de adequação começam a dividir-se entre as três classes avaliadas, e verificando-se maior ampliação das áreas aptas em torno de 19,97 %. Observa-se na Figura 44, que para o norte, nordeste e oeste, embora a condição hídrica tenha melhorado, as

altitudes exercem influência sobre as temperaturas (essencialmente noturnas) e fazendo com elas sejam ainda altas (rondando em torno de 20 e 22 °C).

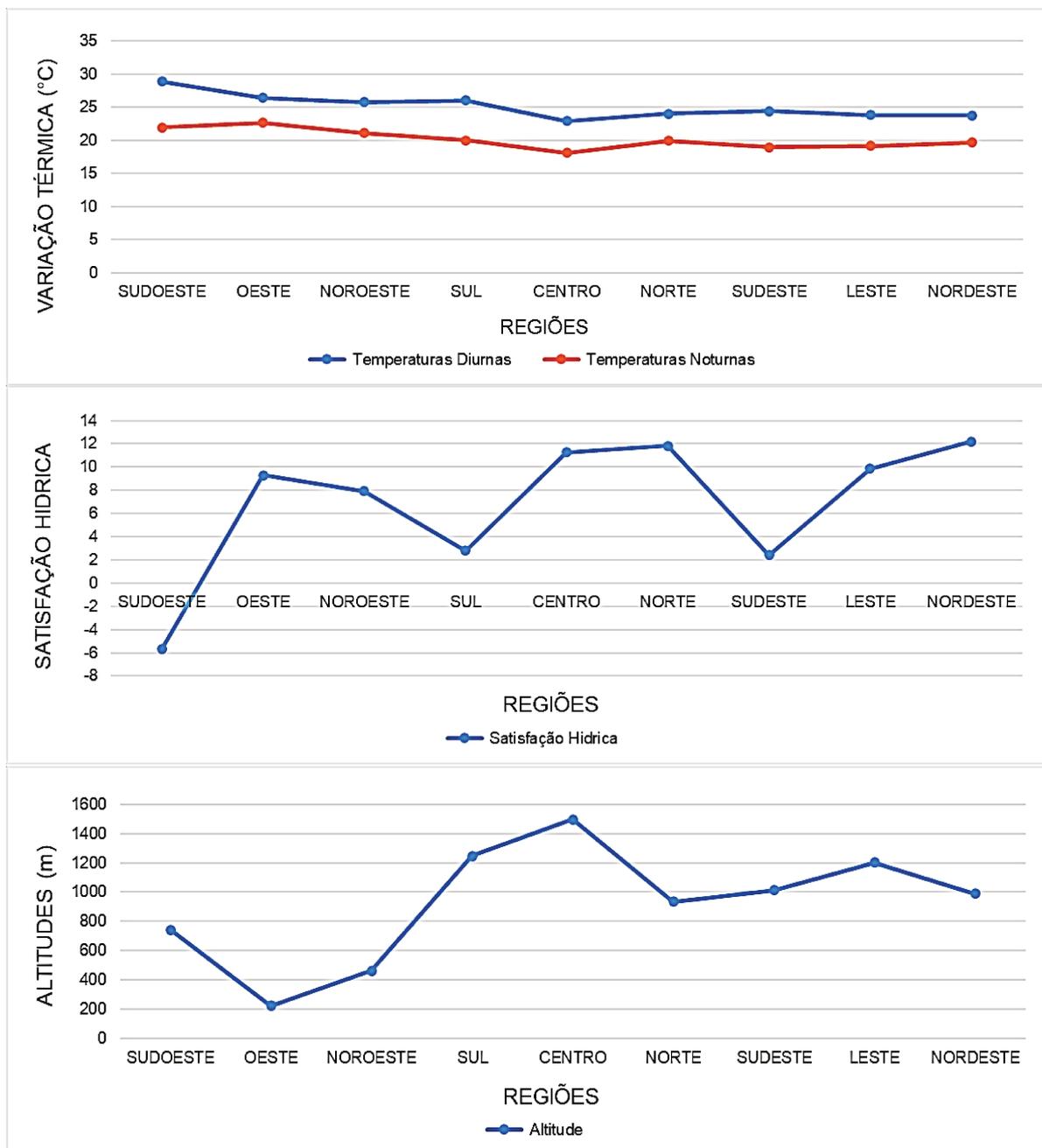


FIGURA 45 – VARIÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 NOVEMBRO.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No começo de novembro todo território nacional com exceção do planalto central apresenta-se com temperaturas noturnas acima de 20 °C (Figura 45),

tornando-as inaptas para o plantio. Mas pelo fato de o milho ser uma planta metabólica, ela precisa de altas temperaturas e radiação, durante o dia e temperaturas baixas a noite. Este fato prejudica as regiões centrais, sendo que pelas altas taxas de quedas pluviométricas, condicionam a penetração da radiação solar e resultam na baixa temperatura e incidência radiativa.

A partir do decêndio 34 a região apta se estende e atinge todo o planalto central, abrangendo grande parte das províncias do Huambo e Bie, prosseguindo pelo Nordeste da província da Huila, o Leste de Benguela, Sudeste do Kwanza-Sul, Sul de Malange e Lunda-Norte e finalmente a parte Oeste da Lunda-Sul. Apesar das condições de adequação melhorar consideravelmente pelo meio do período, as condições iniciais do período de simulação influenciam o resultado final, fazendo com que a região apta não se estendesse mais e ficasse limitada apenas por um pequeno território do planalto central.

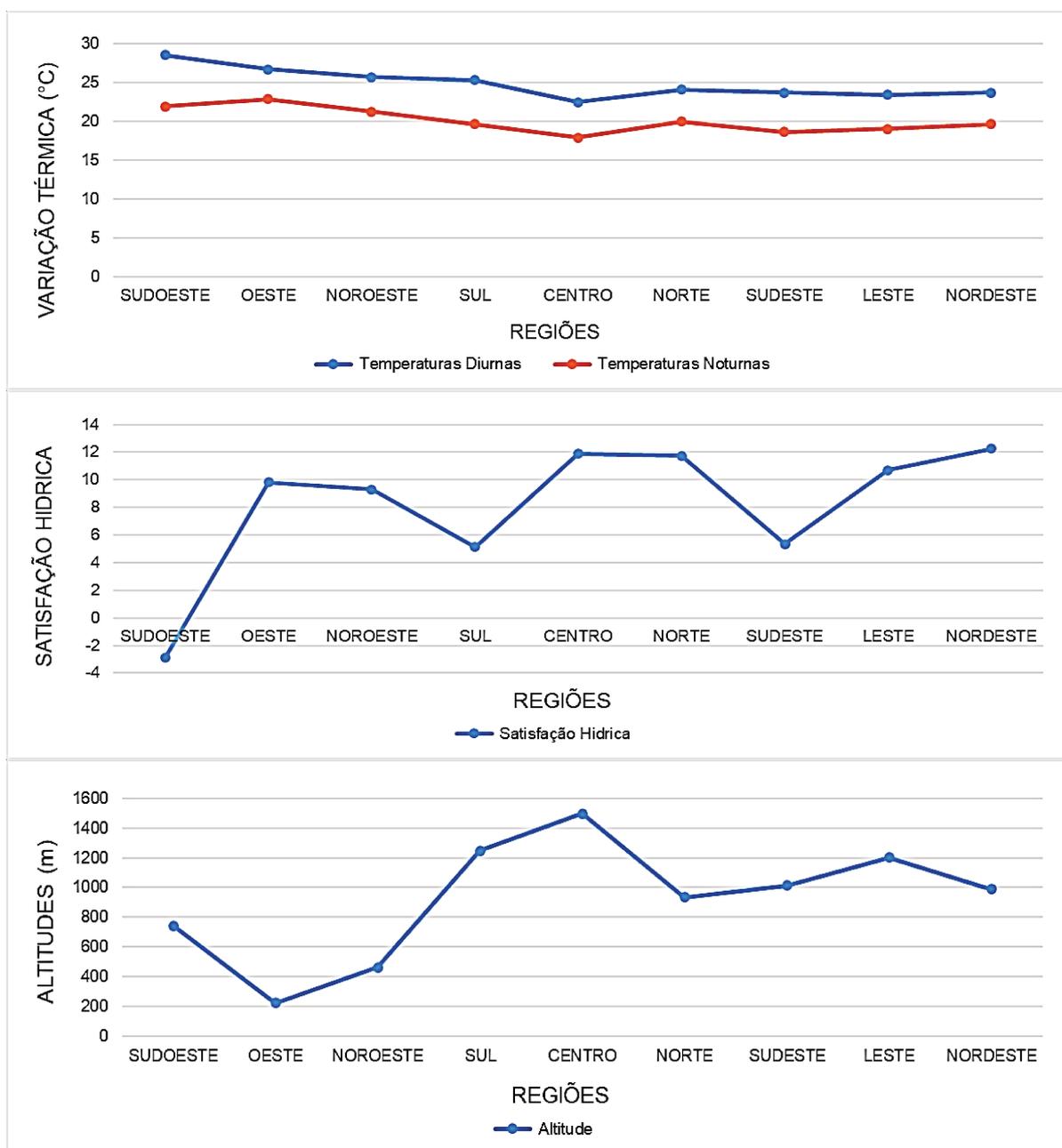


FIGURA 46 – VARIACÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 DEZEMBRO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Já no cenário 5 (Figura 46), embora ainda existam limitações hídricas na parte sul do país, a parte norte é moderadamente adequada. As temperaturas diurnas andam nos intervalos ótimos para a cultura (22 – 30°C), e as temperaturas noturnas entre 16 e 22 °C, sendo a zona ao longo da costa marítima a mais quente. Os dias vão passando e a situação vai melhorando, pois embora as temperaturas diurnas se

mantêm em parte do território, na região central por efeito da altitude, as temperaturas caem. E por efeito da melhoria da disponibilidade hídrica, essas regiões vão se tornando ótimas e se ampliando.

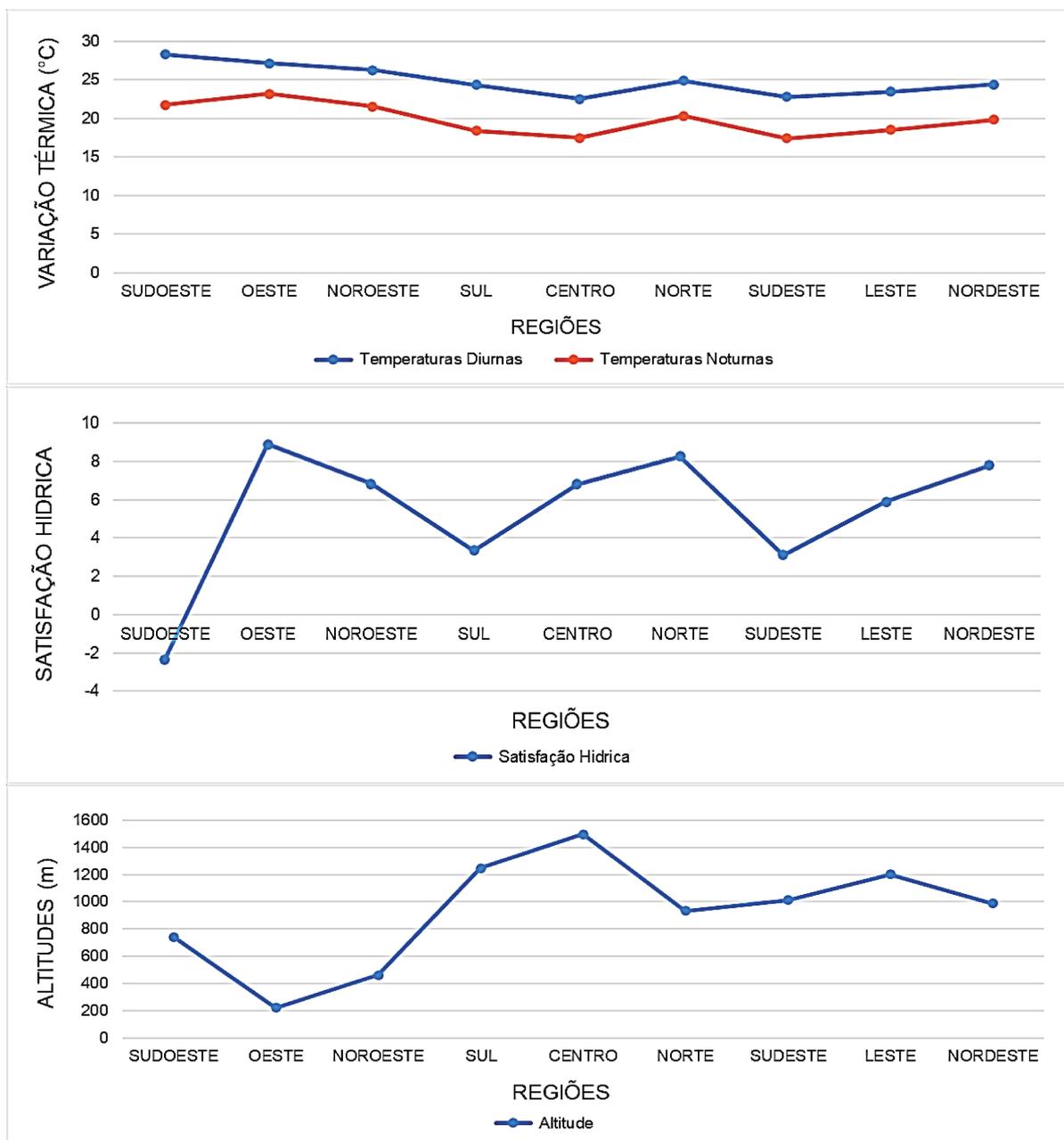


FIGURA 47 – VARIÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 FEVEREIRO.

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

No cenário 6 e caminhando para o cenário 7, toda a parte do planalto central de Angola, abrangendo as províncias do Huambo, Bie, Moxico, Lunda-Sul, Malange, Huila são dominadas por condições ótimas para o início do plantio, o que implica que nestas regiões a cultura completa o seu ciclo normal de 120 dias com um baixo risco climático. Todo o resto do território com exceção da parte sul das províncias do Namibe e Cunene foram consideradas restritas, pois além de possuírem disponibilidades hídricas elevadas, as temperaturas noturnas são também elevadas, essencialmente nas regiões costeiras (20 – 24 °C), o que inviabiliza o cultivo de milho. As províncias do Cunene e Namibe são dominadas por climas áridos de fortes secas e com temperaturas elevadas e por isso foram consideradas inaptas e improvável ao cultivo do milho.

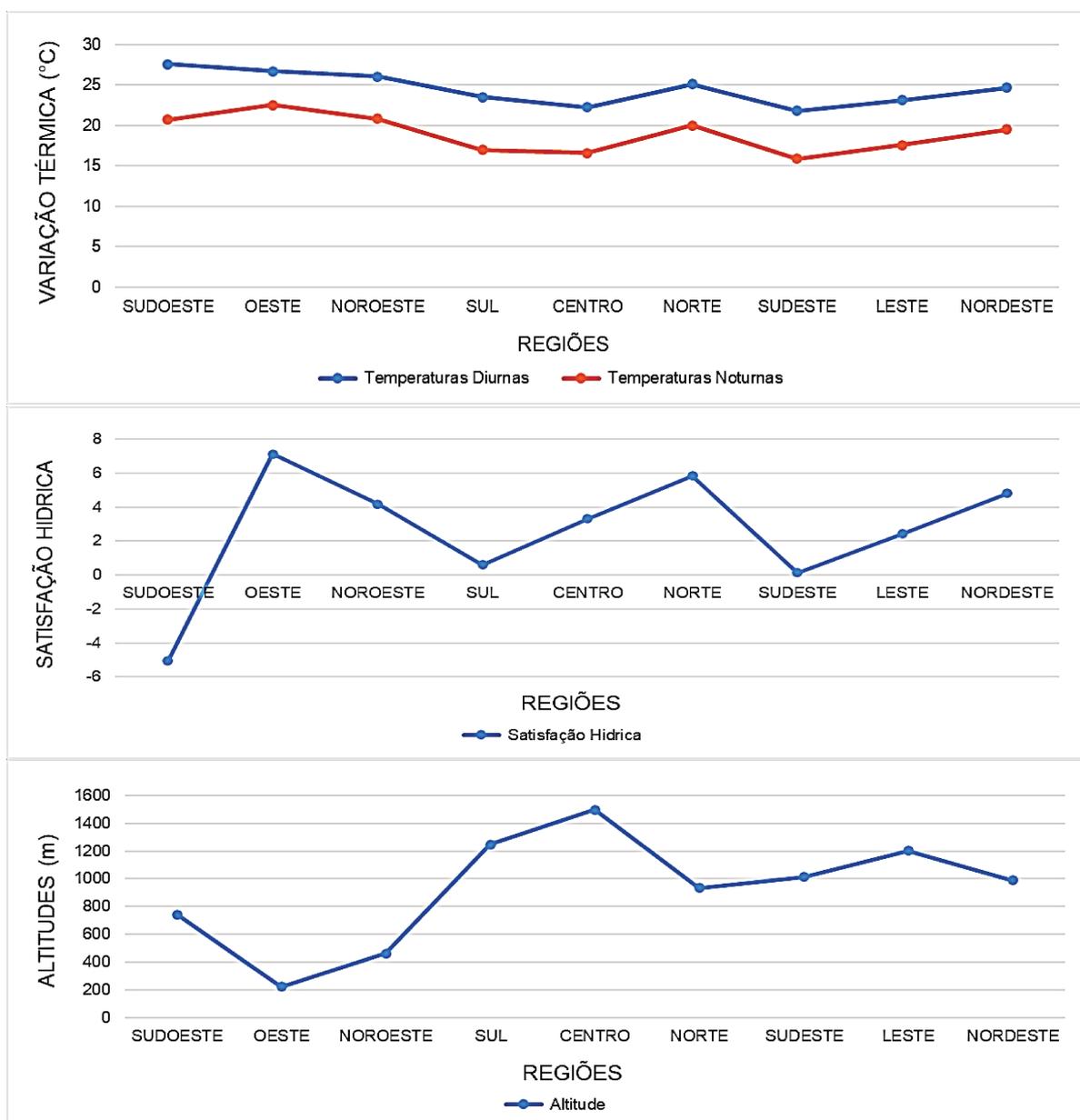


FIGURA 48 - VARIACÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 MARÇO

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Chegando nos resultados do cenário 7 (Figura 48) quase não existe aptidão ótima para o milho, limitando-se apenas a um pequeno pedaço do território na província do Kwanza Sul, nomeadamente nos municípios da Quibala, Waku-Kungo, Seles, e nas províncias do Huambo, partes Noroeste, nomeadamente no Mungo, Bailundo e Ekunha. O que justifica as condições hídricas e temperaturas noturnas estarem dentro do intervalo ótimo é que talvez tenha surgido uma frente fria na região ou mesmo pelas altitudes prevalentes (Figura 48).

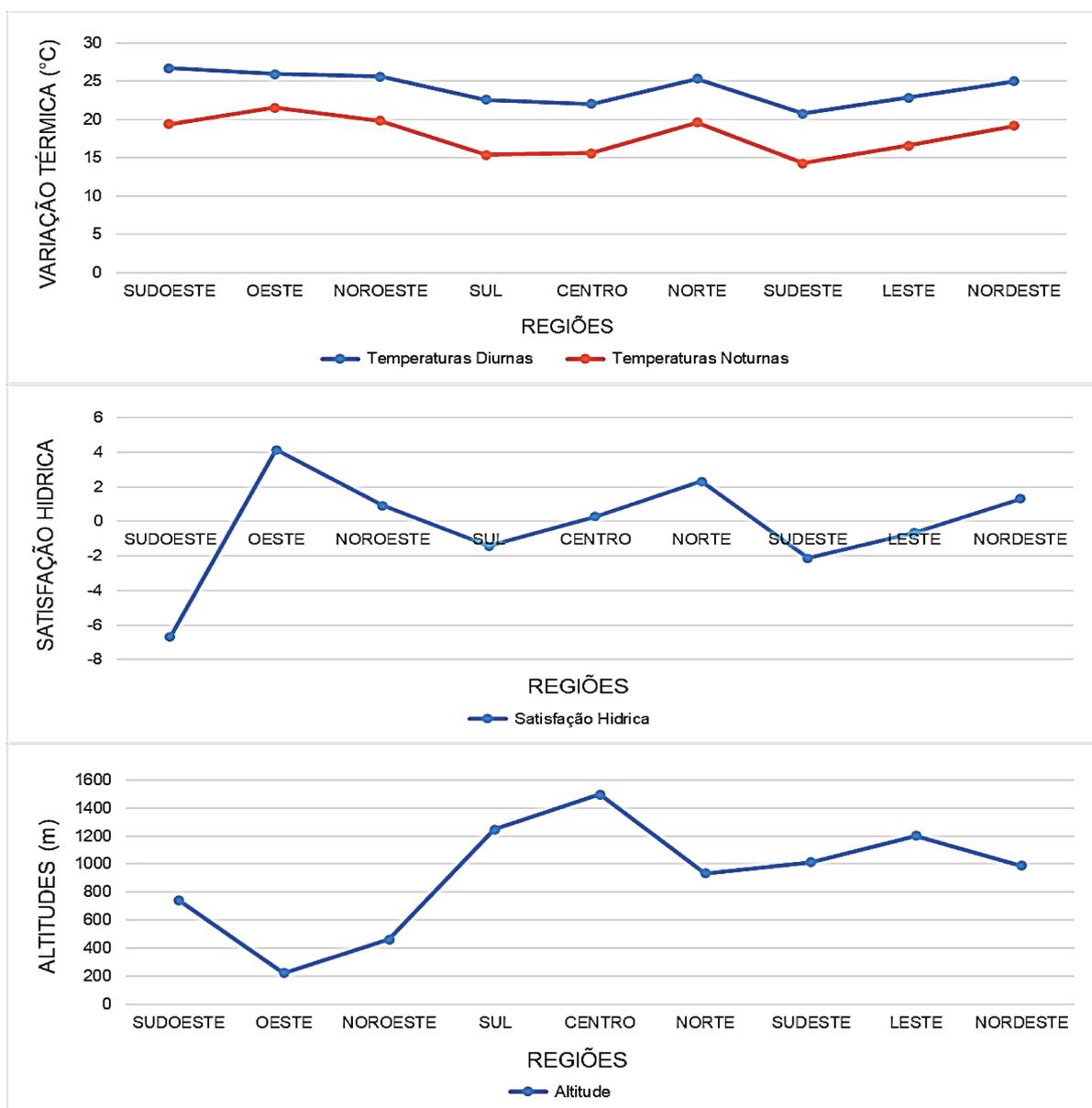


FIGURA 49 - VARIAÇÃO ESPACIAL DAS ESTIMATIVAS P/ O PLANTIO ENTRE 1 - 10 ABRIL

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Finalmente no último período observa-se um cenário que explica a impossibilidade de fazer mais simulações. Se verifica que a partir do mês de abril é completamente desaconselhável o início de qualquer safra de 120 dias de milho, pois embora a aptidão seja restrita na maioria das regiões, existe fortes riscos de perdas de investimentos, porque mesmo com a adequação de um ou outro atributo, no cômputo geral não é possível atender a todos os requisitos o que inviabilizaria o cultivo nessa época.

## 5. CONCLUSÕES.

Esse trabalho demonstrou que o milho possui grande adaptabilidade, encontrando-se em diversos climas como tropicais, subtropicais e temperados, por isso seu cultivo é realizado em boa parte das regiões do mundo. As diferenças verificadas nos resultados dos estudos de zoneamento, quando comparadas às áreas de aptidão podem estar associados ao fato das regiões apresentarem características climáticas e edáficas muito heterogêneas.

Para o caso específico de Angola, o planalto central que abrange maioritariamente as provinciais do Huambo, Bié, Huíla e Kuando Kubango domina em todos os períodos o quadro das melhores adequações para cultura do milho, o que justifica hoje nessas regiões a existência de certa tradição de cultivo. Nas outras áreas da maioria do território, essencialmente ao redor da região central apta foram definidas como restritas ao cultivo. As áreas inaptas para o cultivo ocorreram de maneira mais expressiva nas regiões do Sul e Sudoeste do país e ao longo da faixa litorânea, onde as elevadas taxas de evapotranspiração condicionam o desenvolvimento da cultura.

Os períodos de plantio começam normalmente em agosto e vão até abril, sendo que o período de maior adequação ocorre nos meses de dezembro e janeiro, pois a condição apta abrange uma grande área da extensão territorial. Já o plantio ocorrendo em abril, as áreas de adequação são limitadas, representando um pequeno pedaço de terra que abrange os municípios de Quibala, Ebo e Conda (Kwanza Sul), e que a partir de maio é totalmente desaconselhável o plantio por todo território nacional de Angola.

Em relação a causa-efeito, as áreas aptas foram principalmente consequência das altitudes, das propriedades do solo, valores da precipitação, baixa transpiração das plantas e maior capacidade de retenção de água no solo, que exerceram influência positiva sobre a variabilidade térmica e disponibilidade hídrica, resultando em temperaturas altas durante o dia e baixas ao longo da noite e maior disponibilidade de água. As regiões restritas foram maioritariamente limitadas pelo fator hídrico e térmico noturno, o qual ocorre de maneira mais expressiva nas regiões do Sudoeste do país e ao longo da faixa litorânea, que pelas taxas de evapotranspiração condicionam o clima semiárido.

Assim após definidas as regiões e épocas de plantio, em função de uma estrutura de planejamento para a tomada de decisão agrícola foram definidas as épocas para planejamento da safra (pré-cultivo), época de plantio propriamente dita e período de colheita e consumo (pós-colheita). No pré – cultivo se antevê as condições de semeadura, antecipando os padrões de chuvas incertos das próximas estações de crescimento, e pelo fato não existirem condições para a semeadura, foi definido para o planejamento da safra, correspondendo a exatamente 60 dias. O período de cultivo começa com o início da semeadura, representando as primeiras 10 semanas da estação de crescimento após a semeadura, e tendo em conta os padrões reais observados para as decisões tomadas no primeiro período, novas decisões devem ser tomadas para contrapor as situações mal previstas ou de certa forma consideradas inesperadas. O pós-cultivo, começa com início da colheita - período de consumo alvo. Este período é definido em função da distribuição das densidades pluviométricas, prevendo uma máxima colheita com o mínimo de densidade de água nas sementes. Mediante os níveis de colheita, as decisões são tomadas neste período em relação ao consumo, armazenamento, vendas e compras. Vale realçar que pela abrangência da área, pelo detalhamento dos dados e bases utilizadas, torna muito difícil prever com exatidão os períodos em que as situações de decisão, relativamente as decisões de pré-cultivo, e colheita acontecem, pois esses aspectos dependem muito do detalhe da análise da distribuição da densidade e ocorrência pluviométrica, para a manutenção ideal da porção de umidade no momento da colheita, pois reconhece-se que ele pode estar desfavorável em relação ao desbalanceamento hídrico, pelo excesso de umidade.

Portanto, pode-se considerar que os objetivos do trabalho foram atendidos, pois ao definir a alocação de terras às regiões mais aptas para o desenvolvimento do milho por época de plantio, pelas condições naturais do ambiente, aloca-se benefícios aos agricultores pobres à pesquisa e desenvolvimento agrícola, funcionando como base de uma abordagem que permite utilizar e aproveitar os recursos já disponíveis: pessoas locais, seus conhecimentos e seus recursos autóctones. Criando também condições e ponto de partida para se atingir grandes produtividades, e com isso, mitigar os problemas de disponibilidade alimentar persistentes em Angola.

O modelo se mostrou adequado, porque comparativamente ao Brasil, que foi utilizado como a região de referência para esse estudo, pela semelhança climática

e posicionamento geográfico, as regiões determinadas como mais aptas para o cultivo de milho em Angola, coincidem em linha latitudinal ao longo do equador com os estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais e Tocantins, que representam para o Brasil os maiores produtores de grãos, particularmente do milho.

Portanto, estão aqui propostas diretrizes para o melhoramento da produtividade nacional desse produto, restando apenas a adoção das melhores políticas agrícolas a fim de se obter a autossuficiência do produto. Existem grandes dificuldades em encontrar dados em Angola, pela questão da literatura e estatística que quase não existe. Para estudos como esse é necessário que a literatura seja local, pois aumenta a aproximação à realidade. É necessário que se façam mais investimentos em educação, se desenvolvam mais estudos científicos, se melhorem as infraestruturas de maneira geral que irá resultar em um maior desenvolvimento humano e tecnológico, e maior estabilidade econômica, resolvendo vários problemas que o país enfrenta.

## 5.1. OPORTUNIDADES FUTURAS

A existência de uma rede de estações meteorológicas no país, para coleta e análise de dados meteorológicos é uma questão que merece atenção, pois impossibilita a realização de estudos em menor escala, capaz de revelar pequenas regiões com aptidões climáticas diferentes daquelas apresentadas no presente zoneamento. Informações mais detalhadas sobre os diferentes tipos de solos facilitam a realização de um zoneamento capaz de identificar com maior precisão as áreas mais indicadas para o cultivo do milho no território.

O manejo e tecnologia podem melhorar as áreas de aptidão para reforçar os indicadores agroecológicos, que podem ajudar simultaneamente no fortalecimento de outros indicadores, como os custos de energia não convencionais, a autossuficiência e melhoramento das propriedades do solo.

Portanto, estudos que englobam esses aspectos podem ser desenvolvidos em oportunidades futuras, acrescentando também análises mais realistas e locais das propriedades químicas da base do solo e de dados meteorológicos, para que os resultados deste e outros trabalhos de zoneamento viabilizem o desenvolvimento da cultura do milho e todas as outras culturas de lavoura (cereais, leguminosas, etc.) e

culturas perenes (café, frutos, etc.) pastagens e entre outras. Em relação as áreas de utilização especial, como áreas habitacionais, áreas de reservas naturais e de proteção, elas podem ser incluídas no modelo quando ele estiver bem definido, servindo também para apontar as áreas onde devem ser instaladas estações que medem o índice pluviométrico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, P. K. (1993). Agro-ecological zoning using crop growth simulation models: characterization of wheat environments of India. In *Systems approaches for agricultural development* (pp. 97-109). Springer Netherlands;
- Ahumada, O., & Villalobos, J. R. (2009). Application of planning models in the agrifood supply chain: A review. *European journal of Operational research*, 196(1), 1-20.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO, Rome, 300(9), D05109;
- Altieri, M. A. (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, ecosystems & environment*, 93(1), 1-24;
- Alvarenga, R. C., Novotny, E. H., Pereira Filho, I. A., Santana, D. P., Pereira, F. T. F., & Hernani, L. C. (2010). *Cultivo do milho*. J. C. C. Cruz (Ed.). Embrapa Milho e Sorgo
- Andrade Júnior, A. S., Sentelhas, P. C., de Lima, M. G., Aguiar, M. D. J. N., & Leite, D. A. S. R. (2001). Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí;
- Askari, H., & Cummings, J. T. (1977). Estimating agricultural supply response with the Nerlove model: a survey. *International economic review*, 257-292;
- Assad, E. D.; Pinto, A. C.; Assad, M. L. L.; Evangelista, B. A.; Moreira, L.; Bezerra, H. S.; Cardoso, E. A.; Secretaria Do Planejamento E Meio Ambiente (SEPLAN). Diretoria De Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE) (2004). Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico. Zoneamento Agrícola do Norte do Estado do Tocantins. Org. por Expedito Alves Cardoso. Palmas, Seplan/DZE, 2004. 160p., ilustr. Séries ZEE - Tocantins / Bico do Papagaio / Zoneamento Agrícola;
- Assad, E.D. (1999). Metodologias para zoneamento de riscos climáticos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIAO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis, SC. Programa e resumo dos anais. [Florianópolis]: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.79-85. Biblioteca(s): Embrapa Cerrados.
- Bahia Filho, A. F.C., Vasconcellos, C. A., dos Santos, H. L., de França, G. E., & Pitta, G. V. E. (1983) "Nutrição e adubação do milho". EMBRAPA — Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo ISSN 0100-8013, Sete Lagoas, MG.
- Bakker, M. M., Govers, G., Ewert, F., Rounsevell, M., & Jones, R. (2005). Variability in regional wheat yields as a function of climate, soil and economic variables: assessing the risk of confounding. *Agriculture, ecosystems & environment*, 110(3), 195-209;
- Barros, J. F. C., Calado J. G. (2014). *A Cultura do Milho*. Escola de Ciências e Tecnologia- Departamento De Fitotecnia, Universidade de Évora
- Battaglia, M., Mummery, D., & Smith, A. (2002). Economic analysis of site survey and productivity modelling for the selection of plantation áreas. *Forest Ecology and Management*, 162(2), 185-195.
- Berto, R. M. V. S., & Nakano, D. N. (1998). Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 18, 1998
- Biswas, A., & Pal, B. B. (2005). Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. *Omega*, 33(5), 391-398.

- Bouman, B. A. M., Van Keulen, H., Van Laar, H. H., & Rabbinge, R. (1996). The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems*, 52(2-3), 171-198;
- Casagrande, A., & Fadum, R. E. (1940). Notes on soil testing for engineering purposes
- Casali, A. O., Detmann, E., Valadares Filho, S. D. C., Pereira, J. C., Henriques, L. T., Freitas, S. D., & Paulino, M. F. (2008). Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(2), 335-342
- Cauchick Miguel, P. A. Fleury, A.; Pereira Mello, C. H.; Nakano, D. N.; De Lima, E. P.; Turrioni, J. B.; Lee Ho, L.; Morabito, R. (2012). Metodologia de pesquisa para engenharia de produção e gestão de operações [recurso eletrônico] – Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.
- Ceballos-Silva, A., & Lopez-Blanco, J. (2003). Delineation of suitable áreas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, 77(2), 117-136
- CEIC - Centro de Estudos e Investigação Científica (2016) da Universidade Católica de Angola. "Relatório Econômico De Angola" 2015.
- CEIC- Centro de Estudos e Investigação Científica (2016b) da Universidade Católica de Angola. "Relatório Social de Angola" 2015;
- Coelho, A. M., França, G. D., Pitta, G. V. E., & Alves, V. M. C. (2006). Nutrição e adubação do milho.
- Cruz, J. C., Magalhaes, P., Pereira Filho, I. A., & Moreira, J. (2011). Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Embrapa Milho e Sorgo-Colec Criar, Plantar, ABC, 500P/500R (INFOTECA-E.
- Cruz, J. C.; Filho, I. A. P.; Alvarenga, R. C.; Neto, M. M. G. (2010) Plantio do Milho e Sorgo Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.
- D'Urso, G. (2010). Current status and perspectives for the estimation of crop water requirements from Earth Observation. *Italian Journal of Agronomy*, 5(2), 107-120.
- De la Casa, A. C., & Ovando, G. G. (2014). Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 195, 1-11.
- DehghaniSanij, H., Yamamoto, T., & Rasiah, V. (2004). Evaluation of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural water management*, 64 (2), 91-106;
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage paper*, 33, 257.
- Durães, F.O.M. (2007). Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2007\\_1/limitemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm)>. Acesso em: 3/11/2017;
- Durães, F.O.M.; Corrêa, L.A.; Cruz, J.C.; Oliveira, A.C.; Magalhães, .C.; Shanahan, J.F. (2002). Estabilidade do rendimento e tolerância a estresses em genótipos de milho cultivados nas regiões Centro e Sul do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., , Florianópolis, SC. Meio ambiente e a nova agenda para o agronegócio de milho e sorgo... Resumos expandidos. Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/EPAGRI, 2002a. CD-ROM. Seção Trabalhos.
- Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234-245.

- Falasca, S. L., Ulberich, A. C., & Ulberich, E. (2012). Developing an agro-climatic zoning model to determine potential production áreas for castor bean (*Ricinus communis* L.). *Industrial Crops and products*, 40, 185-191;
- Fao- aquastat (2005) Angola, Géographie, climat et population. AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO);
- Fao, I., & Isric, I. (2012). JRC: Harmonized World Soil Database (version 1.2), Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria;
- Fischer, G., Nachtergaele, F. O., Prieler, S., Teixeira, E., Tóth, G., Van Velthuisen, H., ... & Wiberg, D. (2012). *Global Agro-ecological Zones (ZAEZ v3. 0) -Model Documentation*.
- Gadgil, S., Rao, P. S., & Rao, K. N. (2002). Use of climate information for farm-level decision making: rainfed groundnut in southern India. *Agricultural Systems*, 74(3), 431-457;
- GEPE-MINAGRI – Gabinete de Estudos e Planeamento do Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural (2016), “Resultados das Campanhas Agrícolas 2005-2015” – GEPE – MINAGRI- Versão Preliminar - 9ª Versão;
- Giné, X., Townsend, R. M., & Vickery, J. (2007). Rational expectations? Evidence from planting decisions in semi-arid India. Manuscript. World Bank, Washington, DC
- Hafner, S. (2003). Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. *Agriculture, ecosystems & environment*, 97(1), 275-283;
- Hammond, R. A., & Dubé, L. (2012). A systems science perspective and transdisciplinary models for food and nutrition security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 12356-12363.
- Hansen, H. P. and Koroleff, F. (1999) Determination of nutrients, in *Methods of Seawater Analysis*, Third Edition (eds K. Grasshoff, K. Kremling and M. Ehrhardt), Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. Doi: 10.1002/9783527613984.ch10.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Evapotranspiration of the reference temperature culture. *Applied engineering in agriculture*, 1 (2), 96-99;
- Henriques, I. D. C., Moreira, I., & Monteiro, A. (2010). Comportamento de cultivares de milho quanto ao rendimento e susceptibilidade a pragas e doenças na província do Huambo (Angola). *Revista de Ciências Agrárias*, 33(2), 244-254.
- INEA - Instituto nacional de Estatística de Angola, (2016). RESULTADOS DEFINITIVOS RECENSEAMENTO GERAL DA POPULAÇÃO E HABITAÇÃO – 2014, Luanda – Angola;
- Jensen, C. R., Mogensen, V. O., Poulsen, H. H., Henson, I. E., Aagot, S., Hansen, E., ... & Wollenweber, B. (1998). Soil water matric potential rather than water content determines drought responses in field-grown lupin (*Lupinus angustifolius*). *Functional Plant Biology*, 25(3), 353-363)
- Jensen, ME, Burman, RD, & Allen, RG (1990). Requirements for evapotranspiration and irrigation water. ASCE;
- Jozi, S. A., & Ebadzadeh, F. (2014). Application of multi-criteria decision-making in land evaluation of agricultural land use. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(2), 363-371.
- Kinsey, J. D. (2001). The new food economy: consumers, farms, pharms, and science. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(5), 1113-1130.
- Landau, E. C.; Sans, L. M. A.; Santana, D. P. (2010). *Ecofisiologia do Milho. Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção*, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.

- Landau, S., Mitchell, R. A. C., Barnett, V., Colls, J. J., Craigon, J., & Payne, R. W. (2000). A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. *Agricultural and forest meteorology*, 101(2), 151-166;
- Lapen, DR, Topp, GC, Gregorich, EG, & Curnoe, WE (2004). Watershed indicators less restrictive of soil quality and maize production, eastern Ontario, Canada. *Research on Soils and Labor*, 78 (2), 151-170.
- Li, X., Zhang, L. M., & Fredlund, D. G. (2009). Wetting front advancing column test for measuring unsaturated hydraulic conductivity. *Canadian Geotechnical Journal*, 46(12), 1431-1445;
- Li, Z. L., Tang, R., Wan, Z., Bi, Y., Zhou, C., Tang, B., ... & Zhang, X. (2009). A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data. *Sensors*, 9(5), 3801-3853;
- Lobell, D. B., & Asner, G. P. (2003). Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science*, 299(5609), 1032-1032;
- Maatman, A., Schweigman, C., Ruijs, A., & van Der Vlerk, M. H. (2001). Modeling farmers' response to uncertain rainfall in Burkina Faso: A stochastic programming approach. *Operations Research*, 50(3), 399-414;
- Magalhães, P. C., & Durães, F. O. (2006). *Fisiologia da produção de milho*. Embrapa Milho e Sorgo.
- Magalhães, P. C., Souza, T., & Gomes Junior, C. C. (2012) Caracterização ecofisiológica e produção de grãos de dois híbridos de milho contrastantes a seca. In Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, Águas de Lindóia. Diversidade e inovações na era dos transgênicos: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2012.
- Magalhães, P. C.; Durães, F. O.M., (2010). *Clima e solo*. Embrapa Milho e Sorgo Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.
- Maluf, J. R., Matzenauer, R., & CAIAFFO, M. (1995). Zoneamento agroclimático da cultura do milho por épocas de semeadura no estado do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Ciência e Tecnologia, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária.
- Maluf, R., Menezes, F., & Marques, S. B. (2000). *Caderno "Segurança Alimentar"*. Paris: Fhp.
- McKenney, MS, & Rosenberg, NJ (1993). Sensitivity of some methods of estimation of potential evapotranspiration for climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 64 (1-2), 81-110;
- Moeletsi, M. E., & Walker, S. (2012). A simple agroclimatic index to delineate suitable growing areas for rainfed maize production in the Free State Province of South Africa. *Agricultural and forest meteorology*, 162, 63-70;
- Mohamed, A. A., Rangkakulnuwat, P., & Paweenawat, S. W. (2016). Decomposition of agricultural productivity growth in Africa. *African Journal of Economic and Management Studies*, 7(4), 497-509.
- Monteiro, J. E. (2009). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*, Brasília, DF: INMET, 530 p.: ISBN: 978-85-62817-00-7;
- Neamatollahi, E., Bannayan, M., Jahansuz, M. R., Struik, P., & Farid, A. (2012). Agro-ecological zoning for wheat (*Triticum aestivum*), sugar beet (*Beta vulgaris*) and corn (*Zea mays*) on the Mashhad plain, Khorasan Razavi province. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(1), 99-112
- Ngolo, A. O. (2014), *Zoneamento agroclimático para cultura do café em Angola*, Dissertação de Mestrado-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

- Oliveira Santos, W., Sobrinho, J. E., de Medeiros, J. F., de Moura, M. S. B., & da Costa Nunes, R. L. (2014). Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. *Irriga*, 19(4), 559.
- Oliveira, D. D. P. R. D. (2004). *Sistemas de informações gerenciais: estratégicas, táticas, operacionais*. São Paulo: Atlas;
- Pacheco, F. (2009). Civil society in Angola: Fiction or agent of change. *Southern Africa. Civil society, politics and donor strategies*, 123-134.
- Pereira, L. C. & F.L. Neto (2004). Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica-Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 36 p.-- (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43). ISSN 1516-4691;
- Perez, C. L., & Leclerc, G. (2000). *Quantifying sustainable development: the future of tropical economies (Vol. 1)*. Academic Press
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., ... & Blair, R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science-AAAS-Weekly Paper Edition*, 267(5201), 1117-1122;
- Ramalho Filho, A. & Pereira, L. C. (1999). *Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação* - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 1999., 36p. - Embrapa Solos. Documentos;
- Ramalho Filho, A., Da Motta, P., Freitas, P., & Teixeira, W. (2010). *Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.
- Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. (1995) "Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras". 3. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 65 p.
- Reshmidevi, T. V., Eldho, T. I., & Jana, R. (2009). A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural systems*, 101(1), 101-109
- Saak, A. E., & Hennessy, D. A. (2002). Planting decisions and uncertain consumer acceptance of genetically modified crop varieties. *American Journal of Agricultural Economics*, 84(2), 308-319;
- Salinger, M. J., Stigter, C. J., & Das, H. P. (2000). Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1), 167-184.
- Sans, L. M. A., & Guimarães, D. P. (2006). *Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho*. Embrapa Milho e Sorgo.
- Sans, L. M. A., & Guimarães, D. P. (2010). *Zoneamento agrícola de riscos climáticos para a cultura do milho*. Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6ª edição.
- Singh, A. (2010). Decision support for on-farm water management and long-term agricultural sustainability in a semi-arid region of India. *Journal of hydrology*, 391(1), 63-76.
- Singh, A., & Panda, S. N. (2012). Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural water management*, 115, 267-275
- Smith, M. (2000). The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103(1), 99-108.
- Tabari, H. (2010). Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. *Water resources management*, 24(10), 2311-2337.

- Tabari, H., Kisi, O., Ezani, A., & Talaei, P. H. (2012). SVM, ANFIS, regression and climate based models for reference evapotranspiration modeling using limited climatic data in a semi-arid highland environment. *Journal of Hydrology*, 444, 78-89.
- Teixeira, A. D. C., & Azevedo, P. D. (1996). Zoneamento agroclimático para a videira europeia no Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 4(1).
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M. T., Stöckle, C., & Steduto, P. (2009). Evaluation of the AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*, 101 (3), 509-521
- Topp, G. C., Galganov, Y. T., Wires, K. C., & Culley, J. L. B. (1994). Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure. *Soil Quality Evaluation Program Technical Report*, 2, 94-41.
- Tormena, C. A., Silva, A. D., Gonçalves, A. C. A., & Folegatti, M. V. (1999). Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 3(3), 286-292.
- Trading economics (2017) "Current values, historical data, forecasts, statistics, charts and economic calendar - Angola - PIB." web pagina acessado em <https://pt.tradingeconomics.com/angola/gdp>.
- Van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L., & Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European journal of agronomy*, 18(3), 201-234;
- Van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34-43. (b);
- Van Wart, J., van Bussel, L. G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., ... & van Ittersum, M. K. (2013). Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field crops research*, 143, 44-55.
- Vaz Pereira, D. J., & Leyva Galán, Á. (2015). El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) dentro del sector agrario de Huambo-Angola. Parte I. Indicadores determinantes hacia la sostenibilidad. *Cultivos Tropicales*, 36(2), 153-158.
- Yang, H. S., Dobermann, A., Lindquist, J. L., Walters, D. T., Arkebauer, T. J., & Cassman, K. G. (2004). Hybrid-maize—a maize simulation model that combines two crop modeling approaches. *Field Crops Research*, 87(2), 131-154 (a);
- Yizengaw, T., & Verheye, W. (1994). Modelling production potentials of tef (*Eragrostis tef*) in the central highlands of Ethiopia. *Soil technology*, 7(3), 269-277.
- Zhang, B., Zhang, Y., Chen, D., White, R. E., & Li, Y. (2004). A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. *Geoderma*;
- Zhao, J., & Yang, X. (2018). Distribution of high-yield and high-yield-stability zones for maize yield potential in the main growing regions in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248, 511-517

# APÊNDICE 1

Tabela. 1 - Valores de ISNA obtidos para os decêndios 1-36 para todas as 164 Regiões.

COORDENADAS	REGIÕES	JANEIRO			Fevereiro			MARÇO			ABRIL			MAIO			JUNHO			JULHO			AGOSTO			SETEMBRO			OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			
		DEC01	DEC02	DEC03	DEC04	DEC05	DEC06	DEC07	DEC08	DEC09	DEC10	DEC11	DEC12	DEC13	DEC14	DEC15	DEC16	DEC17	DEC18	DEC19	DEC20	DEC21	DEC22	DEC23	DEC24	DEC25	DEC26	DEC27	DEC28	DEC29	DEC30	DEC31	DEC32	DEC33	DEC34	DEC35	DEC36	
11.999 -16.999	Tombua	-10.082	-10.724	-10.796	-10.985	-10.896	-10.504	-10.705	-10.344	-10.947	-11.502	-12.677	-13.637	-14.608	-15.483	-16.496	-17.340	-18.181	-18.618	-19.296	-20.545	-1.097	-1.657	-2.207	-2.754	-3.322	-3.886	-4.488	-5.112	-5.712	-6.249	-6.721	-7.113	-7.998	-7.840	-9.143	-9.647	
11.999 -16.999	Tombua	-10.082	-10.724	-10.796	-10.985	-10.896	-10.504	-10.705	-10.344	-10.947	-11.502	-12.677	-13.637	-14.608	-15.483	-16.496	-17.340	-18.181	-18.618	-19.296	-20.545	-1.097	-1.657	-2.207	-2.754	-3.322	-3.886	-4.488	-5.112	-5.712	-6.249	-6.721	-7.113	-7.998	-7.840	-9.143	-9.647	
12.999 -16.999	Virei	-24.456	-19.615	-10.851	-2.981	2.686	3.418	3.737	4.867	3.916	2.901	1.032	-2.351	-5.743	-9.303	-12.594	-16.066	-19.506	-22.687	-25.741	-31.126	-36.844	-41.864	-46.844	-51.864	-56.844	-61.864	-66.844	-71.864	-76.844	-81.864	-86.844	-91.864	-96.844	-101.864	-106.844	-111.864	-116.844
12.999 -16.999	Bibala	-4.098	4.501	5.112	5.687	5.061	4.868	6.065	7.115	6.171	3.794	2.714	2.300	0.198	-0.641	-1.378	-2.186	-2.971	-3.726	-4.467	-5.176	-5.831	-6.522	-7.249	-7.998	-8.764	-9.548	-10.349	-11.166	-12.000	-12.850	-13.714	-14.594	-15.488	-16.396	-17.318	-18.254	
13.999 -16.999	Coruca	-1.570	4.410	5.716	4.948	4.702	3.883	4.261	4.842	4.123	2.790	1.470	-1.892	-3.209	-4.562	-5.948	-7.366	-8.816	-10.298	-11.812	-13.358	-14.936	-16.546	-18.188	-19.862	-21.560	-23.284	-25.034	-26.800	-28.582	-30.380	-32.194	-34.024	-35.868	-37.726	-39.600	-41.488	
13.999 -16.999	Gambos	4.649	5.021	6.699	5.916	5.428	4.723	5.490	5.873	5.177	3.150	2.242	1.405	1.038	0.723	0.555	0.225	-0.034	-0.297	-0.558	-0.818	-1.076	-1.334	-1.592	-1.850	-2.108	-2.366	-2.624	-2.882	-3.140	-3.398	-3.656	-3.914	-4.172	-4.430	-4.688		
13.999 -16.999	Chibia	5.398	6.000	8.046	7.482	6.538	6.163	6.596	6.935	6.508	3.647	2.673	1.583	0.877	0.376	0.064	-0.453	-0.885	-1.314	-1.742	-2.170	-2.598	-3.026	-3.454	-3.882	-4.310	-4.738	-5.166	-5.594	-6.022	-6.450	-6.878	-7.306	-7.734	-8.162	-8.590		
12.999 -13.999	Caiaçulo	3.083	4.590	5.452	6.197	6.229	5.447	7.060	7.942	8.104	4.726	3.636	1.801	0.839	0.278	-0.191	-0.899	-1.187	-1.688	-2.148	-2.641	-3.169	-3.731	-4.324	-4.948	-5.592	-6.256	-6.940	-7.644	-8.368	-9.112	-9.876	-10.660	-11.464	-12.288	-13.132		
12.999 -12.999	Bala Farta	4.669	5.833	5.627	5.378	5.780	5.539	5.745	6.692	9.255	5.514	4.400	1.816	0.242	-0.760	-1.784	-2.808	-3.832	-4.856	-5.880	-6.904	-7.928	-8.952	-9.976	-11.000	-12.024	-13.048	-14.072	-15.096	-16.120	-17.144	-18.168	-19.192	-20.216	-21.240	-22.264		
13.999 -13.999	Quielenges	5.676	7.289	9.367	9.278	7.854	7.827	7.915	8.370	9.259	4.628	3.414	1.898	1.006	0.446	0.031	-0.544	-1.040	-1.531	-2.022	-2.512	-3.002	-3.492	-3.982	-4.472	-4.962	-5.452	-5.942	-6.432	-6.922	-7.412	-7.902	-8.392	-8.882	-9.372	-9.862		
13.999 -12.999	Caibambó	8.712	8.533	10.778	10.979	9.999	9.725	10.042	11.182	10.993	5.807	4.586	2.892	1.492	0.939	0.353	-0.246	-0.851	-1.356	-1.861	-2.366	-2.871	-3.376	-3.881	-4.386	-4.891	-5.396	-5.901	-6.406	-6.911	-7.416	-7.921	-8.426	-8.931	-9.436	-9.941		
13.999 -11.999	Lobilo	12.296	10.615	11.682	12.822	12.182	12.126	14.027	15.211	15.889	10.783	6.471	4.281	2.364	1.313	0.177	-0.948	-2.000	-3.072	-4.114	-5.190	-6.270	-7.350	-8.430	-9.510	-10.590	-11.670	-12.750	-13.830	-14.910	-15.990	-17.070	-18.150	-19.230	-20.310	-21.390		
13.999 -10.999	Sumba	14.856	12.065	12.047	12.851	13.188	13.207	17.028	20.695	20.340	15.312	9.573	6.672	3.664	2.178	1.855	1.421	1.121	0.902	0.703	0.504	0.305	0.106	0.201	0.401	0.601	0.801	1.001	1.201	1.401	1.601	1.801	2.001	2.201	2.401	2.601		
11.999 -9.999	Cacongá	8.778	10.443	9.581	10.616	8.525	9.387	9.125	11.311	10.718	10.532	12.078	14.652	16.994	17.468	16.094	24.715	19.144	1.696	1.583	0.151	0.041	-0.108	-0.398	-0.407	-0.382	-0.207	0.907	2.412	6.859	8.499	8.123	8.915	10.240	7.518	9.830		
12.999 -9.999	Tomboco	7.478	9.505	7.858	7.242	7.882	8.187	8.425	13.268	13.216	11.983	13.247	14.774	15.318	13.995	11.248	1.592	1.316	1.190	0.995	0.804	-0.409	-0.711	-0.980	-1.230	-1.444	-1.244	-0.800	6.480	8.409	9.292	7.836	8.112	7.692	9.637			
12.999 -9.999	Soyo	7.992	10.022	8.164	9.030	7.946	8.501	8.315	11.940	11.468	11.420	11.749	12.924	13.740	13.088	9.015	2.488	1.743	1.435	1.165	0.920	-0.246	-0.630	-0.982	-1.273	-1.579	-1.343	-0.239	2.706	7.141	8.980	8.382	9.252	7.939	9.637			
13.999 -9.999	Quissama	10.200	8.843	8.854	9.383	8.757	9.314	11.862	15.776	16.335	13.312	10.131	6.986	3.607	2.572	1.871	1.157	0.703	0.374	0.026	-0.263	-0.565	-0.905	-1.264	-1.515	-1.689	-1.117	-0.676	0.917	4.617	7.596	8.855	11.315	10.470	10.770	10.484	9.911	
13.999 -9.999	Catele	8.946	8.175	7.945	8.457	8.927	7.671	9.819	13.975	15.454	12.027	10.020	7.183	4.136	2.687	1.971	1.273	0.738	0.350	0.044	-0.303	-0.644	-1.025	-1.411	-1.750	-1.987	-1.596	-1.372	-0.407	2.947	7.141	9.577	10.063	9.948	8.687	9.033	9.211	
13.999 -7.999	Nambuangunu	9.439	9.496	8.592	9.245	7.192	8.006	9.892	14.151	15.094	13.788	10.615	6.942	3.238	3.355	2.791	1.622	0.836	0.376	0.122	-0.390	-0.831	-1.323	-1.804	-2.283	-2.762	-3.241	-3.720	-4.200	-4.679	-5.158	-5.637	-6.116	-6.595	-7.074	-7.553		
13.999 -6.999	Bembe	8.444	10.500	8.806	9.375	7.811	8.956	9.684	13.405	13.665	12.100	8.642	6.975	3.124	3.484	2.720	1.463	1.231	1.053	0.941	-0.245	-0.457	-0.595	-0.544	-0.618	-0.981	-1.957	3.642	5.729	5.912	11.214	12.186	10.676	10.344	9.987	11.069		
13.999 -5.999	Mbarza Conga	9.622	10.479	9.415	8.843	7.112	9.040	9.126	11.798	11.525	11.078	11.882	10.325	7.033	5.074	4.266	2.564	1.599	1.444	1.196	-0.201	-0.720	-0.942	-1.060	-1.234	-1.404	-1.574	-1.744	-1.914	-2.084	-2.254	-2.424	-2.594	-2.764	-2.934			
13.999 -4.999	Ombandja	2.123	4.176	6.466	5.739	5.760	3.701	3.906	9.374	3.389	2.257	1.780	0.981	0.593	0.199	-0.002	-0.447	-0.937	-1.196	-1.554	-1.964	-2.334	-2.714	-3.094	-3.474	-3.854	-4.234	-4.614	-4.994	-5.374	-5.754	-6.134	-6.514	-6.894				
13.999 -3.999	Cahama	4.077	5.318	7.826	5.300	6.678	4.558	4.949	4.210	3.964	2.489	1.809	0.905	-1.233	-2.630	-3.541	-4.946	-6.299	-7.555	-8.808	-1.275	-2.574	-3.893	-5.202	-6.521	-7.840	-9.159	-10.478	-11.797	-13.116	-14.435	-15.754	-17.073	-18.392	-19.711			
14.999 -3.999	Matala	5.639	6.980	11.001	8.571	7.743	6.232	6.126	5.146	5.102	2.880	2.327	0.764	-0.546	-1.477	-2.823	-4.226	-5.546	-6.796	-8.001	-1.275	-2.574	-3.893	-5.202	-6.521	-7.840	-9.159	-10.478	-11.797	-13.116	-14.435	-15.754	-17.073	-18.392	-19.711			
15.999 -3.999	Namacunda	2.188	3.979	6.468	7.123	6.142	3.976	4.339	4.555	3.608	2.700	2.013	1.232	0.970	0.441	0.044	-0.208	-0.774	-1.340	-1.906	-2.472	-3.038	-3.604	-4.170	-4.736	-5.302	-5.868	-6.434	-7.000	-7.566	-8.132	-8.698	-9.264	-9.830	-10.396			
15.999 -3.999	Cuveiai	4.622	5.389	8.066	7.926	7.454	6.164	5.101	4.588	3.948	2.769	2.007	1.344	0.943	-0.585	-1.585	-2.320	-3.454	-4.324	-5.204	-6.074	-6.944	-7.814	-8.684	-9.554	-10.424	-11.294	-12.164	-13.034	-13.904	-14.774	-15.644	-16.514	-17.384				
15.999 -14.999	Jamba	5.914	7.192	10.640	10.219	9.420	6.320	6.355	5.285	4.900	2.989	2.373	1.399	1.131	0.678	0.116	-0.181	-0.477	-0.789	-1.100	-1.411	-1.722	-2.033	-2.344	-2.655	-2.966	-3.277	-3.588	-3.899	-4.210	-4.521	-4.832	-5.143	-5.454	-5.765			
15.999 -14.999	Namacunda	4.101	5.141	6.664	6.279	6.039	4.316	4.382	4.827	3.893	2.930	2.294	1.670	1.091																								

Tabela. 2 - Valores de TDIA obtidos para os decêndios 1-36 para todas as 164 Regiões.

COORDENADAS	REGIÕES	JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL			MAIO			JUNHO			JULHO			AGOSTO			SETEMBRO			OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO			
		DEC1	DEC2	DEC3	DEC4	DEC5	DEC6	DEC7	DEC8	DEC9	DEC10	DEC11	DEC12	DEC13	DEC14	DEC15	DEC16	DEC17	DEC18	DEC19	DEC20	DEC21	DEC22	DEC23	DEC24	DEC25	DEC26	DEC27	DEC28	DEC29	DEC30	DEC31	DEC32	DEC33	DEC34	DEC35	DEC36	
11.999 -16.999	Tombua	29.627	29.577	29.372	29.762	29.819	<b>30.055</b>	<b>30.768</b>	<b>30.989</b>	<b>30.955</b>	<b>31.083</b>	<b>31.465</b>	<b>30.877</b>	<b>30.799</b>	29.879	28.468	27.927	27.018	26.513	26.408	26.513	26.759	27.045	27.701	27.794	28.274	28.475	28.939	29.633	<b>30.208</b>	<b>30.287</b>	<b>30.265</b>	<b>30.770</b>	29.917	29.510	29.700	29.815	29.700
11.999 -15.999	Tombua	29.627	29.577	29.372	29.762	29.819	<b>30.055</b>	<b>30.768</b>	<b>30.989</b>	<b>30.955</b>	<b>31.083</b>	<b>31.465</b>	<b>30.877</b>	<b>30.799</b>	29.879	28.468	27.927	27.018	26.513	26.408	26.513	26.759	27.045	27.701	27.794	28.274	28.475	28.939	29.633	<b>30.208</b>	<b>30.287</b>	<b>30.265</b>	<b>30.770</b>	29.917	29.510	29.700	29.815	29.700
12.999 -16.999	Tombua	<b>30.712</b>	<b>30.193</b>	29.720	29.671	<b>29.892</b>	<b>30.288</b>	<b>30.570</b>	29.900	29.919	29.991	<b>30.299</b>	<b>30.408</b>	29.890	29.133	27.961	26.944	26.135	25.765	25.639	25.937	26.665	27.458	28.459	29.080	<b>30.489</b>	<b>31.190</b>	<b>31.954</b>	<b>31.922</b>	<b>31.860</b>	<b>32.454</b>	<b>32.338</b>	<b>31.549</b>	<b>31.820</b>	<b>31.466</b>	<b>31.501</b>	<b>31.465</b>	
12.999 -15.999	Virei	29.717	29.240	28.776	28.855	29.479	29.617	29.817	29.261	29.341	29.701	<b>30.118</b>	<b>30.325</b>	29.906	29.311	28.247	27.363	26.507	26.184	26.052	26.374	26.924	27.574	28.437	28.949	<b>30.240</b>	<b>30.822</b>	<b>31.273</b>	<b>31.271</b>	<b>31.302</b>	<b>31.432</b>	<b>31.633</b>	<b>30.887</b>	<b>30.971</b>	<b>30.671</b>	<b>30.539</b>	<b>30.362</b>	
12.999 -14.999	Bibala	27.907	27.550	27.137	27.147	27.360	27.940	28.132	27.863	27.978	28.362	28.723	29.046	28.825	28.462	27.537	26.718	25.867	25.573	25.385	25.719	26.038	26.552	27.250	27.638	28.359	29.027	29.190	29.365	29.495	29.917	29.658	29.974	29.943	28.725	28.522	28.930	
13.999 -16.999	Curcoá	28.647	28.020	27.411	27.247	27.171	27.489	27.671	26.891	26.826	26.953	27.189	27.360	26.677	25.742	24.918	<b>23.659</b>	<b>22.713</b>	<b>22.556</b>	<b>22.598</b>	<b>22.696</b>	<b>23.464</b>	<b>24.415</b>	<b>25.334</b>	<b>26.247</b>	<b>27.879</b>	<b>28.841</b>	<b>29.747</b>	<b>30.207</b>	<b>29.972</b>	<b>30.419</b>	<b>30.203</b>	<b>29.058</b>	29.717	29.458	29.689	29.649	
13.999 -15.999	Gambos	27.475	26.789	26.152	25.942	26.033	26.322	26.727	26.036	26.042	26.320	26.571	26.813	26.208	25.478	24.686	<b>23.844</b>	<b>22.859</b>	<b>22.676</b>	<b>22.532</b>	<b>22.782</b>	<b>23.478</b>	<b>24.415</b>	<b>25.334</b>	<b>26.247</b>	<b>27.879</b>	<b>28.841</b>	<b>29.747</b>	<b>30.207</b>	<b>29.972</b>	<b>30.419</b>	<b>30.203</b>	<b>29.058</b>	29.717	29.458	29.689	29.649	
13.999 -14.999	Chibia	26.416	25.795	25.152	24.872	25.012	25.486	25.799	25.323	25.376	25.701	25.882	26.193	25.722	25.207	24.302	<b>23.680</b>	<b>22.695</b>	<b>22.511</b>	<b>22.367</b>	<b>22.616</b>	<b>23.312</b>	<b>24.249</b>	<b>25.168</b>	<b>26.081</b>	<b>27.324</b>	<b>28.286</b>	<b>29.191</b>	<b>29.701</b>	<b>29.768</b>	<b>29.052</b>	<b>28.363</b>	<b>27.209</b>	27.612	27.375	27.911	27.069	
12.999 -13.999	Bacalo	26.803	26.657	26.323	26.266	26.550	27.017	27.209	27.143	27.208	27.560	27.944	28.240	28.030	27.816	27.027	26.193	25.380	25.034	25.214	25.469	24.901	25.238	25.678	26.277	26.861	27.065	27.467	27.644	27.745	27.947	27.435	27.393	27.188	26.911	26.673		
12.999 -12.999	Baia Farta	26.730	26.627	26.485	26.438	26.720	27.121	27.328	27.263	27.396	27.661	27.960	28.248	28.037	27.822	27.027	26.043	25.205	24.820	24.276	24.366	24.056	24.147	24.370	24.403	24.644	24.541	24.767	24.217	24.204	24.384	24.640	24.940	26.340	26.730	26.500	26.969	
13.999 -13.999	Quilengues	25.922	25.508	24.876	24.687	24.898	25.310	25.562	25.349	25.522	25.886	26.146	26.500	26.223	25.946	25.289	24.706	<b>23.679</b>	<b>23.748</b>	<b>23.554</b>	<b>23.584</b>	<b>23.599</b>	<b>23.578</b>	<b>26.357</b>	<b>27.113</b>	<b>28.098</b>	<b>28.580</b>	<b>28.856</b>	<b>28.886</b>	<b>28.464</b>	<b>28.496</b>	<b>27.630</b>	<b>26.684</b>	<b>26.843</b>	<b>26.474</b>	<b>26.153</b>	<b>26.108</b>	
13.999 -12.999	Caimbambo	25.467	25.251	24.853	24.766	24.862	25.335	25.591	25.522	25.746	26.083	26.477	26.764	26.507	26.546	25.962	25.371	24.674	24.526	24.356	24.741	25.184	25.863	26.585	27.098	27.849	28.000	28.186	28.300	28.686	28.632	28.262	28.159	26.097	25.702	25.465	25.417	
13.999 -11.999	Lobito	24.593	24.571	24.479	24.556	24.632	25.148	25.353	25.436	25.581	25.908	26.263	26.415	26.230	26.218	25.690	25.082	24.498	24.317	24.088	24.343	24.507	24.883	25.356	25.526	26.001	26.159	26.310	26.165	25.770	25.764	25.345	25.045	24.886	24.646	24.523	24.549	
13.999 -10.999	Sumbe	24.481	24.626	24.765	25.046	25.306	25.753	25.650	25.867	25.852	26.039	26.406	26.242	26.033	25.962	25.445	24.820	24.321	24.051	24.314	24.513	<b>24.748</b>	<b>24.940</b>	<b>24.855</b>	<b>24.074</b>	<b>24.316</b>	<b>24.561</b>	<b>24.583</b>	<b>24.826</b>	<b>24.551</b>	<b>24.398</b>	<b>24.545</b>	<b>24.475</b>	<b>24.373</b>	<b>24.323</b>	<b>24.334</b>	<b>24.329</b>	
11.999 -9.999	Cacongo	26.909	26.975	27.288	27.439	27.895	27.947	28.075	28.036	28.153	27.832	27.867	27.804	27.297	26.954	26.190	25.114	24.271	<b>23.762</b>	<b>23.676</b>	<b>23.592</b>	<b>23.689</b>	<b>23.791</b>	<b>23.625</b>	<b>23.511</b>	24.186	24.833	25.366	25.968	26.244	26.358	26.477	26.755	26.687	26.650	26.734	26.717	
12.999 -9.999	Tombooco	26.450	26.624	26.805	27.073	27.337	27.618	27.899	27.920	27.521	27.371	27.342	27.391	27.065	26.867	26.093	25.096	24.274	<b>23.762</b>	<b>23.676</b>	<b>23.592</b>	<b>23.689</b>	<b>23.791</b>	<b>23.625</b>	<b>23.511</b>	24.624	25.159	25.727	26.063	26.132	26.193	26.297	26.234	26.247	26.217	26.294		
12.999 -8.999	Soyo	26.487	26.638	26.809	27.073	27.337	27.618	27.899	27.920	27.521	27.371	27.342	27.391	27.065	26.867	26.093	25.096	24.274	<b>23.762</b>	<b>23.676</b>	<b>23.592</b>	<b>23.689</b>	<b>23.791</b>	<b>23.625</b>	<b>23.511</b>	24.624	25.159	25.727	26.063	26.132	26.193	26.297	26.234	26.247	26.217	26.294		
13.999 -8.999	Quissama	26.401	26.476	26.629	26.866	26.996	27.230	27.151	27.186	26.985	27.237	27.194	27.323	27.802	27.898	27.375	26.632	26.110	25.847	25.589	25.616	25.442	25.400	25.739	26.633	26.707	26.587	26.217	26.127	26.166	26.240	26.384	26.241	26.186	26.214	26.136	26.145	
13.999 -7.999	Caleta	26.847	26.867	27.063	27.263	27.365	27.467	27.562	27.535	27.209	27.379	28.022	28.168	28.092	28.192	27.641	26.885	26.280	26.004	25.744	25.773	25.478	25.492	25.856	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851	25.851
13.999 -6.999	Nambungongo	25.982	26.066	26.251	26.439	26.607	26.892	26.908	26.897	26.590	26.568	27.101	27.286	27.218	27.288	27.288	26.800	26.001	25.588	25.117	24.846	24.894	24.974	25.092	25.213	25.589	25.871	26.000	26.000	26.264	26.000	25.796	25.650	25.676	25.780	25.846		
13.999 -5.999	Bembe	25.550	25.711	25.856	26.086	26.344	26.563	26.571	26.552	26.399	26.276	26.854	26.914	26.871	26.968	26.358	25.553	24.971	24.702	24.406	24.380	24.658	24.907	24.607	24.938	25.606	26.212	26.240	26.395	26.373	25.899	25.636	25.561	25.382	24.923	24.500	24.406	
13.999 -5.999	Mbanza Congo	25.780	25.926	26.066	26.270	26.584	26.744	26.771	26.768	26.780	26.546	26.972	27.028	27.005	27.075	26.458	25.565	24.999	24.594	24.320	24.229	24.381	24.258	24.657	25.150	25.590	26.247	26.251	26.000	26.380	26.455	25.643	25.549	25.616	25.607			
14.999 -16.999	Ombanja	27.738	27.139	26.480	26.132	25.932	26.243	26.460	26.923	25.851	25.995	26.174	26.364	26.441	26.400	<b>26.877</b>	<b>26.767</b>	<b>26.412</b>	<b>26.330</b>	<b>26.953</b>	<b>26.960</b>	<b>26.987</b>	<b>26.915</b>	<b>26.925</b>	<b>26.911</b>	26.389	25.575	26.911	26.988	26.845	26.901	26.988	26.905	26.925	26.926	26.903	26.880	26.708
14.999 -16.999	Calhama	26.639	26.524	26.388	26.411	26.421	26.263	26.594	25.710	25.082	25.382	25.559	25.738	24.985	24.333	25.027	26.606	27.426	<b>27.330</b>	<b>26.984</b>	<b>26.383</b>	<b>25.533</b>	<b>26.260</b>	<b>26.988</b>	<b>27.426</b> </													

Tabela. 3 - Valores de TNOITE obtidos para os decêndios 1-36 para todas as 164 Regiões.

COORDENADAS	REGIÕES	MÊS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			ABRIL			MAIO			JUNHO			JULHO			AGOSTO			SETEMBRO			OUTUBRO			NOVEMBRO			DEZEMBRO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
CoordX	CoordY	MUNICÍPIO	DEC1	DEC2	DEC3	DEC4	DEC5	DEC6	DEC7	DEC8	DEC9	DEC10	DEC11	DEC12	DEC13	DEC14	DEC15	DEC16	DEC17	DEC18	DEC19	DEC20	DEC21	DEC22	DEC23	DEC24	DEC25	DEC26	DEC27	DEC28	DEC29	DEC30	DEC31	DEC32	DEC33	DEC34	DEC35	DEC36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
11.999	-16.999	Tômbua	22,71	22,84	22,78	23,37	23,39	23,28	24,26	24,72	24,87	25,02	25,15	25,14	24,49	23,76	23,22	21,70	20,66	20,42	19,83	19,75	19,69	19,47	19,74	20,18	19,94	20,11	20,38	21,78	21,99	21,98	22,27	22,37	22,83	22,85	22,87	22,75	24,41	24,27	25,04	24,93	25,14	25,31	25,32	25,33	25,34	25,35	25,36	25,37	25,38	25,39	25,40	25,41	25,42	25,43	25,44	25,45	25,46	25,47	25,48	25,49	25,50	25,51	25,52	25,53	25,54	25,55	25,56	25,57	25,58	25,59	25,60	25,61	25,62	25,63	25,64	25,65	25,66	25,67	25,68	25,69	25,70	25,71	25,72	25,73	25,74	25,75	25,76	25,77	25,78	25,79	25,80	25,81	25,82	25,83	25,84	25,85	25,86	25,87	25,88	25,89	25,90	25,91	25,92	25,93	25,94	25,95	25,96	25,97	25,98	25,99	26,00	26,01	26,02	26,03	26,04	26,05	26,06	26,07	26,08	26,09	26,10	26,11	26,12	26,13	26,14	26,15	26,16	26,17	26,18	26,19	26,20	26,21	26,22	26,23	26,24	26,25	26,26	26,27	26,28	26,29	26,30	26,31	26,32	26,33	26,34	26,35	26,36	26,37	26,38	26,39	26,40	26,41	26,42	26,43	26,44	26,45	26,46	26,47	26,48	26,49	26,50	26,51	26,52	26,53	26,54	26,55	26,56	26,57	26,58	26,59	26,60	26,61	26,62	26,63	26,64	26,65	26,66	26,67	26,68	26,69	26,70	26,71	26,72	26,73	26,74	26,75	26,76	26,77	26,78	26,79	26,80	26,81	26,82	26,83	26,84	26,85	26,86	26,87	26,88	26,89	26,90	26,91	26,92	26,93	26,94	26,95	26,96	26,97	26,98	26,99	27,00	27,01	27,02	27,03	27,04	27,05	27,06	27,07	27,08	27,09	27,10	27,11	27,12	27,13	27,14	27,15	27,16	27,17	27,18	27,19	27,20	27,21	27,22	27,23	27,24	27,25	27,26	27,27	27,28	27,29	27,30	27,31	27,32	27,33	27,34	27,35	27,36	27,37	27,38	27,39	27,40	27,41	27,42	27,43	27,44	27,45	27,46	27,47	27,48	27,49	27,50	27,51	27,52	27,53	27,54	27,55	27,56	27,57	27,58	27,59	27,60	27,61	27,62	27,63	27,64	27,65	27,66	27,67	27,68	27,69	27,70	27,71	27,72	27,73	27,74	27,75	27,76	27,77	27,78	27,79	27,80	27,81	27,82	27,83	27,84	27,85	27,86	27,87	27,88	27,89	27,90	27,91	27,92	27,93	27,94	27,95	27,96	27,97	27,98	27,99	28,00	28,01	28,02	28,03	28,04	28,05	28,06	28,07	28,08	28,09	28,10	28,11	28,12	28,13	28,14	28,15	28,16	28,17	28,18	28,19	28,20	28,21	28,22	28,23	28,24	28,25	28,26	28,27	28,28	28,29	28,30	28,31	28,32	28,33	28,34	28,35	28,36	28,37	28,38	28,39	28,40	28,41	28,42	28,43	28,44	28,45	28,46	28,47	28,48	28,49	28,50	28,51	28,52	28,53	28,54	28,55	28,56	28,57	28,58	28,59	28,60	28,61	28,62	28,63	28,64	28,65	28,66	28,67	28,68	28,69	28,70	28,71	28,72	28,73	28,74	28,75	28,76	28,77	28,78	28,79	28,80	28,81	28,82	28,83	28,84	28,85	28,86	28,87	28,88	28,89	28,90	28,91	28,92	28,93	28,94	28,95	28,96	28,97	28,98	28,99	29,00	29,01	29,02	29,03	29,04	29,05	29,06	29,07	29,08	29,09	29,10	29,11	29,12	29,13	29,14	29,15	29,16	29,17	29,18	29,19	29,20	29,21	29,22	29,23	29,24	29,25	29,26	29,27	29,28	29,29	29,30	29,31	29,32	29,33	29,34	29,35	29,36	29,37	29,38	29,39	29,40	29,41	29,42	29,43	29,44	29,45	29,46	29,47	29,48	29,49	29,50	29,51	29,52	29,53	29,54	29,55	29,56	29,57	29,58	29,59	29,60	29,61	29,62	29,63	29,64	29,65	29,66	29,67	29,68	29,69	29,70	29,71	29,72	29,73	29,74	29,75	29,76	29,77	29,78	29,79	29,80	29,81	29,82	29,83	29,84	29,85	29,86	29,87	29,88	29,89	29,90	29,91	29,92	29,93	29,94	29,95	29,96	29,97	29,98	29,99	30,00	30,01	30,02	30,03	30,04	30,05	30,06	30,07	30,08	30,09	30,10	30,11	30,12	30,13	30,14	30,15	30,16	30,17	30,18	30,19	30,20	30,21	30,22	30,23	30,24	30,25	30,26	30,27	30,28	30,29	30,30	30,31	30,32	30,33	30,34	30,35	30,36	30,37	30,38	30,39	30,40	30,41	30,42	30,43	30,44	30,45	30,46	30,47	30,48	30,49	30,50	30,51	30,52	30,53	30,54	30,55	30,56	30,57	30,58	30,59	30,60	30,61	30,62	30,63	30,64	30,65	30,66	30,67	30,68	30,69	30,70	30,71	30,72	30,73	30,74	30,75	30,76	30,77	30,78	30,79	30,80	30,81	30,82	30,83	30,84	30,85	30,86	30,87	30,88	30,89	30,90	30,91	30,92	30,93	30,94	30,95	30,96	30,97	30,98	30,99	31,00	31,01	31,02	31,03	31,04	31,05	31,06	31,07	31,08	31,09	31,10	31,11	31,12	31,13	31,14	31,15	31,16	31,17	31,18	31,19	31,20	31,21	31,22	31,23	31,24	31,25	31,26	31,27	31,28	31,29	31,30	31,31	31,32	31,33	31,34	31,35	31,36	31,37	31,38	31,39	31,40	31,41	31,42	31,43	31,44	31,45	31,46	31,47	31,48	31,49	31,50	31,51	31,52	31,53	31,54	31,55	31,56	31,57	31,58	31,59	31,60	31,61	31,62	31,63	31,64	31,65	31,66	31,67	31,68	31,69	31,70	31,71	31,72	31,73	31,74	31,75	31,76	31,77	31,78	31,79	31,80	31,81	31,82	31,83	31,84	31,85	31,86	31,87	31,88	31,89	31,90	31,91	31,92	31,93	31,94	31,95	31,96	31,97	31,98	31,99	32,00	32,01	32,02	32,03	32,04	32,05	32,06	32,07	32,08	32,09	32,10	32,11	32,12	32,13	32,14	32,15	32,16	32,17	32,18	32,19	32,20	32,21	32,22	32,23	32,24	32,25	32,26	32,27	32,28	32,29	32,30	32,31	32,32	32,33	32,34	32,35	32,36	32,37	32,38	32,39	32,40	32,41	32,42	32,43	32,44	32,45	32,46	32,47	32,48	32,49	32,50	32,51	32,52	32,53	32,54	32,55	32,56	32,57	32,58	32,59	32,60	32,61	32,62	32,63	32,64	32,65	32,66	32,67	32,68	32,69	32,70	32,71	32,72	32,73	32,74	32,75	32,76	32,77	32,78	32,79	32,80	32,81	32,82	32,83	32,84	32,85	32,86	32,87	32,88	32,89	32,90	32,91	32,92	32,93	32,94	32,95	32,96	32,97	32,98	32,99	33,00	33,01	33,02	33,03	33,04	33,05	33,06	33,07	33,08	33,09	33,10	33,11	33,12	33,13	33,14	33,15	33,16	33,17	33,18	33,19	33,20	33,21	33,22	33,23	33,24	33,25	33,26	33,27	33,28	33,29	33,30	33,31	33,32	33,33	33,34	33,35	33,36	33,37	33,38	33,39	33,40	33,41	33,42	33,43	33,44	33,45	33,46	33,47	33,48	33,49	33,50	33,51	33,52	33,53	33,54	33,55	33,56	33,57	33,58	33,59	33,60	33,61	33,62	33,63	33,64	33,65	33,66	33,67	33,68	33,69	33,70	33,71	33,72	33,73	33,74	33,75	33,76	33,77	33,78	33,79	33,80	33,81	33,82	33,83	33,84	33,85	33,86	33,87	33,88	33,89	33,90	33,91	33,92	33,93	33,94	33,95	33,96	33,97	33,98	33,99	34,00	34,01	34,02	34,03	34,04	34,05	34,06	34,07	34,08	34,09	34,10	34,11	34,12	34,13	34,14	34,15	34,16	34,17	34,18	34,19	34,20	34,21	34,22	34,23	34,24	34,25	34,26	34,27	34,28	34,29	34,30	34,31	34,32	34,33	34,34	34,35	34,36	34,37	34,38	34,39	34,40	34,41	34,42	34,43	34,44	34,45	34,46	34,47	34,48	34,49	34,50	34,51	34,52	34,53	34,54	34,55	34,56	34,57	34,58	34,59	34,60	34,61	34,62	34,63	34,64	34,65	34,66	34,67	34,68	34,69	34,70	34,71	34,72	34,73	34,74	34,75	34,76	34,77	34,78	34,79	34,80	34,81	34,82	34,83	34,84	34,85	34,86	34,87	34,88	34,89	34,90	34,91	34,92	34,93	34,94	34,95	34,96	34,97	34,98	34,99	35,00	35,01	35,02	35,03	35,04	35,05	35,06	35,07	35,08	35,09	35,10	35,11	35,12	35,13	35,14	35,15	35,16	35,17	35,18	35,19	35,20	35,21	35,22	35,23	35,24	35,25	35,26	35,27	35,28	35,29	35,30	35,31	35,32	35,33	35,34	35,35	35,36	35,37	35,38	35,39	35,40	35,41	35,42	35,43	35,44	35,45	35,46	35,47	35,48	35,49	35,50	35,51	35,52	35,53	35

## APÊNDICE 2

Figura. 1 - Funções de códigos para determinação do ISNA no MatLab.

```

1  function [ISNA] = Satisfacao_AP(DECENDIO)
2  -   clc
3
4  %   Variaveis de entradas Decendias('DECENDIO')
5  -   DECENDIOS = {'DECENDIO_1','DECENDIO_2','DECENDIO_3','DECENDIO_4','DECENDIO_5','DECENDIO_6', ...
6             'DECENDIO_7','DECENDIO_8','DECENDIO_9', 'DECENDIO_10','DECENDIO_11','DECENDIO_12', ...
7             'DECENDIO_13','DECENDIO_14','DECENDIO_15','DECENDIO_16','DECENDIO_17','DECENDIO_18',...
8             'DECENDIO_19','DECENDIO_20','DECENDIO_21', 'DECENDIO_22','DECENDIO_23','DECENDIO_24',...
9             'DECENDIO_25','DECENDIO_26','DECENDIO_27','DECENDIO_28','DECENDIO_29','DECENDIO_30',...
10            'DECENDIO_31','DECENDIO_32','DECENDIO_33', 'DECENDIO_34','DECENDIO_35','DECENDIO_36'};
11 -   Var = load(DECENDIO);
12 -   Tmed = Var.aux(:,1);
13 -   Tmax = Var.aux(:,2);
14 -   Tmin = Var.aux(:,3);
15 -   P = Var.aux(:,4);
16 -   q̄ = Var.aux(:,6);
17 -   d̄r = Var.aux(:,7);
18 -   load('ESTACOES');
19
20 %   Radiação Extraterrestre
21 -   [Rext] = RadiaExtra(DECENDIO);
22 %   Evapotranspiração de Referencia por Hargreaves & Allen (2003)
23 -   ETref = 0.0023.*(Tmed + 17.8).*((Tmax-Tmin).^0.5).*(0.408.*Rext);
24 %   Evapotranspiração Maxima pelo Kc
25 -   Kc = 1.2;
26 -   ETmax = ETref.*Kc;
27 %   Capacidade de Armazenamento de Agua no solo
28 -   SILT = xlsread('SOLOS.xlsx','M2:M241'); SILT(SILT==8) = 0;
29 -   ARG = xlsread('SOLOS.xlsx','P2:P241'); ARG(ARG==8) = 0;
30 -   X = (SILT + ARG);
31 -   CC = (3.07439)+(0.629239.*X)-(0.00343813.*(X.^2));
32 -   PmP = (398.889.*X)./(1308.09.*X);
33 -   CAD = CC - PmP; CAD(CAD==NaN) = 0;
34 %   Agua Disponível Total
35 -   ProfSolo = xlsread('SOLOS.xlsx','F2:F241');
36 -   ProfSolo(ProfSolo==8) = 0;
37 -   Pr = ProfSolo./100;
38 -   ADT = CAD.*Pr;
39 -   ADT(ADT==NaN) = 0;
40 %   Balanço Hidrico do Solo
41 -   BH = P - ETmax;
42 -   BHmin = zeros(length(BH),1);
43 -   for ii = 1:length(BH)
44 -       if (BH(ii) <= ADT(ii))
45 -           BHmin(ii) = BH(ii);
46 -       else
47 -           BHmin(ii) = ADT(ii);
48 -       end
49 -   end
50 %   Agua Prontamente Disponível
51 -   p = 0.50;
52 -   pajust = p + 0.04.*(5-ETmax);
53 -   APD = ADT.*(1-pajust);
54 -   APD(APD==NaN) = 0;
55 %   Razão entre BH e APD
56 -   Q = BHmin./APD;
57 %   Evapotranspiração Real
58 -   ETr = P + Q.*ETmax;
59 %   Índice de Satisfação de Agua
60 -   ISNA = (ETr./ETmax).*0.8;
61 -   for i = 1:36
62 -       [ISNA] = Satisfacao(DECENDIOS{i});
63 -       ISNA_Saida(:,i) = ISNA;
64 -   end
65
66 -   xlswrite('ESTIMATIVA3ISNA.xlsx',ISNA_Saida,'Plan1','F2')
67 - end
68
69

```

Figura. 2 - Funções de códigos para determinação do TDIA no MatLab.

```

1  function [TDIA] = TempDia_AP(DECENDIO)
2  -   clc
3
4     % Variaveis de entradas Decendias('DECENDIO')
5  -   DECENDIO = {'DECENDIO_1','DECENDIO_2','DECENDIO_3','DECENDIO_4','DECENDIO_5','DECENDIO_6', ...
6             'DECENDIO_7','DECENDIO_8','DECENDIO_9', 'DECENDIO_10','DECENDIO_11','DECENDIO_12', ...
7             'DECENDIO_13','DECENDIO_14','DECENDIO_15','DECENDIO_16','DECENDIO_17','DECENDIO_18',...
8             'DECENDIO_19','DECENDIO_20','DECENDIO_21', 'DECENDIO_22','DECENDIO_23','DECENDIO_24',...
9             'DECENDIO_25','DECENDIO_26','DECENDIO_27','DECENDIO_28','DECENDIO_29','DECENDIO_30',...
10            'DECENDIO_31','DECENDIO_32','DECENDIO_33', 'DECENDIO_34','DECENDIO_35','DECENDIO_36'};
11 -   Var = load(DECENDIO);
12 -   Tmed = Var.aux(:,1);
13 -   Tmax = Var.aux(:,2);
14 -   Tmin = Var.aux(:,3);
15 -   P = Var.aux(:,4);
16 -   δ = Var.aux(:,6);
17 -   dr = Var.aux(:,7);
18 -   Lat = xlsread('ESTIMATIVA2.xlsx', 'E2:E241');
19 -   Pi = 3.14
20 -   load('ESTACOES');
21
22 -   % Angulo da hora do Por do sol
23 -   LatRad = Pi./180.*Lat;
24 -   Ws = acos(-(tan(LatRad)).*(tan(δ)));
25 -   % Maximo de horas diarias
26 -   HD = 24/Pi*Ws;
27 -   % Função de comprimento do dia
28 -   To = 12 - 0.5*HD;
29 -   % Temperatura D
30 -   TDIA = TempMedia+((TempMax-TempMin)./(4*Pi)).*((11+To)./(12-To)).* (sin(Pi*((11-To)./(11+To))));
31 -   for i = 1:36
32 -       [TDIA] = TempDia(DECENDIOS{i});
33 -       TDIA_Saida(:,i) = TDIA;
34 -   end
35 -   xlswrite('ESTIMATIVA2TDIA.xlsx',TDIA_Saida,'Plan1','F2')
36
37 - end
38
39

```

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)

Figura. 3 - Funções de códigos para determinação do TNOITE no MatLab.

```

1  function [TNOITE] = TempNoite_AP(DECENDIO)
2  -   clc
3
4     % Variaveis de entradas Decendias('DECENDIO')
5  -   DECENDIO = {'DECENDIO_1','DECENDIO_2','DECENDIO_3','DECENDIO_4','DECENDIO_5','DECENDIO_6', ...
6             'DECENDIO_7','DECENDIO_8','DECENDIO_9', 'DECENDIO_10','DECENDIO_11','DECENDIO_12', ...
7             'DECENDIO_13','DECENDIO_14','DECENDIO_15','DECENDIO_16','DECENDIO_17','DECENDIO_18',...
8             'DECENDIO_19','DECENDIO_20','DECENDIO_21', 'DECENDIO_22','DECENDIO_23','DECENDIO_24',...
9             'DECENDIO_25','DECENDIO_26','DECENDIO_27','DECENDIO_28','DECENDIO_29','DECENDIO_30',...
10            'DECENDIO_31','DECENDIO_32','DECENDIO_33', 'DECENDIO_34','DECENDIO_35','DECENDIO_36'};
11  -   Var = load(DECENDIO);
12  -   Tmed = Var.aux(:,1);
13  -   Tmax = Var.aux(:,2);
14  -   Tmin = Var.aux(:,3);
15  -   P = Var.aux(:,4);
16  -   δ = Var.aux(:,6);
17  -   dr = Var.aux(:,7);
18  -   Lat = xlsread('ESTIMATIVA2.xlsx', 'E2:E241');
19  -   Pi = 3.14
20  -   load('ESTACOES');
21
22  -   % Angulo da hora do Por do sol
23  -   LatRad = Pi./180.*Lat;
24  -   Ws = acos(-(tan(LatRad)).*(tan(δ)));
25  -   % Maximo de horas diarias
26  -   HD = 24/Pi*Ws;
27  -   % Função de comprimento do dia
28  -   To = 12 - 0.5*HD;
29  -   % Temperatura Noturna
30  -   TNOITE = TempMedia-((Tmax-Tmin)./(4*Pi)).*((11+To)./To).*(sin(Pi*((11-To)./(11+To))));
31  -   for i = 1:36
32  -       TNOITE_i = TempNoite(DECENDIOS{i});
33  -       TNOITE_Saida(:,i) = TNOITE;
34  -   end
35  -   xlswrite('ESTIMATIVA2TNOITE.xlsx',TNOITE_Saida,'Plan1','F2')
36
37  - end
38
39

```

FONTE: Elaborado pelo Autor (2017)