



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

APTIDÃO AGROCLIMÁTICA E AMBIENTAL DO *EUCALYPTUS*
***UROPHYLLA* PARA A REGIÃO DO MATOPIBA**

OLÍRIA MORGANA MENEZES SOUZA

Palmas-TO,

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

APTIDÃO AGROCLIMÁTICA E AMBIENTAL DO *EUCALYPTUS*
***UROPHYLLA* PARA A REGIÃO DO MATOPIBA**

Aluna: Olíria Morgana Menezes Souza

Orientador: Prof. Dr. Erich Collicchio

**Dissertação apresentada como exigência
do Programa de Pós-graduação em
Agroenergia para obtenção do Título de
Mestre em Agroenergia.**

Palmas-TO,

2017

Dedico

**A minha família, em especial a
minha mãe Maria Aurenice e
aos meus irmãos, Mona Lisa e
Antônio Júnior.**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S729a Souza, Olíria Morgana Menezes .

Aptidão agroclimática e ambiental do eucalyptus urophylla para a região do MATOPIBA.. / Olíria Morgana Menezes Souza. – Palmas, TO, 2017.

93 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2017.

Orientador: Erich Collicchio

1. Zoneamento agroclimático. 2. Balanço hídrico. 3. Eucalipto. 4. MATOPIBA. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

APTIDÃO AGROCLIMÁTICA E AMBIENTAL DO *EUCALYPTUS*
***UROPHYLLA* PARA A REGIÃO DO MATOPIBA**

ALUNA: Olíria Morgana Menezes Souza

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Erich Collicchio (Presidente da comissão)

Prof.^a. Dr.^a. Flávia Lucila Tonani de Siqueira (examinadora interna)

Prof. Dr. José Luiz Cabral da Silva Júnior (Examinador externo)

Data da defesa: 28/09/2017

Agradecimentos

Agradeço imensamente a minha amada mãe Maria Aurenice e toda minha família pelo apoio aos estudos.

Ao meu orientador Professor Dr. Erich Collicchio pela paciência, amizade, incentivo e ensinamentos ao longo desses anos.

Ao Professor Dr. Cabral por me receber muito bem, dando suporte e pelas reuniões agradáveis e produtivas.

Ao Dr. Balbino Evangelista da Embrapa Pesca e Aquicultura, por colaborar para o desenvolvimento desse estudo.

Devo agradecimento especial, ao André de Moura pela ajuda técnica, assistência e dicas úteis ao software, mesmo durante os feriados e as madrugadas.

Ao meu esposo João Paulo pelo estímulo para ingressar no mestrado e parceria nos projetos de vida.

Aos amigos Rodrigo Nolasco, Ballin e Deny pelo café da tarde, convivência e troca de experiência durante o mestrado.

Ao Projeto de Canto Coral (UFT em Canto) e ao Programa de Extensão “Oficina de Criação, Prática e Difusão Musical (Oca Musical), em especial ao Maestro Bruno Barreto pelo excelente trabalho a frente deste grandioso projeto na universidade.

A toda equipe do Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais - LAMAM e a Universidade Federal do Tocantins - UFT pela oportunidade memorável.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE QUADROS.....	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 A cultura do eucalipto.....	17
3.1.1 Origem, diversidade de espécies e usos do eucalipto.....	17
3.1.2 Produção de eucalipto no Brasil.....	20
3.1.3 A expansão do cultivo do eucalipto para o Cerrado.....	22
3.2 A região do MATOPIBA e o cultivo do eucalipto	23
3.3 Biomassa do eucalipto para fins energéticos	26
3.4 Necessidades edafoclimáticas para o cultivo do eucalipto	30
3.5 Zoneamento agroclimático e Capacidade de Água Disponível	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 - Área de estudo	37
4.2 – Elaboração do Zoneamento Agroclimático para a cultura.....	38
4.2.1 Estimativa da temperatura média mensal.....	38
4.2.2 Dados de precipitação pluviométrica mensal.....	41
4.2.3 Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico - BHC	42
4.2.4 Parâmetros agroclimáticos para o Eucalyptus urophylla	43

4.3 - Zoneamento agroclimático e ambiental para o Eucalyptus urophylla	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 Condições atuais do clima	49
5.2 Classes de aptidão agroclimática, considerando os diferentes CAD 's	56
5.2.1 Classes de aptidão agroclimática, considerando o CAD = 100 mm	56
5.2.2 Classes de Aptidão agroclimática, considerando o CAD = 150 mm	61
5.2.3 Classes de aptidão agroclimática, considerando o CAD = 220 mm	66
5.3 Zoneamento agroclimático e ambiental para o Eucalyptus urophylla	71
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS	88

RESUMO

SOUZA, O. M. M. **Aptidão agroclimática e ambiental do *Eucalyptus urophylla* para a região do MATOPIBA**. 2017. 85f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO. 2017.

A cada ano, na mais nova fronteira agrícola do Brasil, denomina de MATOPIBA, tem sido observado um aumento nos investimentos em atividades de produção agrícola e florestal. No ramo produtivo florestal tem-se notado a preferência pelo cultivo do eucalipto na região. Nesse contexto, presente trabalho teve como objetivo de identificar áreas de aptidão agroclimática e ambiental para o cultivo do *Eucalyptus urophylla* no MATOPIBA. As classes de aptidão agroclimática para a espécie foram determinadas considerando as necessidades de temperatura e hídrica, sendo adotadas três diferentes valores de Capacidade de Água Disponível - CAD, utilizando um Sistema de Informações Geográficas - SIG. A partir desses resultados executou-se um novo cruzamento de informações com a Unidades de Conservação, Terras Indígenas e declividade existentes na região, obtendo-se o zoneamento de aptidão agroclimática e ambiental para a espécie em estudo. Os zoneamentos de aptidão agroclimática para todos os CAD's analisados, identificou-se a existência em algumas regiões do MATOPIBA, todas as classes de aptidão, com predomínio geral de áreas restritas. As zonas aptas predominaram nas regiões serranas da Bahia, sul do Maranhão e noroeste do Tocantins. Observou-se um incremento percentual da área de aptidão favorável ao cultivo do *E. urophylla* (apta), de 7,68% para 29,13%, considerando os CAD's de valores 100 e 200 mm, respectivamente. No que se refere as restrições ambientais do presente estudo percebe-se que a área bruta disponível à produção agrícola e florestal, corresponde a 84,88%. Com isso, as áreas aptas ao cultivo, com CAD = 220 mm, reduziram de 29,13% (213.154,54 km²) para 24,48% (179.136,81 km²).

Palavras-Chave: zoneamento agroclimático, balanço hídrico, eucalipto, MATOPIBA

ABSTRACT

SOUZA, O. M. M. Agroclimatic and environmental aptitude for the cultivation of *Eucalyptus urophylla* in MATOPIBA. 2017. 85f. Dissertation (Master in Agroenergy). Federal University of Tocantins, Palmas, TO. 2017.

Each year, on the Brazilian newest agricultural frontier, called MATOPIBA, there has been an increase in investments in agricultural and forestry production activities. In the forestry productive sector, it has been noticed the preference for eucalyptus cultivation in the region. In this context, this work aimed to identify areas of agroclimatic and environmental aptitude for the cultivation of *Eucalyptus urophylla* in MATOPIBA. The classes of agroclimatic aptitude for the species were determined considering the needs of temperature and water, being adopted three different values of Available Water Capacity - AWC, using a Geographic Information System - GIS. From these results, a new information cross-over was performed with the Conservation Units, Indigenous Lands and declivity in the region, obtaining zoning of agroclimatic and environmental aptitude for the species under study. In the agroclimatic aptitude zoning for all AWC analyzed, in some regions of MATOPIBA all kinds of classes were indentified, with a general predominance of restricted areas. The suitable zones prevailed in mountain regions of Bahia, south of Maranhão and northwest of Tocantins State. It was observed a percentage increase of the aptitude area favorable to the cultivation of *E. urophylla* (apta), from 7.68% to 29.13%, considering the AWC values of 100 and 200 mm, respectively. Regarding the environmental restrictions of the present study, it can be seen that the gross area available for agricultural and forestry production corresponds to 84.88%. Thus, the eligible areas for cultivation, with AWC = 220 mm, decreased from 29.13% (213,154.54 km²) to 24, 48% (179,136.81 km²).

Key words: agroclimatic zoning, water balance, eucalyptus, MATOPIBA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtividade florestal (eucalipto e pinus) no Brasil em relação a outros países produtores (m ³ /ha/ano).....	21
Figura 2 - Delimitação territorial do MATOPIBA (a); Inserção do MATOPIBA no bioma Cerrado (b);.....	24
Figura 3- Consumo de madeira de eucalipto para uso industrial por segmento em percentual - 2014	29
Figura 4 - Localização dos principais consumidores de carvão vegetal no Brasil	30
Figura 5 - Localização da Região do MATOPIBA e seus confrontantes	37
Figura 6 - Espacialização dos dados meteorológicos das estações, representados pelos pontos de temperatura do ar (°C) para a região do MATOPIBA	39
Figura 7 - Fluxograma para a estimativa da temperatura média mensal (°C) na região do MATOPIBA	41
Figura 8 - Estações meteorológicas e/ou pluviométricas que apresentam dados de precipitação pluviométrica (mm) para a região do MATOPIBA	42
Figura 9 - Fluxograma de elaboração das classes de aptidão agroclimática para cultura do <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA	46
Figura 10 - Áreas de uso legal e potencial para a conservação ambiental e terras indígenas na região do MATOPIBA	47
Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para o Zoneamento Agroclimático e Ambiental para cultura do <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA.....	48
Figura 12 - Classes de relevo em metros (a), temperatura média anual em °C (b) e precipitação total anual em (mm) (c) na região do MATOPIBA.....	51
Figura 13 - Espacialização da temperatura média mensal para região do MATOPIBA.....	53
Figura 14 - Espacialização da precipitação mensal para a região do MATOPIBA	54
Figura 15 - Médias mensais da temperatura e totais mensais de precipitação por Estado na região do MATOPIBA	55
Figura 16 - Deficiência hídrica anual (CAD = 100mm) na região do MATOPIBA	57
Figura 17 - Classes de Ta (°C) (a), classes de Da (mm) (b) e Pa (mm) (c) na região do MATOPIBA	58
Figura 18 - Aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 100mm	59

Figura 19 - Aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 100mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão	60
Figura 20 - Deficiência hídrica anual (CAD = 150mm) na região do MATOPIBA	62
Figura 21 - Classes de Ta (°C) (a), classes de Da (mm) (b) e classes de Pa (mm) (c) na região do MATOPIBA.....	63
Figura 22 - Classes de aptidão climática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 150mm.....	64
Figura 23 - Aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 150mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão	65
Figura 24 - Deficiência hídrica anual (CAD = 220mm) na região do MATOPIBA	67
Figura 25 - Classes de Ta (°C) (a), classes de Da (mm) (b) e classes de Pa (mm) (c) na região do MATOPIBA.....	68
Figura 26 - Classes de aptidão climática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 20mm.....	69
Figura 27 - Aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA - CAD = 220mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão	70
Figura 28 - Declividade em Graus (°) na região do MATOPIBA (a) e classes de aptidão quanto à declividade (b), baseada na classificação de Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015)	71
Figura 29 - Áreas de uso legal e potencial para a conservação ambiental (a) e Áreas disponíveis em restrições legais ou naturais para possível produção de eucalipto na região do MATOPIBA (b).....	72
Figura 30 - Áreas potenciais para produção florestal, quanto aos aspectos legais ou naturais na região do MATOPIBA	73
Figura 31 - Classes de aptidão agroclimática e ambiental para o <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA: CAD = 100mm (a); CAD = 150mm (b) e CAD= 220mm (c)	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução da área ocupada com plantio de eucalipto no Brasil, por Estado, 2007-2015.	20
Tabela 2 - Produtividade média para diferentes espécies florestais no Brasil	22
Tabela 3 - Participação de cada Estado no MATOPIBA, considerando as microrregiões e municípios	24
Tabela 4 - Áreas do território legalmente atribuídos no MATOPIBA.....	25
Tabela 5 - Plantios florestais com eucalipto (em hectares) nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia - MATOPIBA, no período de 2007 a 2015	25
Tabela 6 - Consumo de madeira de eucalipto para uso industrial por segmento no Brasil (em milhões de m ³) - 2014	28
Tabela 7 - Classes de aptidão para a regionalização do eucalipto para o estado do Espírito Santo ..	33
Tabela 8 - Planilha eletrônica contendo dados meteorológicos da região.	41
Tabela 9 - Exigência térmica e hídrica para espécie do <i>Eucalyptus urophylla</i>	44
Tabela 10 - Exigências hídricas com base na produtividade média do cultivo do <i>Eucalyptus</i>	44
Tabela 11 - Classes de adequabilidade ao cultivo mecanizado do eucalipto de acordo com a declividade	48
Tabela 12 - Temperaturas médias mensais mais baixas e altas para os estados que envolvem a região do MATOPIBA.....	52
Tabela 13 - Precipitações mensais mais baixas e altas para os estados que envolvem a região do MATOPIBA.....	52
Tabela 14 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 100mm.....	56
Tabela 15- Área das classes de aptidão da deficiência hídrica pertencente a CAD = 100mm	57
Tabela 16 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 100mm.....	59
Tabela 17 - Áreas por classes de aptidão para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com a CAD = 100 mm (classes agrupadas).....	60
Tabela 18 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 150mm.....	61
Tabela 19 - Áreas das classes de aptidão para deficiência hídrica pertencente a CAD = 150mm....	62
Tabela 20 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 150mm.....	64

Tabela 21 - Áreas por classes de aptidão para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com a CAD = 150mm (classes agrupadas).....	65
Tabela 22 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 220mm.....	66
Tabela 23 - Áreas das classes de aptidão para deficiência hídrica pertencente a CAD = 220mm....	67
Tabela 24 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 220mm.....	69
Tabela 25 - Áreas por classes de aptidão para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com a CAD = 220mm (classes agrupadas)	70
Tabela 26 - Áreas disponíveis e não disponíveis brutas, quanto aos aspectos legais ou naturais para possível produção florestal no MATOPIBA	73
Tabela 27 - Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 100mm	78
Tabela 28 - Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 150mm	78
Tabela 29- Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura <i>Eucalyptus urophylla</i> na região do MATOPIBA com o CAD = 220mm	78

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Diferentes usos do eucalipto	18
Quadro 2 - Principais usos do eucalipto, considerando as espécies recomendadas no Brasil	20
Quadro 3 - Classes de aptidão do <i>E. urophylla</i> referentes às condições de temperatura (T), deficiência hídrica anual (Da) e precipitação anual (Pa).....	45
Quadro 4 - Descrição das classes de aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i>	45
Quadro 5 - Agrupamento das classes de aptidão agroclimática para o <i>Eucalyptus urophylla</i>	46

1. INTRODUÇÃO

As discussões sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas fez com que o mundo olhasse para a biomassa como uma nova fonte de energia. Após a crise do Petróleo em 1970, vários países incentivaram pesquisas em novas fontes renováveis (ABREU et al., 2010).

As expansões urbanas e construção de estradas são um dos fatores que devastam os ambientes naturais e geram grande impacto no meio ambiente, sendo que as florestas tropicais são o ecossistema mais rico em espécies animais e vegetais. O desmatamento para a prática de agricultura e pecuária ocasiona a perda da cobertura vegetal, consequentemente a degradação do solo. Para a proteção das florestas tropicais e recuperação das áreas degradadas, a utilização de madeiras de reflorestamento diminui a pressão nas florestas naturais (FERNANDES *et al.*, 2008).

No Brasil, as primeiras mudas de eucalipto foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868. A introdução de eucalipto para reflorestamento foi no início do século XX, em 1904, destinada à produção de lenha no Estado de São Paulo, expandindo para o Centro e Sul do País (MORA; GARCIA, 2000).

Desde então a planta começou a ser amplamente utilizada depois da descoberta do seu valor econômico, e até nos dias atuais é a principal fonte de alimentação da indústria da celulose no Brasil. O eucalipto esteve ligado às empresas do setor de celulose e papel e siderúrgicas, posteriormente passou a ser utilizado como postes e madeira para estruturas na construção, sendo hoje utilizada para fins bastante diversificados (FERNANDES *et al.*, 2008). Ainda segundo Mora e Garcia (2000) a cultura vem aumentando os benefícios das plantações florestais, gerando empregos no interior do País e favorecendo a competição no setor florestal na economia globalizada.

Os recursos naturais renováveis, em que inclui a biomassa da cana, energia hidráulica, lenha e carvão vegetal e outras fontes primárias contribuíram com 41,2% na oferta interna de energia, mantendo-se entre as mais elevadas do mundo. Nesse cenário, a lenha e o carvão vegetal representa 8,2% da oferta interna de energia (BRASIL, 2016).

Segundo Santos e Hatakeyama (2011) o uso da madeira esta voltada para a cultura eucalipto, aparece como destaque no cenário internacional como uma das maiores plantações do mundo devido à rusticidade, produtividade e às características da madeira.

Com o aumento do cultivo de *Eucalyptus* spp. sem se preocupar com as características do meio ambiente, surgiu questionamentos sobre a identificação das áreas

adequados para a implantação de espécies florestais de interesse comercial. Em 1975, Lamberto Golfari elabora o zoneamento agroecológico do estado de Minas Gerais. O estudo foi realizado com base em informações de precipitação, temperatura, mapas de solos e outros parâmetros (GOLFARI, 1975).

O presente estudo poderá ser considerado como uma importante ferramenta para o planejamento agrícola e ambiental para o governo federal e de investidores, visando apoiar a decisão técnica e econômica quanto ao cultivo de eucalipto, pois a cada ano tem sido incrementado investimento em florestas de eucalipto para o centro do Brasil.

Diante deste contexto, tem se como objetivo identificar possíveis áreas potenciais de aptidão climática para o cultivo do eucalipto na fronteira agrícola na região do MATOPIBA, envolvendo análise de balanço hídrico associada às necessidades da cultura e elaboração de mapas orientando a localização das áreas potenciais para a cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Elaborar o zoneamento agroclimático e ambiental do *Eucalyptus urophylla* para a região do MATOPIBA, considerando três valores de capacidade de água disponível no solo.

2.2 Objetivos específicos

- Interpretar os resultados gerados do programa balanço hídrico climatológico - BHC;
- Identificar as possíveis áreas de aptidão agroclimática para o cultivo do *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA, para cada capacidade de água disponível (CAD);
- Realizar uma análise ambiental descritiva em relação às áreas aptas ao cultivo de eucalipto na região, para cada um dos zoneamentos agroclimáticos obtidos;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A cultura do eucalipto

3.1.1 Origem, diversidade de espécies e usos do eucalipto

O eucalipto pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Dicotyledonea*, ordem *Myrtales*, família *Myrtaceae* e gênero *Eucalyptus* (FONSECA et al., 2000). Contudo Flores et al. (2016) apontam recentes discussões científicas referente ao reconhecimento de algumas espécies de eucalipto, que pertencem aos gêneros *Corymbia* K.D. Hill & L.A.S. Johnson e *Angophora* Cav.

O gênero *Eucalyptus* abrange um grupo de plantas com mais de 600 espécies, que estão adaptadas a diferentes climas e solos (HIGA, MOURA; HIGA, 2006), variando desde pequenos arbustos até as mais altas árvores do planeta com cerca de 80 m de altura, sendo que quase todas são nativas da Austrália, exceto o *E. urophylla*, que ocorre em Timor-Leste, e nas ilhas Flores e em outras ilhas da Indonésia, e o *E. deglupta*, que ocorre na Indonésia e em Papua, na Nova Guiné (FONSECA et al., 2000).

De acordo com Bertola (2013), a copa da cultura geralmente é rala e alongada e o tronco quase sempre retilíneo e cilíndrico, com casca ou muito lisa ou muito áspera e fissurada dependendo da espécie. As folhas possuem a característica comum entre a maioria das espécies, de serem aromáticas e dispostas nos ramos de maneira oposta na parte inferior e, alternas na parte superior.

O eucalipto tem sido uma das árvores mais plantadas no Brasil, devido às suas características de adaptação às mais diferentes condições de clima e solo (CIB, 2008).

No Brasil, foi usado primeiramente como lenha em locomotivas ferroviárias e outras máquinas a vapor. Seu caule longo e reto contribuiu para o uso da lenha, estaca, mourão, dormente ferroviário, carvão para siderurgia e poste e peças para construção civil e celulose (HASSE, 2006).

O cultivo do eucalipto sempre esteve relacionado ao rápido crescimento e adaptação aos diversos ambientes de clima e solo, no entanto a cultura apresenta como vantagem a grande diversidade de espécies que se destacam como fonte de matéria-prima em potencial para as mais diferentes áreas na atividade industrial, conforme pode ser visualizado no Quadro 1 (SILVA et al., 2008).

Quadro 1: Diferentes usos do eucalipto

PARTES DA PLANTA	USOS	
Folhas	Óleos essenciais (alimentos, remédios, produtos de higiene e limpeza);	
Flores	Produtos apícolas (mel, própolis e geléia real);	
Casca	Taninos (colas, flocculantes), substratos para plantas;	
Madeira	Celulose	Papéis diversos: impressão, cadernos, livros, revistas, absorvente íntimo, papel higiênico, fralda descartável, guardanapo, cédulas, fotografia, embalagens;
		Celulose líquida (viscose, tencel (roupas), papel celofane, acetato (filmes), ésteres (tintas), filamento (pneu), cápsulas para remédios, espessante para medicamentos);
	Madeira	Madeira (móveis, brinquedos, construção civil, assoalhos); Postes e moirões, painéis (compensados, aglomerados, MDP, MDF, HDF), energia (carvão vegetal e lenha);

Fonte: Adaptado de Silva et. al. (2008)

As principais espécies cultivadas no Brasil, são a *Eucalyptus camaldulensis*, *Corymbia citriodora*, *E. grandis*, *E. robusta*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. deglupta*, *E. tereticornis*, *E. pellita*, *E. moorei*, *E. smithii*, *E. urophylla* e *E. resinifera*. Além dessas, são desenvolvidas os híbridos, como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. grandis* x *E. urophylla*) (CIB, 2008).

De acordo com Paludzyszyn Filho e Santos (2013) os clones de domínio público são AEC 0144 (*E. urophylla*), AEC 0224 (*E. urophylla*), GG100 (*E. urophylla*), COP 1277 (híbrido *E. grandis* x *E. camaldulensis*) e GPC 23 (*E. grandis*) são amplamente cultivados.

Ao tratar da escolha da espécie, deve-se considerar a finalidade do plantio como o principal tomada de decisão durante a fase de planejamento, caso a madeira venha a ser utilizada à produção de carvão, moirões, dormentes e peças para construção civil o plantio será voltado para às espécies que produzam madeiras duras e pesadas, pois madeiras mais macias e pouco pesadas são destinadas para a indústria de produção de celulose e fabricação de móveis (SILVA et al, 2008).

Os aspectos envolvidos na seleção de uma espécie, consideram desde o estudo das exigências climáticas, fisiológicas e edáficas, entre as origens da semente e as áreas de plantio, até o conhecimento de aspectos fisiológicos pertinentes as espécies, como brotação de cepas, resistência a seca, frio, pragas, doenças, etc. Dentre esses, um dos aspectos que devem merecer grande atenção, a qual envolve no atendimento aos requisitos tecnológicos industriais, por exemplo, é a relação de uma espécie com alta densidade e alto teor de lignina/celulose sendo ideal como produtora de energia, no entanto espécies com essa

mesma natureza podem ser consideradas como inaptas para a produção de celulose, madeira para serraria e outras atividades (ASSIS, 2014).

Em relação à rentabilidade na produção do eucalipto, os produtores que pretendem obter alto retorno financeiro, deveriam investir em ciclo mais longos, sendo as espécies destinadas para madeira serradas e aglomerados, uma vez que a produção destinada à energia e celulose tem um preço inferior, pois normalmente são colhidas mais jovens, com menor diâmetro e ciclos curtos (MOTTA, 2010).

Quanto aos aspectos relacionados à constituição química, quanto menor for o teor de lignina e o teor de extrativos melhor o rendimento na indústria de celulose, tanto um quanto o outro consomem em grande quantidade produtos químicos na sua extração, e a celulose será destruída em razão do uso químico, ocasionando na redução do rendimento da celulose. Em contrapartida, a densidade da madeira e o teor de lignina são os fatores mais importantes ligados às propriedades da madeira que afetam as qualidades do carvão utilizados como insumo energético na indústria siderúrgica (ASSIS, 2014).

A espécie mais plantada no País é o *Eucalyptus urophylla*, além do híbrido popularmente conhecido "urograndis" (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*), apresenta, ainda, possibilidade de uso múltiplo, através da diferenciação de idades de corte, duas a três rotações, ou seja, em ciclos curtos (seis a sete anos) permite a utilização de sua madeira para celulose, e em ciclos mais longos aos vinte anos poderá ser destinada para fabricação de móveis (SILVA et al, 2008). Vale ressaltar que estes clones produzem madeira de baixa densidade, sendo poucos adequados para a produção de postes e mourões (WILCKEN et al, 2008). Este híbrido reúne as melhores características do *Eucalyptus grandis* e do *Eucalyptus urophylla*, respectivamente, o crescimento e qualidade da madeira com a adaptação e resistência a doenças, particularmente ao fungo causador do cancro do eucalipto (MORA; GARCIA 2000).

O *E. urophylla* apresenta crescimento muito bom em baixas altitudes e resistência ao fungo *Cryphonectria cubensis* causador do cancro. Esta é uma espécie de grande potencialidade para regiões de clima quente e de elevados déficits hídricos, devido ao seu bom desenvolvimento nestas condições, a boa qualidade da madeira para carvão, celulose, serraria (RUY, 1998), conforme pode ser visualizado no Quadro 2.

Para produção de energia, a qualidade da madeira é altamente dependente da sua composição química e física e da estrutura anatômica, e também, das características tecnológicas da transformação da madeira como fonte energética (TRUGILHO, 2012).

Quadro 2: Principais usos do eucalipto, considerando as espécies recomendadas no Brasil

Usos	Espécies mais recomendadas
Papel e Celulose	<i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> e híbridos <i>urograndis</i> (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)
Móveis	<i>E. grandis</i> , <i>E. saligna</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. dunnii</i> e híbridos <i>urograndis</i> (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)
Postes, dormentes, moirões	<i>E. Corymbia</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. paniculata</i>
Energia	<i>E. urophylla</i> , híbridos <i>urograndis</i> (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>), <i>Corymbia citriodora</i> , <i>E. cloeziana</i> , <i>E. camaldulensis</i> .
Estruturas e construção civil	<i>Corymbia citriodora</i> , <i>E. paniculata</i> , <i>E. urophylla</i> , <i>E. cloeziana</i>

Fonte: Adaptada de Silva et. al., 2008.

O Quadro 2, mostra que para fins energéticos, as espécies de eucalipto mais indicadas são: *E. urophylla*, híbridos *urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*), *Corymbia citriodora*, *E. cloeziana*, *E. camaldulensis* (SILVA et. al., 2008).

3.1.2 Produção de eucalipto no Brasil

O ano de 2015 foi marcado pela insegurança no mercado brasileiro. Embora esse cenário ter-se exposto, o setor brasileiro de árvores plantadas manteve resistente diante da instabilidade na economia nacional (IBÁ, 2016).

Tabela 1 - Evolução da área ocupada com plantio de eucalipto no Brasil, por Estado, 2007-2015

Estado	Área Plantada (ha)								
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Minas Gerais	1.218.212	1.278.210	1.300.000	1.400.000	1.401.787	1.438.971	1.404.429	1.400.232	1.395.032
São Paulo	911.908	1.001.080	1.029.670	1.044.813	1.031.677	1.041.695	1.010.444	976.186	976.613
Mato Grosso do Sul	207.687	265.250	290.890	378.195	475.528	587.310	699.128	803.699	826.031
Bahia	550.127	587.610	628.440	631.464	607.440	605.464	623.971	630.808	614.390
Rio Grande do Sul	222.245	277.320	271.980	273.042	280.198	284.701	316.446	309.125	308.515
Espírito Santo	208.819	210.410	204.570	203.885	197.512	203.349	221.559	228.781	227.222
Paraná	123.070	142.430	157.920	161.422	188.153	197.835	200.473	224.089	285.125
Maranhão	106.802	111.120	137.360	151.403	165.717	173.324	209.249	211.334	210.496
Mato Grosso	114.854	132.922	147.378	150.646	175.592	184.628	187.090	187.090	185.219
Pará	126.286	136.290	139.720	148.656	151.378	159.657	159.657	125.110	130.431
Goiás	102.032	113.177	115.286	116.439	118.636	115.567	121.375	124.297	127.201
Tocantins	21.655	31.920	44.310	47.542	65.502	109.000	111.131	115.564	116.365
Santa Catarina	74.008	77.440	100.140	102.399	104.686	106.588	107.345	112.944	116.250
Amapá	58.874	63.310	62.880	49.369	50.099	49.506	57.169	60.025	63.026
Piauí	-	-	-	37.025	26.493	27.730	28.053	31.212	29.333
Outros	31.588	27.580	28.380	4.650	9.314	18.838	15.657	18.157	19.358
TOTAL	4.078.168	4.456.069	4.658.924	4.900.949	5.049.714	5.304.164	5.473.176	5.558.653	5.630.607

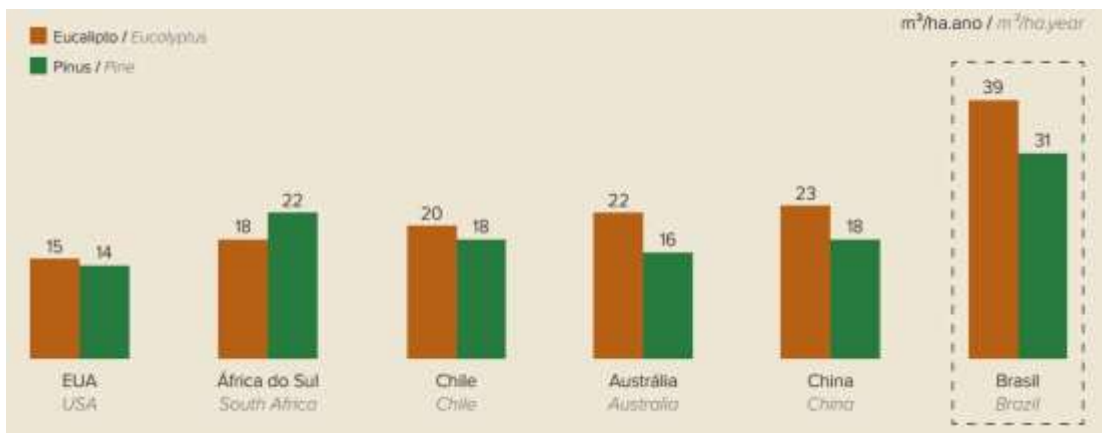
Fonte: IBÁ (2016)

O plantio de eucalipto ocupava em 2015, 5,6 milhões de hectares, o que representa 72% da área de florestas plantadas no País, sendo que esses plantios estão localizados

principalmente nos Estados de Minas Gerais (25%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%), correspondendo a cerca de 57% da área cultivada no Brasil, conforme está apresentado na Tabela 1 (IBÁ, 2016).

Percebe-se que houve um aumento da área de produção de eucalipto no Brasil de 38%, no período de 2007 a 2015, passando de 4.078.168 para 5.630.607 hectares. Esse incremento da área de produção gerou um aumento médio anual de 4,7%, e que associado à boa produtividade da cultura, tem estimulado a ampliação de áreas produtivas de florestas plantadas no Brasil.

Uma das vantagens competitivas à nível global da indústria brasileira de base florestal em relação a outros países produtores, é resultado da elevada produtividade das espécies florestais plantadas no País, uma vez que em 2014 a produtividade média dos plantios brasileiros de eucalipto atingiu 39 m³/ha.ano e a produtividade dos plantios de pinus foi de 31 m³/ha.ano (Figura 1). Isso tem sido possível, devido às empresas brasileiras do setor realizarem investimentos constantes em pesquisas e desenvolvimento, visando o melhoramento genético das espécies e das técnicas de manejo florestal (IBÁ, 2015).



Fonte: IBÁ (2015)

Figura 1 - Produtividade florestal (eucalipto e pinus) no Brasil em relação a outros países produtores (m³/ha/ano)

O eucalipto brasileiro é um dos produtos florestais que vem a cada ano ganhando espaço no mercado mundial. A cultura se destaca entre as demais espécies florestais cultivadas no Brasil devido ao alto rendimento, como pode ser visto na Tabela 2, dados referente a produtividade média das florestas no País.

Em relação a produtividade nas florestas plantadas de eucalipto, Silva (2011) apresenta a média nacional de 45 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em curtos ciclos de corte, entre 5 e 7 anos.

Tabela 2 - Produtividade média para diferentes espécies florestais no Brasil

Espécies florestais	Produtividade (m ³ /ha/ano)
Eucalipto ¹	35 a 40
Pinus ¹	31
Acácia- negra ²	15 a 25
Paricá ³	13 a 25
Teca ⁴	10 a 15
Seringueira ⁵	1 a 1,5

Fonte:¹IBA (2015);²RODIGHERI, H. R. (2001);³REVISTA DA MADEIRA (2005);⁴SOUZA, et al (2003);
⁵ANGELI, A.; STAPE, J. L. 2003;⁵MARTO, et al. (2007);

3.1.3 A expansão do cultivo do eucalipto para o Cerrado

As grandes plantações comerciais de eucalipto, já estabelecidas por várias décadas e em expansão, estão localizadas em dois biomas principais: Cerrado (a maior delas) e Mata Atlântica (BOGNOLA, 2016).

Conforme o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2014), na área do bioma Cerrado estão localizados os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Maranhão, Piauí, Paraná, São Paulo e Distrito Federal.

Segundo o SNIF (2015), a área de vegetação de Cerrado natural, ocupa cerca de 2 milhões de km², o equivalente a 24 % do território brasileiro, onde a maioria dos plantios de eucalipto estão estabelecidos, conforme pode ser confirmado pela Tabela 1, onde em 2014 a área de produção de eucalipto nesses estados, representava cerca de 84,6% de toda área de eucalipto do País (BOGNOLA, 2016).

Este bioma estende-se principalmente pela região Centro-Oeste, com áreas menores no Norte, Nordeste e Sudeste, regiões entre as latitudes de 5°S a 21 °S e longitudes 43 °W a 63 °W. As altitudes variam, em sua maior parte (73 %), de 300 m a 1.000 m. O clima, segundo classificação de Köppen, é predominantemente do tipo Aw (clima tropical úmido, seco no inverno), cuja temperatura média anual varia entre 20 °C e 26 °C. Existe grande variabilidade anual, quanto à precipitação anual média e distribuição das chuvas. Apresenta duas épocas bem definidas quanto à precipitação, composta por uma estação chuvosa (novembro a abril, quando em média, 80 % da chuva é precipitada) e uma estação seca (maio-outubro) (BOGNOLA, 2016).

Observando os estados que apresentam a vegetação de Cerrado natural (Tabela 1), constatou-se o aumento de áreas plantadas de eucalipto do ano 2007 até o ano de 2014, o equivalente a cerca de 28,7%, confirmando a expansão significativa do cultivo do eucalipto dentro do bioma Cerrado.

O eucalipto é muito plantado mais ao sul do bioma Cerrado (Minas Gerais e São Paulo), porém vem se expandindo para o centro-norte do Brasil. Espécies como *Eucalyptus*

urophylla, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus cloeziana* têm sido mais indicadas para cultivo na região do Cerrado do Distrito Federal e áreas que possuem características semelhantes (MORAES, 2008).

A rápida expansão territorial do plantio de eucalipto em áreas de Cerrado, foi devido principalmente à disponibilidade de tecnologias, terras de baixo custo e a políticas voltadas para investimentos na terra, como pesquisa e desenvolvimento de espécies adaptadas para a região (OLIVEIRA, 2005). Associados a isso, outros fatores considerados positivos contribuíram para esta expansão como, a temperatura, luminosidade, facilidade de mecanização do solo devido ao relevo ser plano a suave ondulado e disponibilidade de calcário (OLIVEIRA, 2005; BOGNOLA, 2016).

De acordo com Bognola (2016), devido a essas condições favoráveis, poderá ocorrer uma redução no custo de operações florestais, e maiores investimentos poderão ser realizados com a intenção de corrigir as limitações químicas dos solos de Cerrado, através da aplicação de fertilizantes e calcário.

3.2 A região do MATOPIBA e o cultivo do eucalipto

Institucionalizada pelo decreto 8.447 em 6 de maio de 2015, a região composta por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, contemplam a nova fronteira agrícola do país. De acordo com a portaria nº 244 de 12 de novembro de 2015 abrangem pelo Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba – PDA – MATOPIBA (BRASIL, 2015).

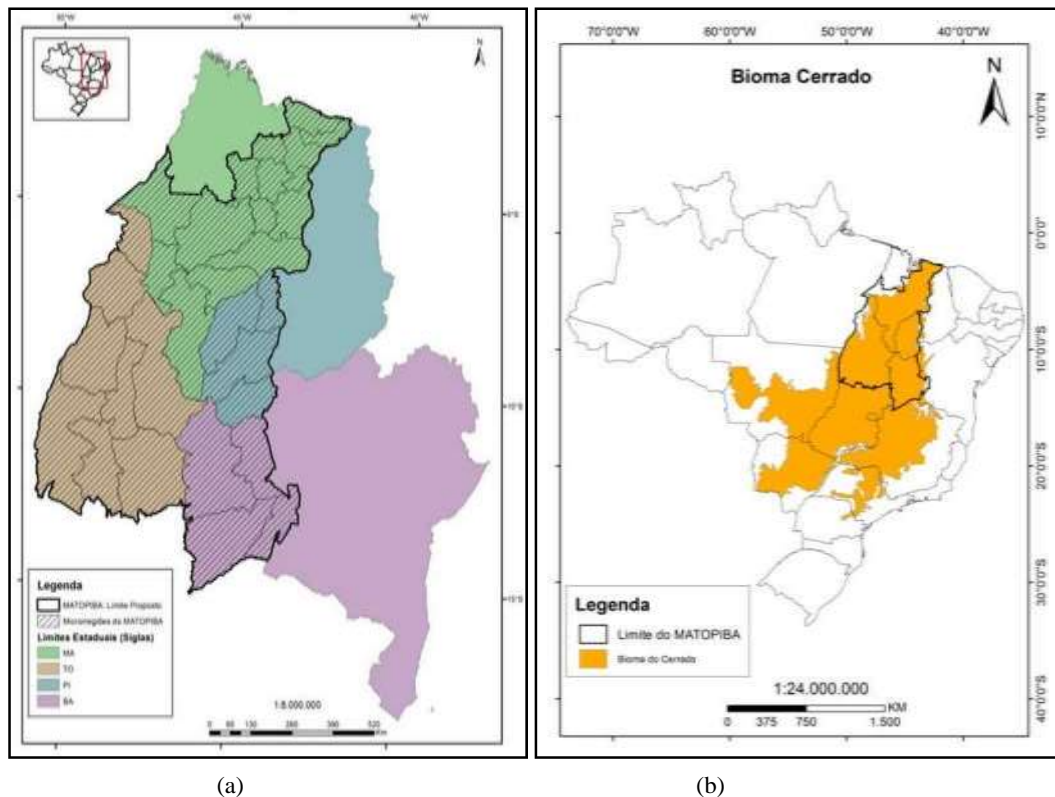
No entanto, o Decreto 8.852 publicado em 20 de setembro de 2016, pelo atual Governo Federal, paralisou os projetos previstos no MATOPIBA desde 19 de outubro do mesmo ano, extinguindo o Departamento de Desenvolvimento Agropecuário da Região do MATOPIBA, considerando inadequado para o atual momento econômico (BRASIL, 2016). Por mais que permaneça paralisado as atividades no Departamento de Desenvolvimento Agropecuário da Região do MATOPIBA, acredita-se que não impedirá o desenvolvimento da região, pois o Matopiba se tornou uma realidade expressiva.

Na Figura 2a é apresentado a extensão do limite territorial do Matopiba.

Segundo Miranda et al, (2015) o critério para o estabelecimento das divisas da fronteira agrícola teve como apoio as áreas em bioma do Cerrado (Figura 2b) através do suporte de imagens de satélite dentre outras informações do ambiente natural da região.

A nova fronteira agrícola não abrange a totalidade da área dos Estados acima citados. A região reúne 39 microrregiões em 337 municípios, e representam um total de cerca de 73 milhões de hectares (MIRANDA et al., 2015).

Na Tabela 3 visualiza-se as maiores participações em área são dos estados do Tocantins e Maranhão, com 38% e 33%, respectivamente, sendo que as menores participações observadas são os estados da Bahia, com 18% e do Piauí com 11%. O Tocantins é o único Estado que apresenta integralmente sua área dentro do território do MATOPIBA.



Fonte: Miranda; Magalhães; Carvalho (2015)

Figura 2 - Delimitação territorial do MATOPIBA (a); Inserção do MATOPIBA no bioma Cerrado (b);

Tabela 3 - Participação de cada Estado no MATOPIBA, considerando as microrregiões e municípios

Estado	Participação (%)	Microrregiões	Municípios
Maranhão	33	15	135
Tocantins	38	08	139
Piauí	11	04	13
Bahia	18	04	30
Total	100	31	337

Fonte: Miranda; Magalhães; Carvalho (2015); MAPA (2015)

De acordo com o levantamento realizado pela Embrapa/GITE, foi identificado na região áreas legalmente protegidas, delimitação indisponível pra produção agrícola e/ou florestal. Essas áreas são composta por unidades de conservação, terras indígenas, áreas quilombolas e assentamentos rurais. A área total correspondente à soma dessas áreas

indisponíveis para produção, equivale 19,09% da extensão do território do Matopiba, correspondendo a 13.967.919,97 ha (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2015).

A tabela 4 apresenta o número, a natureza e a superfície das áreas protegidas no MATOPIBA.

Tabela 4 - Áreas do território legalmente atribuídos no MATOPIBA

Identificação	Nº	Área (ha)	Área relativa (%)
Unidades de Conservação	46	8.334.679,10	11,39
Terras Indígenas	35	4.157.189,16	5,68
Assentamentos	745	2.782.754,82	3,80
Quilombolas	36	250.330,30	0,34
Área total atribuída	862	15.524.953,38	21,21
Área total atribuída (excluídas as sobreposições)		13.967.919,97	
Área do MATOPIBA		73.173.484,58	
% de ocupação - Área total atribuída (excluídas as sobreposições)		19,09%	

Fonte: Miranda; Magalhães; Carvalho (2015)

Com relação ao cultivo do eucalipto no MATOPIBA, os dados do Anuário Estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas – ABRAF (2013) e do Relatório da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2015), reportam um crescimento da área plantada de eucalipto nos estados da Bahia, Maranhão, Tocantins e Piauí (Tabela 5). Entretanto dados recentes do IBÁ (2016) revela-se um decréscimo em áreas plantadas os Estado, exceto o estado do Tocantins.

Tabela 5 - Plantios florestais com eucalipto (em hectares) nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia - MATOPIBA, no período de 2007 a 2015

UF	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
BA	550.127	587.670	628.440	631.464	607.440	605.464	623.971	630.808	614.390
MA	106.802	111.120	137.360	151.403	165.717	173.324	209.249	211.334	210.496
TO	21.665	31.920	44.310	47.542	65.502	109.588	107.345	112.944	116.365
PI	-	-	-	37.025	26.493	27.730	28.053	31.212	29.333
Total	678.594	730.710	810.110	867.434	865152	916.106	968.618	986.298	970.584

Fonte: Adaptado do relatório IBÁ (2015)

O crescimento da área plantada de eucalipto no período de 2007 a 2015, nos estados do Tocantins, Maranhão e Bahia, foram 437,11%, 97,08% e 11,68%, respectivamente. Contudo, observa-se que os investimentos da cultura do eucalipto no estado do Piauí são recentes.

A evolução da área de plantio de eucalipto nesses estados mostra que o incremento total quando comparado o período entre 2007 e 2015, foi muito significativo, correspondendo a uma área de 201.990 ha (43,02%). Isso significa que houve a incorporação média anual de 32.443 ha/ano de eucalipto (4,7% ao ano) proporcional a média nacional (4,7%) no mesmo período (Tabela 1).

3.3 Biomassa do eucalipto para fins energéticos

Quando se reporta à descoberta do fogo, relaciona-se diretamente à necessidade do homem pela energia para sua sobrevivência. Desde aquela época já se utilizava produtos madeireiros para esta finalidade. O que impulsionou o uso de madeira foi o advento da primeira revolução industrial, as quais utilizavam máquinas a vapor. Posteriormente foram substituídas por máquinas movidas à energia elétrica ou por derivados do petróleo (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Atualmente pode ser produzida e obtida madeira como fonte de energia de forma sustentável, a partir de florestas plantadas ou nativas, respeitando limites que possibilitem a regeneração natural de tais florestas. Inclui também através de atividades que processam ou utilizam a madeira com finalidade não exclusivamente energética, como por exemplo, em serrarias e indústrias de celulose. O termo usual da madeira como biocombustíveis é chamado de "dendroenergia", a qual se associa com a biomassa energética lignocelulósica em geral e seus subprodutos. Outros exemplos mais complexos de combustíveis de origem florestal são: carvão vegetal, licor negro (subproduto da indústria de celulose), e o metanol ou álcool metílico, produzido a partir da madeira (SALOMOM; FILHO, 2007).

A bioenergia envolve a energia solar, eólica, geotérmica, hidrelétrica e a biomassa, podendo ser classificada como uma fonte energética primária e renovável. O conceito de bioenergia eventualmente é confundida com agroenergia. A agroenergia trata da produção e do uso dos diversos tipos de biocombustíveis, oriundos no meio rural, como a produção agrícola, a pecuária e a florestal. São considerados biocombustíveis, oriundos no meio rural: o etanol, o biodiesel, biogás e outros derivados de biomassa. Os biocombustíveis e os resíduos de sua produção também são utilizados na geração de energia elétrica, a bioeletricidade (FREIRE, 2012).

Em relação à biomassa, destaca-se para as diferenças fundamentais de suas características em relação aos outros combustíveis orgânicos, sendo importante a sua segregação segundo sua fonte geradora, pois sua origem impacta sobre as propriedades da biomassa como combustível e sobre a forma de como a mesma deve ser tratada para este

fim. Além disso, o tipo de combustível obtido da biomassa pode estar nos estados sólido, líquido ou gasoso. Os combustíveis derivados da biomassa são denominados de biocombustíveis e quanto à origem, podem ser classificados em: biomassa florestal, agrícola e agroindustrial e de resíduos urbanos (BRAND, 2014).

O ciclo do carbono na biomassa de florestas plantadas são normalmente citado como ciclo do carbono neutro, pois o carbono liberado a partir do corte da madeira é absorvido novamente pelo reflorestamento ou rebrota da área. Através do processo da fotossíntese, a planta utiliza a energia solar convertendo o dióxido de carbono atmosférico em carboidratos, cujo subproduto é o oxigênio. A celulose é um dos produtos da fotossíntese que constitui a maior parte da madeira seca. Quando a lenha é queimada, a celulose é convertida em CO₂ e água com o desprendimento da energia armazenada. Assim como na respiração, a queima de combustíveis libera a energia armazenada para ser convertida em formas de energia útil. O petróleo, o carvão e o gás natural são exemplos de combustíveis utilizados no mundo moderno, que tiveram a sua origem na fotossíntese. Portanto, muitas das necessidades energéticas provêm da fotossíntese e a sua compreensão pode levar a uma maior produtividade dessas formas de energia (SALOMOM; FILHO, 2007).

A contribuição de espécies florestais na fixação do carbono em relação aos gases efeito estufa deve ser destacada diante das mudanças climáticas que ocorrem. O processo de conversão de CO₂ em madeira absorve calor, contribuindo para diminuir a temperatura. Na plantação de eucalipto, cada árvore pode fixar até 20 kg de gás carbônico por ano. Um hectare de floresta jovem fixa, em média, 35 toneladas de CO₂ por ano (MORA; GARCIA, 2000).

No que se refere às propriedades da biomassa para obtenção de energia, o poder calorífico é considerado a propriedade mais importante, porém dependendo da amplitude, outras propriedades químicas e físicas assumem a mesma importância, como a composição química (elementar e imediata), teor de umidade, poder calorífico superior, inferior e líquido, granulometria, teor de cinzas e o nível de biodegradação (BRAND, 2014).

Diversas tecnologias são aplicadas como: a) processo de conversão da biomassa florestal, sendo um combustível basicamente sólido que se transforma em outra forma energética; b) processo físico, podendo ser a densificação; c) processos termoquímicos se caracterizam em temperaturas elevadas, como a combustão direta e pirólise; e d) processos de conversão biológica com a fermentação alcoólica, sendo que esta última apresenta pouco interesse por se tratar de uma tecnologia de alto custo (NOGUEIRA; LORA, 2003).

As espécies mais utilizadas no Brasil para implantação de florestas energéticas são do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, apesar de outras espécies também poderem ser utilizadas. Os requisitos básicos para uma espécie ser utilizada na produção de energia são: o rápido crescimento, a tolerância à alta densidade populacional (grande número de indivíduos por unidade de área), alta massa específica da madeira, devido ao poder calorífico volumétrico (quantidade de energia por unidade de volume) e possibilidade de uso da talhadia (corte raso com manutenção dos tocos para rebrota e novo ciclo, a partir de um mesmo plantio (BRAND, 2014).

O uso do eucalipto, para fins de geração de energia, na forma como atualmente é consumida (*in natura* ou sob a forma de carvão), a madeira deve conter elevado teor de lignina e possuir alta densidade básica. A combinação entre densidade básica, poder calorífico e produtividade, resulta em uma característica chamada de densidade energética, cuja unidade é expressa em Kcal/ha (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2011).

O consumo brasileiro de madeira para uso industrial proveniente de florestas plantadas, em 2014, foi de 190,03 milhões de m³, e representou um aumento de 2,6% em relação ao consumo de 2013. Do total consumido no País, cerca de 75,37% foi proveniente do plantio de eucalipto, 21,98% do plantio de pinus e o restante de outros cultivos florestais (IBA, 2015).

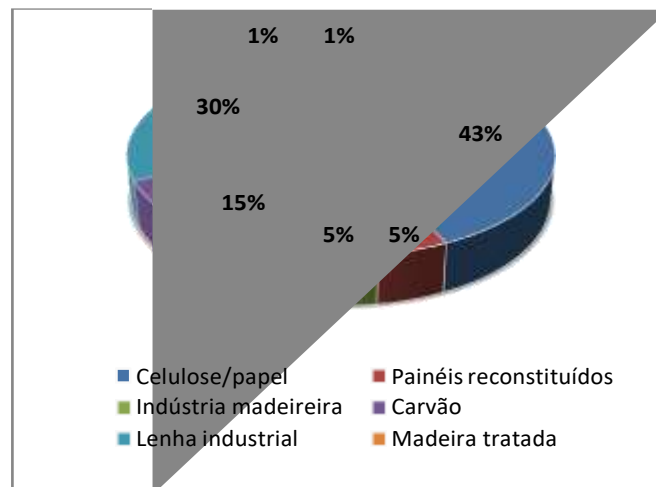
O consumo de madeira de eucalipto para uso industrial apresenta diversas finalidades, como: celulose/papel, painéis reconstituídos, indústria madeireira, carvão vegetal, lenha industrial, madeira tratada e outros. O consumo por segmento no Brasil, em 2014, pode ser visualizado na Tabela 6 e Figura 3.

Tabela 6 - Consumo de madeira de eucalipto para uso industrial por segmento no Brasil (em milhões de m³) - 2014

Segmento	Consumo (Milhões m³)	Participação (%)
Celulose/papel	61,82	43
Painéis reconstituídos	6,49	5
Indústria madeireira	7,03	5
Carvão	22,24	15
Lenha industrial	42,71	30
Madeira tratada	1,82	1
Outros	1,1	1
Total	143,21	100

Fonte: IBA (2015)

A principal utilização da madeira é para geração de energia, geralmente associada à secagem de grãos, produção de carvão para fins siderúrgicos e madeira tratada (mourões para cerca), sendo em todos os casos ainda em pequena escala e voltadas para o mercado regional.



Fonte: IBÁ (2015)

Figura 3- Consumo de madeira de eucalipto para uso industrial por segmento em percentual - 2014

A utilização da madeira de eucalipto (biomassa) como fonte de energia no Brasil, pode ser realizada por meio do carvão vegetal e lenha industrial, que corresponderam a 15% e 30% do total consumido em 2014, respectivamente. Nesse ano, o uso dessas duas fontes de energia totalizaram o consumo no Brasil de 45% do total consumido de madeira de eucalipto.

O carvão vegetal é um dos redutores energéticos mais importantes da indústria siderúrgica nacional. O consumo de carvão vegetal no Brasil em 2014, foi de 5,3 milhões de toneladas, sendo que 81% da madeira utilizada foi oriunda de florestas plantadas, e em 2006, a participação era de apenas 44%. No período de 2006 a 2014, houve um incremento quanto ao uso de madeira oriunda de florestas plantadas, para a produção de carvão vegetal de 37% (IBA, 2015).

De acordo com o relatório Ibá (2015), no Brasil, existem cerca de 125 indústrias que utilizam carvão vegetal no processo de produção de ferro-gusa, ferro-ligas e aço, considerando-se que alguns dos produtores de ferro-gusa e ferro-liga à base de carvão vegetal não estão operando no momento, mas podem voltar a operar. O Estado de Minas Gerais concentra 80% dessas indústrias, contudo observa-se pela Figura 4, que devido à localização de alguns consumidores de carvão vegetal nos estados do Maranhão e Pará, torna-se uma oportunidade de mercado para os produtores da região do MATOPIBA.



Fonte: IBA (2015)

Figura 4 - Localização dos principais consumidores de carvão vegetal no Brasil

3.4 Necessidades edafoclimáticas para o cultivo do eucalipto

A espécie *Eucalyptus urophylla* está entre as mais plantadas do Brasil, apresentando grande potencial de cultivo nas regiões Norte e Nordeste, onde os plantios florestais estão se expandindo (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003; FREITAS et. al., 2013). O mais conhecido de todos a "urograndis", o cruzamento do *E. grandis*, resistente a doenças, com o *E. urophylla* que apresenta boa adaptação em regiões mais secas, são os híbridos indicados para clima não sujeito a geadas, uma vez que a ocorrência de fortes geadas pode levar a perda da produção. Ao contrário do *E. dunnii* e *E. benthamii* indicados para locais sujeitas a geadas com forte intensidade, visto que em ambientes com temperaturas médias anuais acima de 17°C não é recomendado (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2013).

A temperatura média anual propicia para o desenvolvimento do *Eucalyptus urophylla* considerada por Sperandio et al. (2010) varia de 19 a 26°C. No entanto, estudos recentes realizado por Flores, et al (2016) supõe de 16 a 27°C.

Segundo Pezzopane et al. (2004) e demais autores, devido a escassez de estações com valores medidos de temperatura como é o caso da região do MATOPIBA, levam a realização de estimativas da temperatura média do ar em modelos espaciais para representar a realidade em grandes áreas. Portanto, os autores buscam incluir o modelo digital de elevação no modelo matemático para a espacialização da temperatura média do

ar, por meio de um sistema de informações geográficas para que possa gerar um mapa com maior confiabilidade.

A estimativa das temperaturas médias mensais a partir das coordenadas geográficas foi alvo de diversos estudos em diferentes estados e regiões do Brasil, podendo observar equação de regressão distintas que foram utilizadas nas metodologias propostas por diversos autores (PEZZOPANE et al., 2004; SILVA JÚNIOR, 2001; MEDEIROS et al., 2005; VIANELLO e ALVES, 2004; RIBEIRO JÚNIOR, 2011;).

O eucalipto cresce em condições climáticas variadas proporcionando maior distribuição geográfica. Quanto ao regime hídrico, para as espécies de um modo geral, as exigências variam entre 250 a 1.800 mm de chuvas (GOLFARI, 1975).

A precipitação maior que 1.800 mm prejudicam o desenvolvimento e a produção econômica da cultura. Costa et. al. (2009) abordou a avaliação do risco de anoxia no Rio Grande do Sul, devido o eucalipto ser extremamente sensível a deficiência de oxigênio. De acordo com o estudo as propriedades do solo que contribuem para os riscos de anoxia são determinadas pela textura, cor do solo e a profundidade efetiva em relação ao relevo mais plano. Porém, estudos recentes apontam que para o *Eucalyptus urophylla* a precipitação anual encontra-se entre 1.000 e 2.000 mm (FLORES, et al., 2016).

A qualidade da madeira como também a rapidez de crescimento, longevidade das plantas e a forma do tronco dependerão da qualidade do solo, sendo de grande importância a capacidade de retenção de água para regular a absorção de nutrientes pelas plantas. De acordo com Mora; Garcia (2000) as árvores crescem bem em regiões onde a precipitação varia de 900 a 2000 mm, obtendo as maiores produtividades em regiões onde não há déficit hídrico. Estas culturas preferem solos profundos, bem drenados e sem camadas de impedimento. No entanto para a maioria dos solos brasileiros a adubação com fósforo é fundamental (PAIVA et al., 2011).

Segundo Silveira et al. (2001) a distribuição dos principais tipos de solos utilizados nos plantios de eucalipto no País é a seguinte: Latossolos distróficos ou álicos 64%; Podzólicos distróficos ou álicos 16%; Cambissolos e Litossolos 10%; Areia Quartzosa 5%; Terra Roxa, Podzólicos e Latossolos eutróficos 2,5%; e outros 2,5%.

Em Stape et al. (1997) citado por Silveira et. al. (2001) encontraram relação entre o incremento médio anual (IMA) e a precipitação média anual, em função do tipo do solo, na região nordeste da Bahia.

O aporte hídrico é o principal elemento controlador da produtividade do eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*) e do uso de recursos naturais, assim

como em períodos de déficit hídrico, a produção de madeira é significativamente afetada (STAPE, 2002). No entanto o estudo conduzido por Souza et. al (2006a), em relação a disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce, apontou que essas regiões apresentaram uma distribuição de precipitação média anual semelhantes, porém ao avaliar o incremento periódico mensal (IPM), a região de Belo Oriente foi inferior as outras duas regiões. Os autores reforçam que altitude influencia na temperatura do local e, por conseqüência, a demanda evaporativa, pois Belo Oriente é uma região com menor altitude, apresentou maiores valores de temperaturas e deficiência hídrica e a maior demanda evapotranspirativa. Portanto a altitude, precipitação, temperatura, umidade estão relacionada ao desenvolvimento vegetativo da planta e ao incremento volumétrico.

Tem-se verificado grande variabilidade, para espécies florestais, em relação ao desenvolvimento do sistema reprodutivo. As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam florescimento irregular, vários fatores podem ser citados, entre eles a altitude, comprometendo no caso o florescimento da cultura. Os autores Sousa; Higa (1991) reforçam ainda que não se deve ignorar o forte controle genético que regula o desenvolvimento floral.

Souza et al. (2006b) cita o trabalho de Stape; Gomes (1996) os quais apresentam a influência dos estresses hídricos e nutricionais no crescimento de plantios de eucaliptos, no Nordeste do Brasil, obtendo incrementos anuais (IPA) superiores nos locais com maior precipitação, em solos Podzólicos e Latossólicos. Souza et. al (2006a) ressalta que os resultados apresentados estão relacionados com as características da área de estudo, ocorrência de 800 a 1.700 mm de precipitação média anual e baixa altitude (60 a 330m), sendo que a altitude influencia diretamente na temperatura local e, conseqüentemente, a demanda evaporativa.

No estudo apresentado por Almeida (2004) no norte do Espírito Santo comprova os efeitos da redução da precipitação em diferente regiões, porém recebendo os mesmo tratamentos silviculturais. Na região do Alcobaça, uma região costeira tem maior precipitação que a região interior Lagoinha, o volume do caule estimado na Alcobaça foi de 361m³/ha com idade 7 anos e Lagoinha foi de 207 m³/ha.

Estudos coordenados por Souza et al. (2006b) em Minas Gerais afirmam a relevância da precipitação na produtividade de madeira, ao indicar que o acréscimo de 100 mm na chuva de um ano para outro resultou em um aumento de 5 m³/ha/ano na

produtividade, sendo que a redução do mesmo volume anual ocorreu uma redução de 7,7 m³/ha/ano.

Entretanto, Paludzyszyn Filho e Santos (2013) ressaltam que os estresses hídricos (falta ou excesso) podem causar reduções no crescimento, ou seja, em solos de topografia plana, onde há acúmulos de água de precipitação, pode haver redução de crescimento, ocasionado por um ambiente em condições anaeróbicas decorrentes de excessos hídricos, em condições de estresses buscam investir em espécies tolerantes. Logo, os produtores florestais precisam tomar conhecimento na área de plantio, as condições do clima e a espécie a ser cultivada para evitar futuros prejuízos ao adquirir novas terras.

Loureiro Júnior et al. (2015) realizaram a classificação das microrregiões no Estado do Espírito Santo baseada na produtividade do eucalipto e nos parâmetros climáticos, em especial a deficiência hídrica, e nas características do solo, fertilidade natural e nas condições do relevo. Sendo assim, as áreas aptas para a silvicultura de eucalipto foram divididas em 3 (três) classes: Potencial Médio; Potencial Médio Alto e Potencial Alto, conforme a Tabela 7. Em alguns locais, a classificação obtida sofreu alteração para cima ou para baixo em termos de potencial em função principalmente da fertilidade natural e das características físico-hídricas do solo.

Tabela 7 -Classes de aptidão para a regionalização do eucalipto para o estado do Espírito Santo

Áreas aptas	Produtividade média (m³/ha/ano)	Déficit hídrico
Potencial Médio	26 a 30	maior que 4 meses secos
Potencial Médio Alto	31 a 35	entre 3 a 4 meses secos
Potencial Alto	36 a 40	até 2 meses secos

Fonte: Adaptado de Loureiro Júnior et al (2015)

Sperandio et al. (2010) consideraram nos seus trabalhos que para o bom desenvolvimento da espécie *Eucalyptus urograndis*, a deficiência hídrica anual deve estar entre o intervalo de 15 e 170 mm. Já para o *Eucalyptus urophylla*, Ferreira (1997) indicou como uma condição favorável ao seu cultivo, valores de deficiência entre de 30 e 210 mm, mostrando sua maior capacidade de tolerância ao déficit hídrico em relação a espécie *E. urograndis*.

3.5 Zoneamento agroclimático e Capacidade de Água Disponível

As informações climáticas e edáficas favorecem a determinação de áreas mais aptas ao cultivo, relacionando as limitações quanto ao uso do solo assim como a disponibilidade de recursos hídricos. O zoneamento agroclimático representa uma importante ferramenta, definindo as espécies mais indicadas para determinadas áreas ou regiões, aumentando a produção e melhora a qualidade dos produtos (COLLICCHIO, 2008; FERREZ, 2006).

Devido à praticidade de uso e facilidade de interpretação dos resultados com a geração de mapas temáticos, o Sistema de Informação Geográfica - SIG tem sido uma ferramenta de grande importância para o zoneamento (NAPPO; NAPPO; PAIVA, 2005).

A partir dos resultados do balanço hídrico, os dados de precipitação e temperatura são importados para um SIG. Esta informação pontual é espacializada em uma superfície contínua por meio de modelos matemáticos.

Estudos sobre zoneamento têm se popularizado devido ao crescente uso de aplicativos computacionais e diferentes metodologias. Os SIG's trouxeram nova perspectiva em análise espacial, por tratar a informação climática que era até então processada de forma pontual para uma forma contínua e automatizada. Estes avanços nos aplicativos computacionais e metodológicos melhoraram a relação entre ambiente e produtividade florestal, o que conseqüentemente favorece nos investimentos e traz mais retorno financeiro (RIBEIRO, 2009).

Para o bom desempenho da agricultura e de florestas plantadas, as condições climáticas devem ser observadas, pois se uma região dispõe de solos favoráveis e tecnologias adequadas, mas apresenta risco climático elevado, pouco colaborarão para atenuar esta vulnerabilidade (ZULLO JUNIOR; ASSAD; PINTO, 2008). Sendo assim, torna-se relevante o zoneamento agroclimático da cultura, que é um instrumento oficial de política pública, acoplado ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária - PROAGRO, e que permite regionalizar áreas de maior risco para a cultura, no espaço e no tempo, utilizando-se as redes meteorológicas (ROSSETTI, 2001; CUNHA; ASSAD, 2001; BRASIL, 2015).

A cultura do eucalipto apresenta grande variedade de espécies, sendo necessária a seleção para plantio conforme as condições de clima e solo, a semelhança das condições do local de plantio com as do local de origem. Golfari (1975) destaca que um trabalho de introdução de espécies requer um estudo minucioso do clima, apontando a precipitação e a temperatura.

No início dos anos 70, Dr. Lamberto Golfari elaborou uma metodologia para a escolha de espécies baseando na identificação de regiões ecológicas (GOLFARI, 1975).

O zoneamento elaborado por Golfari (1975) foi iniciado com a divisão de uma determinada área, em regiões que se diferenciem, pelas variadas condições do clima, solo e vegetação. Na segunda fase determinou para cada uma dessas regiões, a espécie de eucalipto considerada ecologicamente e economicamente viável.

No trabalho de Flores et al (2016) determinou as exigências climáticas para cada espécie de eucalipto estudada e fez-se uma comparação com o local de origem do eucalipto, denominada "Região Australiana", com o Brasil, realizando assim uma caracterização topoclimática. As classes de aptidão climática obtidas pelo autor foram alta, média e baixa. Em relação ao *Eucalyptus urophylla*, constatou-se a alta aptidão climática na região do Cerrado brasileiro, coincidindo com a fronteira agrícola do MATOPIBA.

Para a elaboração do zoneamento de aptidão agroclimática é necessário o cálculo do balanço hídrico climatológico, o qual exige o uso de uma Capacidade de Água Disponível – CAD. A CAD refere-se a uma lâmina de água correspondente ao intervalo de umidade do solo entre a Capacidade de Campo (CC%) e o Ponto de Murcha Permanente (PMP%) e que está em função do tipo de solo e da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O balanço hídrico, segundo Thornthwaite; Mather (1955), é mais utilizado para fins de caracterização da disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas, a seleção da CAD é feita mais em função do tipo da cultura, ao qual se quer aplicá-lo, do que do tipo de solo. Justifica-se isso pela comparação de um solo arenoso e um argiloso: se no primeiro o valor de $(CC\% - PMP\%)$ é menor, por outro lado profundidade efetiva do sistema radicular para uma cultura é menor no argilosos, de maneira que há compensação tornando a CAD aproximadamente igual para dois tipos de solo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Assim, independentemente do tipo de solo, pode se adotar valores de CAD para os grupos de culturas. Nesse contexto, Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002) indicam para espécies florestais, a CAD com valores que variam de 150 a 300 mm.

Stape; Gomes (1996) utilizaram uma CAD de 200 mm em plantios de eucalipto (*E. grandis* x *urophylla*) com idade variando de 3 a 8 anos. Já Neves (2000) determinou que a CAD para plantios de eucalipto, no litoral do Espírito Santo, para árvores com nove anos, foi de 168 mm, enquanto Sacramento Neto (2001) trabalhando com plantios jovens de

eucalipto (1 e 2 anos), na região de Belo Oriente na bacia do Rio Doce em Minas Gerais, determinou que em solos de baixada a CAD variou de 137 a 171 mm e em solos de encosta esta variação foi de 70 a 110 mm (SOUZA et al, 2006a).

Souza et al (2015) elaboraram o zoneamento edafoclimático para a espécie *E. urophylla* no Estado do Tocantins utilizando o CAD = 300 mm. O mesmo valor de CAD foi adotado por Marcolini (2015) ao estudar o efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para o *E. urograndis* no Tocantins.

Contudo tem-se trabalhado no zoneamento agroclimático em outras culturas com distintos CAD's relacionando-as às diferentes classes de solos. A exemplo disso tem-se o estudo realizado por Medeiros; Dantas Neto (2006), que elaboraram o zoneamento edafoclimático para o cultivo do Café Arábica (*Coffea arabia L.*) e Conilon (*Coffea canephora L.*), na sub-bacia do Rio Paranaíba em Minas Gerais, onde consideraram três valores distintos para a CAD: 70, 125 ou 180 mm. Os autores selecionaram valores da CAD igual a 70 mm para as Areias Quartzosas, Latossolos, Podzóis e Terras Roxas, considerados como solos com baixa capacidade de retenção. Para os Solos Litólicos e Podzólicos tomou-se o CAD de 125 mm e o CAD de 180 mm para Cambissolos e Gleis Húmicos.

Com relação a estudos com o eucalipto, Sperandio et al. (2010) elaboraram o zoneamento agroecológico para espécies de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus urograndis* e *Corymbia citriodora* no estado do Espírito Santo, consideraram-se, no cálculo do balanço hídrico, três valores distintos para a capacidade de água disponível (CAD): 95, 160 ou 220 mm, variando de acordo com as unidades de solo. A CAD de 95 mm foi utilizada para Areias Quartzosas, Latossolos e Podzóis, considerados como solos de baixa capacidade de retenção. O CAD de 160 mm contemplou os Solos Litólicos, Aluviais, Brunizens e Podzólicos; e o CAD de 220 mm foi utilizado para Cambissolos, Gleissolos, Solos Orgânicos e Indiscriminados de Mangue.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Área de estudo

A área de estudo refere-se à região do MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, a qual encontra-se situado na região Norte e Nordeste do Brasil, com uma área total de 73.173.485 ha, contendo 337 municípios e uma população de 5.901.789 habitantes (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2015).

A situação geográfica da região do MATOPIBA é definida pelos seguintes limites geográficos: nas Latitudes $2^{\circ}12'30''$ S, no extremo norte: norte do Maranhão/Oceano Atlântico, $15^{\circ}16'30''$ S, no extremo sul: divisa do estado do Tocantins/Goiás e nas Longitudes $41^{\circ}48'30''$ W, no extremo leste: parte do estado da Bahia e do estado do Piauí e $50^{\circ}45'10''$ W, no extremo oeste: estado do Pará e parte do estado do Maranhão, conforme Figura 5.

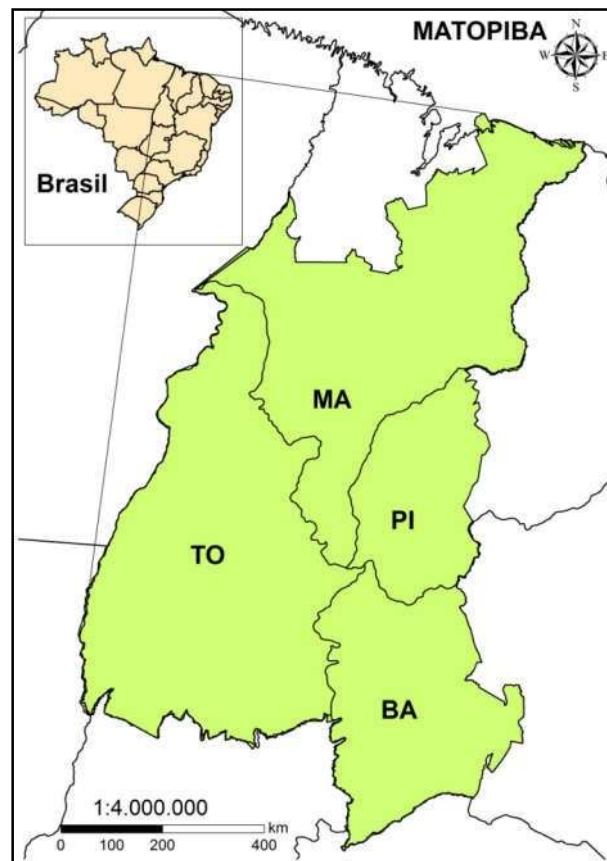


Figura 5 - Localização da Região do MATOPIBA e seus confrontantes

A área do MATOPIBA apresenta 06 unidades climáticas, a qual 46,08% da região o clima é predominantemente tropical Brasil central, semi-úmido 4 a 5 meses secos,

concentrando mais ao sul, sudoeste e centro da região da região. Entretanto ao extremo noroeste, onde se concentra o bioma amazônico caracteriza um clima equatorial, úmido com 3 meses secos. Concentrando mais ao centro da região o clima tropical zona equatorial, semi-úmido 4 a 5 meses secos. Na região nordeste, adentrando ao extremo norte, pelo estado do Maranhão se concentra um clima tropical zona equatorial, semi-árido 6 meses secos. Ao sudeste e leste da região o clima se caracteriza como tropical Brasil central, semi-árido com 6 meses secos, abrangendo o oeste dos Estados do Piauí e Bahia. Em pequenas proporções o clima semi-árido, chegando de 7 a 8 meses secos se encontrada apenas no Estado da Bahia (MIRANDA; MAGALHÃES; CARVALHO, 2015).

4.2 – Elaboração do Zoneamento Agroclimático para a cultura

Para a execução do estudo agroclimático do *E. urophylla*, foram realizadas algumas etapas essenciais. Inicialmente foi criado um banco de dados no Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM da Universidade Federal do Tocantins - UFT, contendo os parâmetros meteorológicos: precipitação (mm) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), com valores mensais a partir de estações meteorológicas e/ou pluviométricas, situadas na área de estudo e regiões circunvizinhas. Com relação aos dados de temperaturas médias mensais foi necessário a realização de estimativas para a temperatura utilizando dados de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e baseando na equação de regressão linear múltipla.

A partir dos dados mensais de precipitação (mm) e temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), realizou-se o cálculo do Balanço Hídrico Climatológico - BHC, considerando três diferentes capacidades de água disponíveis - CAD's.

Com base nos resultados do balanço hídrico e dos parâmetros agroclimáticos do *E. urophylla*, determinou-se zoneamento agroclimático para esta espécie.

A seguir estão detalhadas todas as etapas para a elaboração do zoneamento agroclimático para o *E. urophylla*, no MATOPIBA.

4.2.1 Estimativa da temperatura média mensal

Devido à escassez de estações meteorológicas com valores medidos de temperatura na região do MATOPIBA, buscou-se realizar a estimativa da temperatura.

Os mapas contendo as temperaturas médias mensais do ar foram obtidos pelo modelo proposto por Santos et al. (2015), utilizando regressão linear múltipla para a estimativa da temperatura média mensal, aplicado em um modelo digital de elevação da

região, obtido através de dados de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução de 90m.

Nos procedimentos metodológicos foi gerado o mapa de altimetria, a partir de dados de radar SRTM (Projeto Shuttle Radar Topography Mission – SRTM). Os produtos do SRTM, tratam-se de um modelo digital de elevação (MDE), elaborado pelo Projeto Brasil em Relevo, sendo disponibilizados pela Embrapa (MIRANDA, 2005), com a resolução de 90 metros, sendo importantes para confecção do mapa de relevo.

Os dados para espacialização de temperatura foram organizados por Medeiros et al. (2005) provenientes do INMET, e referem-se às Normais Climatológicas do Brasil (1961 – 1990) (INMET, 1992), os quais foram disponibilizado ao LAMAM - UFT.

Conforme pode ser visualizado na Figura 6, os dados de temperatura médias mensais correspondem a 38 estações meteorológicas localizadas no oeste do estado da Bahia e arredores, no centro ao sul/norte do estado do Tocantins e entorno e no estado do Maranhão e áreas circunvizinhas.

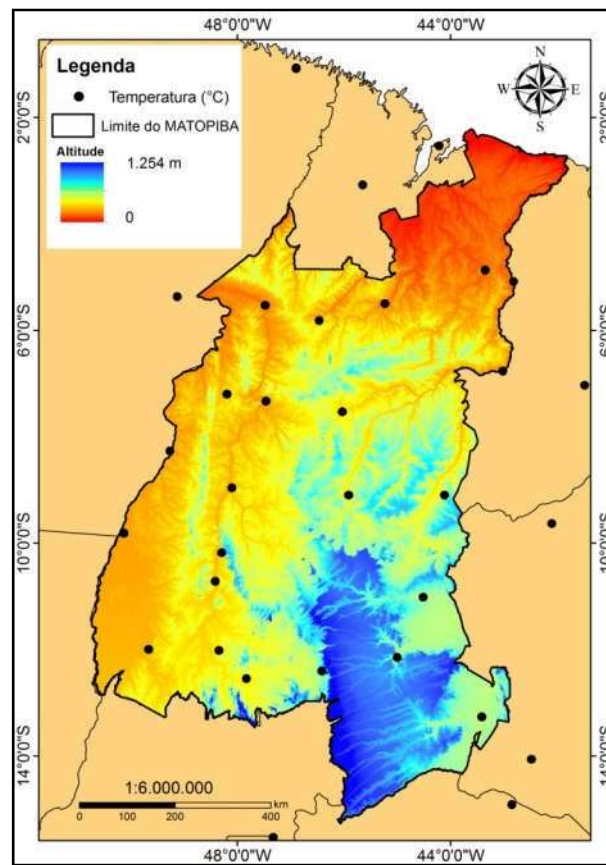


Figura 6 - Espacialização dos dados meteorológicos das estações, representados pelos pontos de temperatura do ar (°C) para a região do MATOPIBA

Para cada mês, foi aplicado a regressão linear múltipla proposta por Santos et al. (2015) e que utilizam a altitude e as coordenadas geográficas X (Longitude) e Y (Latitude) como variáveis independentes e a temperatura como variável dependente, conforme demonstrado na equação abaixo:

$$\text{Equação (1)} \quad T = \beta_0 + \beta_1 Y + \beta_2 X + \beta_3 \text{ALT}$$

Em que,

T: temperatura do ar (°C);

β_0 : constante de regressão;

Y: coordenada geográfica Y (latitude), em graus e décimos (valores negativos);

X: coordenadas geográficas X(Longitude), em graus e décimos (valores negativos);

ALT: altitude (m) e

β_1 , β_2 e β_3 : coeficientes de regressão para as variáveis Y, X e ALT.

Na interface do Programa ArcMap foi utilizado a ferramenta *Modeling Spatial Relationships* em seguida *Ordinary Least Squares - OLS* na função *Batch*. O arquivo de entrada foi o shapefile dos pontos das estações aplicando como variável dependente a temperatura (Jan. a Dez.) e como variável explanatória as coordenadas Latitude e Longitude, e a altitude das estações. Na mesma função é renomeado os arquivos onde será gerando os coeficientes a ser utilizado na equação e o resultado do R^2 mensal.

Após os arquivos mensais de coeficiente e diagnóstico (R^2) gerados, foi criado uma planilha para anotar os valores da constante de regressão Intercept (β_0) e dos coeficientes de regressão LAT_GRAUS (β_1), LONG_GRAUS (β_2) e ALTITUDE (β_3), e seus respectivos R^2 (R-Squared - coeficiente de determinação). No Anexo 2 pode ser verificada os coeficientes de regressão para estimativa das temperaturas mensais para todos os meses (Jan. a Dez.) em toda a região do MATOPIBA.

As coordenadas Latitude e Longitude foram interpoladas sobre a ferramenta *Trend*. Posteriormente, através da ferramenta *Spatial Analyst Tools* com a opção *Map Algebra* em seguida *Raster Calculator* na função *Batch* foi inserida a seguinte Equação (2) representativa das constantes oriundas da regressão linear múltipla referentes ao mês de Janeiro, assim subsequentes para os outros meses.

Equação (2)

$$- 28.3217 + 0.4423 * "Latitude" - 1.3468 * "Longitude" - 0.0066 * "srtm_matopiba"$$

Após a aplicação da Equação 2 para todos os meses, de Jan. a Dez., foi aplicado a ferramenta *Extract mult values to points*, utilizando como arquivo de entrada as estações correspondentes a precipitação, no intuito de extrair os dados mensais, posteriormente foi inserida estas informações em uma planilha eletrônica, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 - Planilha eletrônica contendo dados meteorológicos da região.

LAT_GRAUS	LONG_GRAUS	ALT	TEM_JAN	Prec_JAN	TEM_FEV	Prec_FEV	TEM_MAR	Prec_MAR	TEM_ABR	Prec_ABR
-5.71	-47.5	124	25.66	235	25.5	288	25.57	268	25.83	236
-5.83	-47.06	215	25.2	192	25.06	253	25.09	277	25.22	239
-5.63	-48.22	137	25.59	243	25.45	283	25.55	297	25.83	206
-5.25	-48.22	107	25.74	243	25.58	265	25.68	349	25.99	224
-5.8	-49.18	134	25.52	222	25.41	273	25.55	332	25.87	216
-6.63	-46.88	388	24.55	287	24.46	243	24.47	335	24.45	225
-6.28	-47.38	137	25.71	260	25.57	246	25.64	311	25.91	236
-6.83	-47.96	275	24.92	232	24.84	255	24.92	268	25.04	182
-6.4	-48.53	128	25.64	252	25.53	251	25.65	285	25.97	203
-6.35	-48.06	253	25.26	268	25.16	290	25.24	249	25.45	194
-6.66	-48.46	159	25.52	246	25.43	306	25.55	303	25.83	217
-6.41	-49.41	152	25.39	242	25.31	245	25.47	274	25.77	221
-6.78	-49.53	198	25.14	211	25.08	256	25.24	286	25.49	191
-6.1	-49.36	119	25.54	269	25.44	299	25.6	303	25.93	264
-6.86	-49.08	157	25.61	193	25.53	264	25.69	296	26.02	186
-7.7	-47.3	207	25.6	248	25.53	238	25.61	258	25.86	172
-7.71	-47.22	261	25.35	236	25.28	232	25.35	240	25.54	149
-7.85	-47.85	190	25.61	223	25.55	195	25.66	271	25.94	196

A Figura 7 mostra os procedimentos gerais para a estimativa da temperatura média mensal (°C) na região do MATOPIBA, por meio da aplicação de equação de regressão linear múltipla, a partir de dados medidos de temperatura, associados aos dados do radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission).

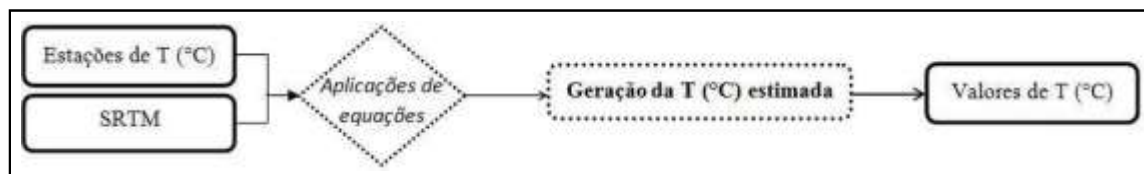


Figura 7 - Fluxograma para a estimativa da temperatura média mensal (°C) na região do MATOPIBA

4.2.2 Dados de precipitação pluviométrica mensal

Foram utilizados dados de precipitação média mensal de 110 estações meteorológicas e pluviométricas situadas no estado do Tocantins e estados circunvizinhos, sendo organizados por Collicchio (2008). Dados complementares que abrangem os demais estados da região do MATOPIBA, considerando-se séries históricas compreendidas no período de 1982 a 2000, foram obtidos através do banco de dados disponibilizados pela

Embrapa, coletado da Agência Nacional de Águas - ANA (ANA, 2010), ao Laboratório de Agroenergia, Uso da Terra e Mudanças Ambientais – LAMAM da Universidade Federal do Tocantins - UFT. Totalizando assim em 378 estações meteorológicas e pluviométricas na área de estudo(Figura 8).

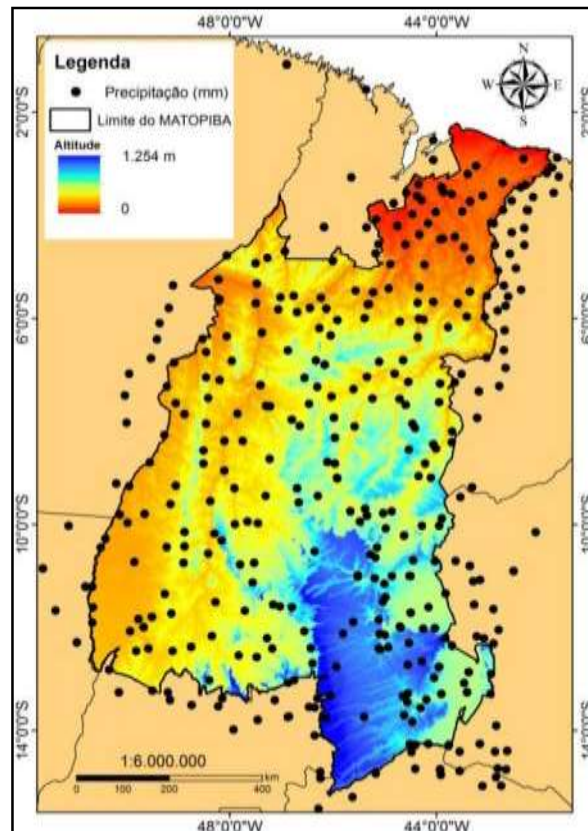


Figura 8 - Estações meteorológicas e/ou pluviométricas que apresentam dados de precipitação pluviométrica (mm) para a região do MATOPIBA

Os dados de precipitação médias mensais também foram inseridos na planilha eletrônica, a qual foi necessária como arquivo de entrada para o programa de Balanço Hídrico Climatológico - BHC.

4.2.3 Cálculo do Balanço Hídrico Climatológico - BHC

O programa utilizado para calcular os elementos do Balanço Hídrico Climatológico - BHC de forma espacial, desenvolvido por Victoria (2007) em linguagem computacional para o software GrassGIS, atualizado para o GrassGIS 7.2.0, em parte houve a intervenção da equipe do LAMAM - UFT no desenvolvimento da interface do programa para ser utilizado com o auxílio do software ArcGIS 10.3.

Para espacialização dos dados de temperatura média e da precipitação inseridos através da planilha eletrônica no programa BHC, procedeu-se a interpolação dos valores pelo método “*Spline with tension*”. Para tais diferentes métodos de interpolação foram averiguados por métodos de estatística a comparação entre *Spline* e Regressão Linear Múltipla para temperatura podendo ser visualizados os resultados no ANEXO 3, e *Spline* com *Krigagem Ordinária Linear* se tratando da precipitação no ANEXO 4.

As bases de dados produzidas por meio de modelos matemáticos foram organizadas utilizando um Sistema de Informações Geográficas (SIG), através do software ArcGIS 10.3 para espacialização dos resultados e a elaboração dos mapas básicos e finais.

O BHC foi calculado conforme o método Thornthwaite; Mather (1955) simplificado por Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002) uma vez que o modelo necessita apenas de dados de precipitação, temperatura média mensal e da Capacidade de Armazenamento Disponível (CAD).

No modelo de Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002) caso a precipitação seja superior à evapotranspiração potencial (ETP) a evapotranspiração real (ETR) será igual à potencial e o restante de água será utilizado para recarregar o armazenamento do solo ou convertido em excedente hídrico. No entanto, se a precipitação não for suficiente para se manter a ETR, o modelo retira água armazenada no solo. Porém, esta retirada apresenta resistência, fazendo com que a ETR seja inferior à potencial, gerando déficit hídrico. A resistência à retirada de água do solo aumenta, à medida que se diminui a quantidade de água armazenada neste. Já a entrada de água no solo não recebe nenhuma resistência (COLLICCHIO, 2008; COLLICCHIO et al., 2015).

Para a realização do zoneamento de aptidão climática para o eucalipto, foi adotado a este estudo no cálculo do Balanço Hídrico Climatológico - BHC, conforme Pereira (2005), a metodologia adaptada por Sperandio et al. (2010), considerando no cálculo do balanço hídrico três diferentes CAD's, obtendo assim três cenários para deficiência hídrica, sendo eles: CAD = 100 mm (baixa capacidade de retenção de água), CAD = 150 mm (média capacidade de retenção de água) e o CAD = 220 mm (elevada capacidade de retenção de água).

4.2.4 Parâmetros agroclimáticos para o *Eucalyptus urophylla*

A partir dos mapas de temperatura média, precipitação e deficiência hídrica anual delimitou-se as classes de aptidão, para definir as áreas de exploração da cultura do

eucalipto na região do MATOPIBA, classificando-as em: inapta, apta, marginal, restrita ao cultivo.

Em relação às necessidades agroclimáticas temperatura e precipitação para a espécie do *Eucalyptus urophylla*, Sperandio et al. (2010) apresentou a temperatura média anual variando de 19 a 26°C e a precipitação de 900 a 1800 mm.

Abordado por Golfari (1975) e Ribeiro (2009) a precipitação anual acima de 1.800 mm poderá propiciar condições ideais para ocorrência de doenças. Em tratando-se de doenças, o cancro do eucalipto (*Cryphonectria cubensis*) é comum em cultivo com idade superior a seis meses, sendo suscetíveis em ambientes quentes e úmidos, em regiões com a temperatura média superior a 23°C e precipitação média anual superior a 1.200 mm (WILCKEN, et al., 2008). No entanto, no recente trabalho de Flores et al. (2016) comparando com a ocorrência natural do *E. urophylla* apresentaram suas principais exigências climáticas, para a temperatura entre 16 e 27°C e precipitação anual entre 1.000 a 2.000 mm.

Deste modo utilizou-se para a elaboração do zoneamento agroclimático, os mesmos parâmetros empregados por Flores et al. (2016), conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Exigência térmica e hídrica para espécie do *Eucalyptus urophylla*

Temperatura (°C)	Classes de aptidão	Precipitação (mm)	Classes de aptidão
< 16	Inapta	< 900	Restrita
16 – 27	Apta	900 - 2.000	Apta
> 27	Inapta	> 2.000	Marginal

Fonte: Flores et al. (2016).

Com base no trabalho realizado por Loureiro Júnior et al. (2015) (Tabela 7) e em outros desenvolvidos por Santos et. al. (2012); Morais (2006); Valle et. al. (2012); Silva (2011); Mello et. al. (1971); Baesso et. al. (2010); Faria et. al. (2008); Almeida (2004) e Castro et. al. (2013) (ANEXO 1), os quais realizaram pesquisas analisando a produtividade do eucalipto em relação a deficiência hídrica em diferentes regiões do País, adaptou-se para o presente estudo, os parâmetros de deficiência hídrica anual à necessidade da espécie, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Exigências hídricas com base na produtividade média do cultivo do *Eucalyptus*

Potencial de produtividade	Produtividade (m ³ /ha/ano)	Deficiência (mm)	Classes de aptidão
Alta	> 35	30 - 250	Apta
Média	25 - 35	250 - 350	Marginal
Baixa	< 25	> 350	Restrita

A partir dos mapas de temperatura e Precipitação média anual e a deficiência hídrica anual delimitou-se as zonas ou classes de aptidão, para definir as áreas de exploração da cultura do Eucalipto na região do MATOPIBA, classificando-as na seguinte forma:

Quadro 3 - Classes de aptidão do *E. urophylla* referentes às condições de temperatura (T), deficiência hídrica anual (Da) e precipitação anual (Pa)

Condições		Classe de Aptidão
T(°C) <i>Inapta</i> (<16°C ou >27°C)	Da Apta Da Marginal Da Restrita	INAPTA*
T(°C) <i>Apta</i> 16 a 27°C	Da Apta 900 < Pa < 2.000 mm Da Apta Pa > 2.000 mm Da Apta Pa < 900 mm Da Marginal 900 < Pa < 2.000 mm Da Marginal Pa > 2.000 mm Da Marginal Pa < 900 mm Da Restrita 900 < Pa < 2.000 mm Da Restrita Pa > 2.000 mm Da Restrita Pa < 900 mm	APTA APTA* RESTRITA** MARGINAL MARGINAL* INAPTA RESTRITA RESTRITA* INAPTA

Por conseguinte o Quadro 4 apresenta a descrição para cada classe de aptidão para o *Eucalyptus urophylla* que foram geradas considerando os diferentes tipos de capacidade de água disponível - CAD.

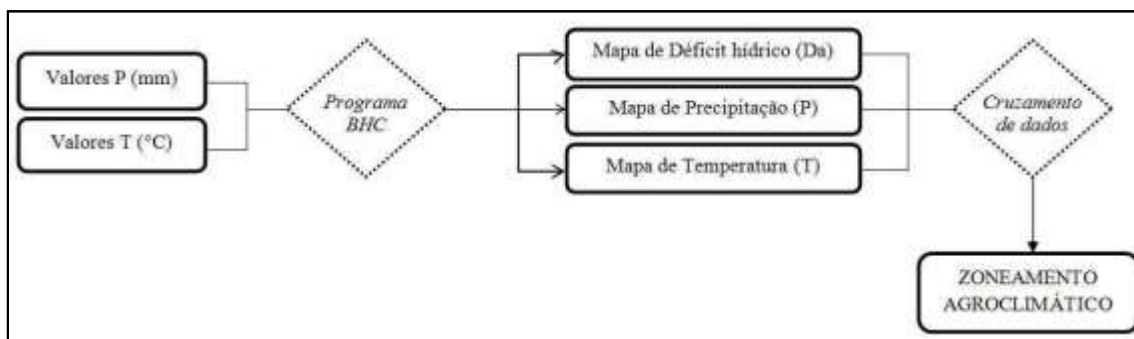
Quadro 4 - Descrição das classes de aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla*

Classe de Aptidão	Descrição
APTA	Condição térmica e hídrica favoráveis.
APTA*	Condição térmica e hídrica favoráveis, porém com observância à incidência de doenças.
MARGINAL	Condição térmica favorável e restrição hídrica. Apta com irrigação complementar.
MARGINAL*	Condição térmica favorável e restrição hídrica. Apta com irrigação complementar, porém com observância à incidência de doenças.
RESTRITA	Condição térmica favorável e restrição hídrica acentuada. Apta com irrigação plena.
RESTRITA*	Condição térmica favorável e restrição hídrica acentuada. Apta com irrigação plena, porém com observância à incidência de doenças.
RESTRITA**	Condição térmica e hídrica favoráveis, porém com observância a produtividade da cultura devido a baixa quantidade de chuva no ciclo da cultura.
INAPTA	Condição térmica favorável e restrição hídrica de forte a acentuada. Baixa quantidade de chuva durante o ciclo da cultura.
INAPTA*	Condição térmica desfavorável ao desenvolvimento da cultura.

Posteriormente foi realizado o agrupamento das 9 classes de aptidão agroclimática (Quadro 4), em apenas quatro classes (Quadro 5), com a finalidade de propiciar uma melhor visualização e interpretação dos mapas gerados.

Quadro 5 - Agrupamento das classes de aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla*

Classe de Aptidão	Classes agrupadas
APTA	Classe Apta e Apta*
MARGINAL	Classe Marginal e Marginal*
RESTRITA	Classe Restrita, Restrita* e Restrita**
INAPTA	Classe Inapta e Inapta*

Figura 9 - Fluxograma de elaboração das classes de aptidão agroclimática para cultura do *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA

4.3 - Zoneamento agroclimático e ambiental para o *Eucalyptus urophylla*

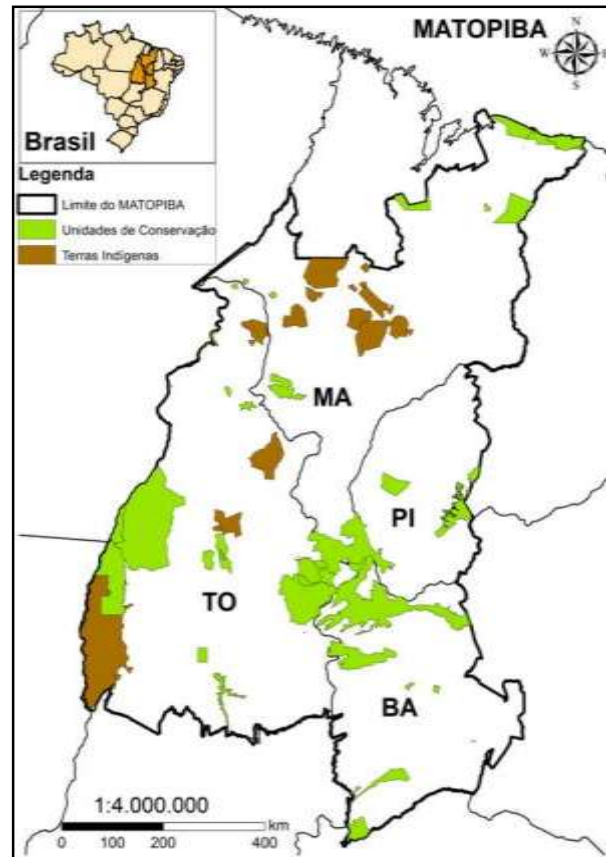
A realização desta atividade envolveu a execução de três etapas principais, conforme pode ser observado na Figura 10, as quais estão detalhadas a seguir.

1ª Etapa: Referiu-se à obtenção do mapa referente ao zoneamento de aptidão agroclimática para o *E. urophylla*, conforme descrito no item 4.2;

2ª Etapa: Elaboração do mapa que mostra as áreas sem restrições legais para o cultivo, considerando os mapas de áreas de uso legal restrito e potenciais para conservação ambiental e Reservas indígenas (Figura 10).

Segundo a Lei n. 9.995 de Julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC (BRASIL, 2000), nas Áreas de Proteção Ambiental – APAs, permite-se atividades econômicas, desde que sejam consideradas ambientalmente sustentáveis. Contudo, apesar disso optou-se também conforme adotado por Collicchio (2008), por resguardá-las de atividades intensivas. Nesse sentido, as APAs do MATOPIBA não foram consideradas como áreas disponíveis ao cultivo comercial de eucalipto.

Os arquivos em formato de *shapefile*, identificando as unidades de conservação e terras indígenas que estão localizadas dentro da região do MATOPIBA, foram obtidos no Ministério do Meio Ambiente – MMA (2007).



Fonte: adaptado do MMA (2017)

Figura 10 - Áreas de uso legal e potencial para a conservação ambiental e terras indígenas na região do MATOPIBA

Ressalta-se que neste estudo, a área disponível para produção agrícola e florestal é considerada bruta, pois foi estimada não considerando assentamentos rurais pertencentes aos governos estaduais ou Governo Federal (INCRA), massas d'água, Áreas de Preservação Permanente - APP, Reservas Legais e demais possíveis áreas impróprias ao cultivo em grande escala. Destaca-se que todo produtor ou empresa devem atender ao Código Florestal Brasileiro Lei 12.727/2012 (BRASIL, 2012).

3ª Etapa: Foi elaborado um mapa de classes de declividade de toda a região do MATOPIBA, com vistas a verificar se há adequabilidade quanto ao cultivo mecanizado do eucalipto.

O mapa de declividade foi gerado partir de imagens do SRTM, que apresentam resolução espacial de 90m, obtidas do banco de dados da Embrapa (MIRANDA, 2005). Foi feito um mosaico das imagens de radar, e em seguida gerou-se o modelo de elevação digital do terreno para toda região do MATOPIBA, e procedeu-se a classificação da

declividade visando à mecanização agrícola, baseado em Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015), conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11- Classes de adequabilidade ao cultivo mecanizado do eucalipto de acordo com a declividade

Classes de declividade (Graus)	Adequabilidade ao cultivo
0 – 3	Alta
3-8	Alta/Média
8- 20	Média
20 - 45	Baixa
>45	Inapta (Restritiva)

Fonte: Adaptado de Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015)

Associou-se então as unidades de conservação, reservas indígenas e as classes de declividade, onde executou-se o cruzamento de informações gerando o mapa de áreas brutas disponíveis e não disponíveis ao cultivo agrícola e florestal. Em seguida, esse mapa foi confrontado com os mapas do zoneamento de aptidão agroclimática, considerando os três CADs e gerando finalmente os mapas referentes ao zoneamento de aptidão agroclimática e ambiental da espécie *Eucalyptus urophylla* para a região do MATOPIBA (Figura 11).

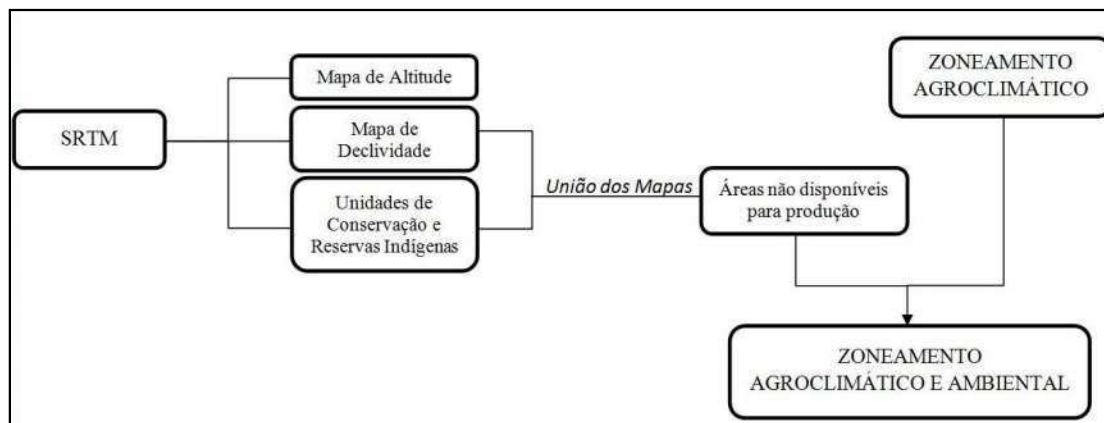


Figura 11 - Fluxograma dos procedimentos para o Zoneamento Agroclimático e Ambiental para cultura do *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Condições atuais do clima

Os mapas básicos de relevo, temperatura média anual e da precipitação anual na região do MATOPIBA estão apresentados na Figura 12.

A partir do mosaico das imagens do SRTM, a altitude varia de 1 a 1254 m, com predomínio de áreas com altitude de até 600 m (Figura 12a).

As regiões com predominância de áreas inclinadas e montanhosas ocorrem ao sul, sudeste e leste da região do MATOPIBA, mas precisamente no estado da Bahia, além das classes mais altas de 1.000 a 1.254 m situarem ao sudoeste do limite territorial da Bahia. Ao extremo norte do Maranhão e oeste do Tocantins são regiões com menor altitude apresentando as maiores temperaturas.

Golfari; Caser; Moura (1978), relatam que esta espécie de acordo com a sua região de origem, desenvolve-se melhor em altitudes que variam de 300 a 3.000m. Observa-se pela Figura 11, que as altitudes mais baixas (até 200 m), encontram-se de forma geral na planície do rio Araguaia (Tocantins) e na parte nordeste do MATOPIBA (parte do Maranhão). Contudo, de acordo com Ruy (1998), o *E. urophylla* apresenta crescimento muito bom em baixas altitudes.

Além disso o melhoramento genético tem trabalhado continuamente visando o desenvolvimento de novos clones de eucaliptos no Brasil para atender aos usos múltiplos da madeira e mais adaptados às condições ambientais locais e regionais (PALUDZYSZYN PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS, 2011).

Os mapas básicos de temperatura média do ar e da precipitação anual em torno da região do MATOPIBA estão apresentados na Figura 12b e Figura 12c, respectivamente.

A temperatura média anual da região do MATOPIBA determinada pelo modelo (Figura 12b) é de aproximadamente 24,3°C, variando de 21,1 a 27,3°C, apresentando uma amplitude térmica próxima de 6,2°C.

A região litorânea do estado do Maranhão, bem como a região do nordeste do mesmo, apresentam temperaturas médias anuais mais elevadas que as regiões montanhosas encontrada na região serrana da Bahia onde destaca-se pelas menores temperaturas médias anuais. Temperaturas elevadas também são encontradas ao sudoeste e uma porção ao norte do estado do Tocantins.

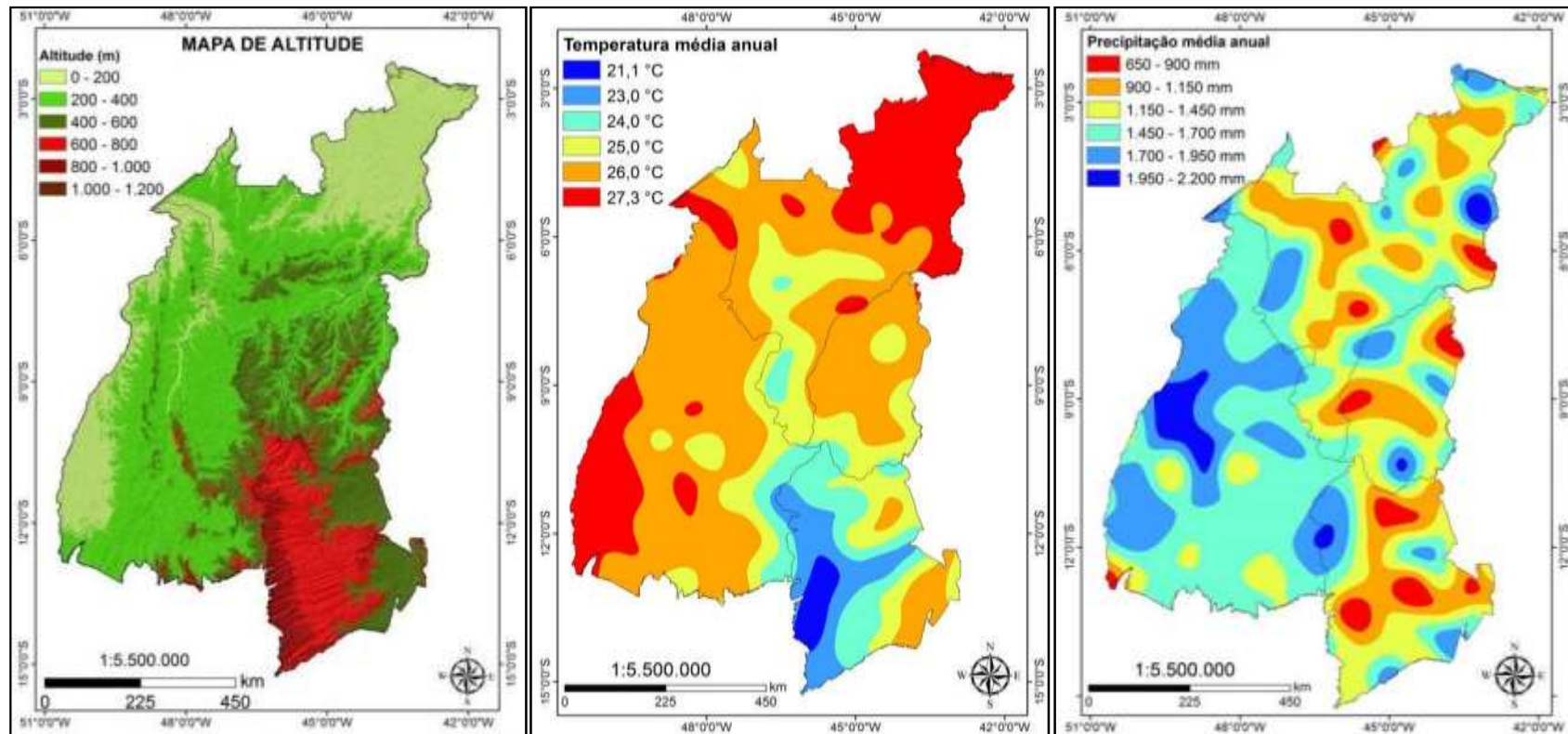
A temperatura predominante em grande parte da área de estudo varia 25 a 27°C, menores temperaturas (a partir de 21,1 °C) localiza-se na região oeste do estado da Bahia.

De acordo com Golfari (1975), Wilcken, et al (2008), Ribeiro (2009) e Flores, et al. (2016) não haveria restrição com relação à temperatura para o cultivo de eucalipto no MATOPIBA, com exceção das regiões que apresentaram temperatura média anual acima de 27°C, conforme pode ser visualizada na Figura 13b.

Quanto à precipitação média anual na região do MATOPIBA (Figura 12c), é de aproximadamente 1.425 mm, com uma amplitude de 1.550 mm, variando de 650 a 2.200mm.

Pode-se notar que as maiores quantidades de chuva ocorrem na região sudoeste que abrange desde a região noroeste do estado do Tocantins e numa pequena porção à leste da fronteira agrícola no estado do Maranhão. Observa-se as menores chuvas nas regiões sudeste ao centro e ao centro para o nordeste no MATOPIBA variando 650 a 1.450 em maior proporção nos estados do Maranhão, Piauí e Bahia.

Desta forma, Flores et al. (2016) afirmaram que poderá ocorrer restrições quanto ao cultivo, devido a alta pluviosidade em algumas regiões da fronteira agrícola tendo em vista que a precipitação máxima para o desenvolvimento da espécie *E. urophylla* é de 2.000 mm e a mínima de 900 mm.



(a)

(b)

(c)

Figura 12 - Classes de relevo em metros (a), temperatura média anual em °C (b) e precipitação total anual em (mm) (c) na região do MATOPIBA

As Figuras 13 e 14 apresentam as médias mensais de temperatura e as totais mensais de precipitação na região do MATOPIBA de forma espacializada.

Os meses que atingem temperaturas médias mais baixas ocorrem em junho, variando de 22,3 a 25,3°C, e em Julho de 22,1 a 25,2°C, podendo ser verificado na Tabela 12, que correspondem aos meses mais secos, e as temperaturas mais elevadas ocorrem no mês de outubro, exceto para o estado do Tocantins que aponta uma temperatura de 26,8°C no mês de setembro.

Tabela 12 - Temperaturas médias mensais mais baixas e altas para os estados que envolvem a região do MATOPIBA

UF	Temperaturas mais baixas (°C)		Temperaturas mais altas (°C)	
	jun	jul	set	out
BA	22,3	22,1	25,4	25,6
MA	25,3	25,2	27,0	27,4
PI	24,0	23,8	26,4	26,7
TO	24,6	24,4	26,8	26,4

Para todos os estados que abrangem a fronteira agrícola do MATOPIBA, os maiores índices de chuvas se iniciam em outubro e estende ao mês de abril, sendo que o período de janeiro a março se caracterizam por serem mais chuvoso, dentre eles a precipitação mais elevada é registrado no mês de março, entre 226,1 a 262,8 mm, conforme a Tabela 13.

No entanto, os Estados passam por período mais crítico com baixa pluviosidade de 4 a 6 meses. O estação mais seca da região do MATOPIBA estão entre os meses de junho a setembro com precipitações mensais inferiores a 50mm.

Tabela 13 - Precipitações mensais mais baixas e altas para os estados que envolvem a região do MATOPIBA

UF	Precipitação elevada (mm)			Precipitação baixa (mm)			
	jan	fev	mar	jun	Jul	ago	set
BA	200,6	184,3	226,1	14,7	6,8	5,3	21,6
MA	209,8	195,1	230,4	15,0	6,9	6,2	25,7
PI	214,6	208,3	251,9	17,7	7,9	5,9	23,2
TO	264,0	245,6	262,8	9,7	4,6	9,2	46,0

Pela Figura 15 observa-se semelhança no comportamento das médias mensais da temperatura e totais mensais de precipitação durante o ano para cada Estado na região do MATOPIBA, variando a magnitude dos valores de temperatura e precipitação. Verificou-se também que a estação seca ocorre no mesmo período em todos os Estados, ou seja de maio a setembro, retratando bem a sazonalidade anual. Percebe-se pela Figura 14, que no mês de maio inicia-se um processo de escasseamento das chuvas, sendo marcado por quatro meses subsequentes bem secos.

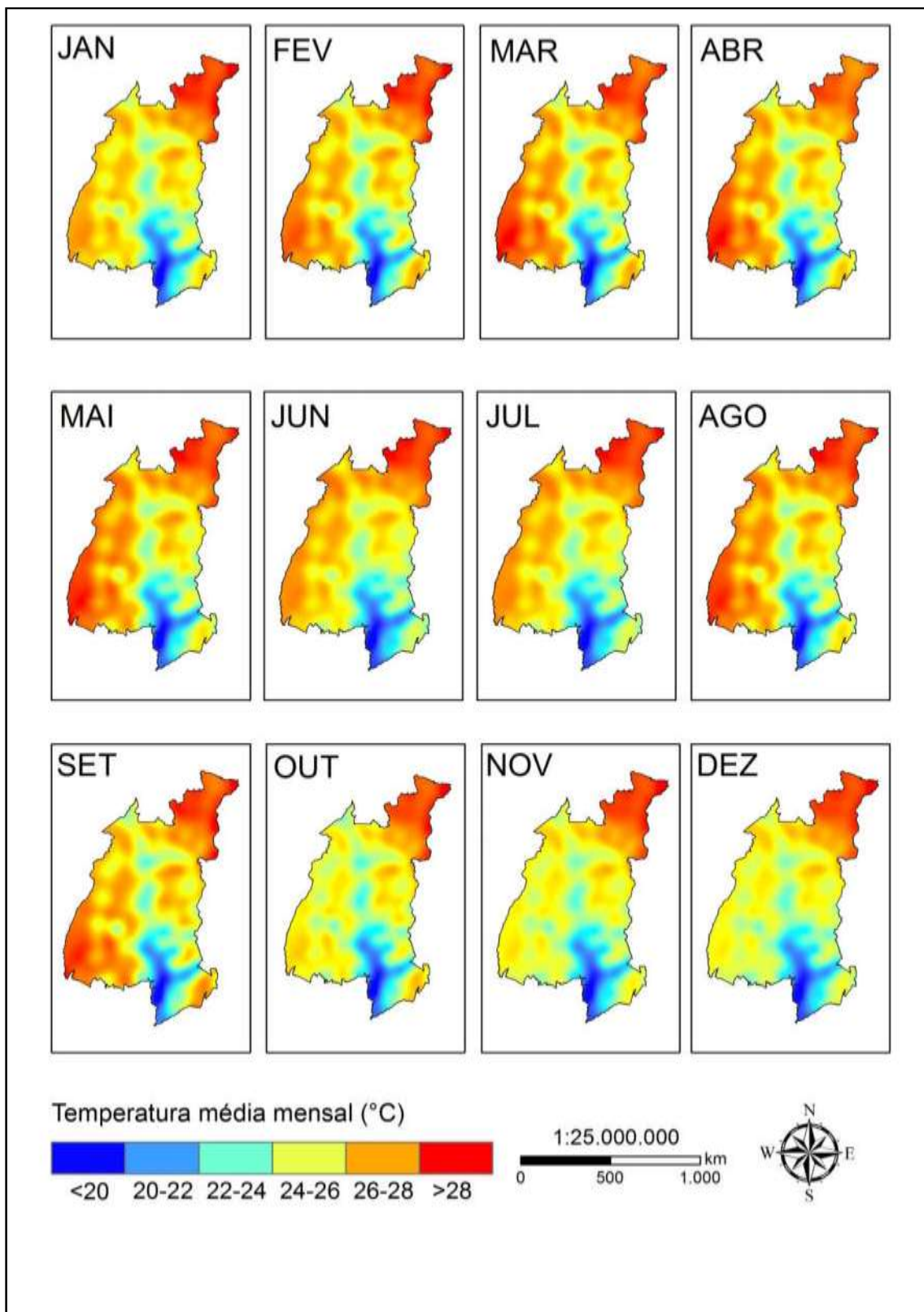


Figura 13 - Espacialização da temperatura média mensal para região do MATOPIBA

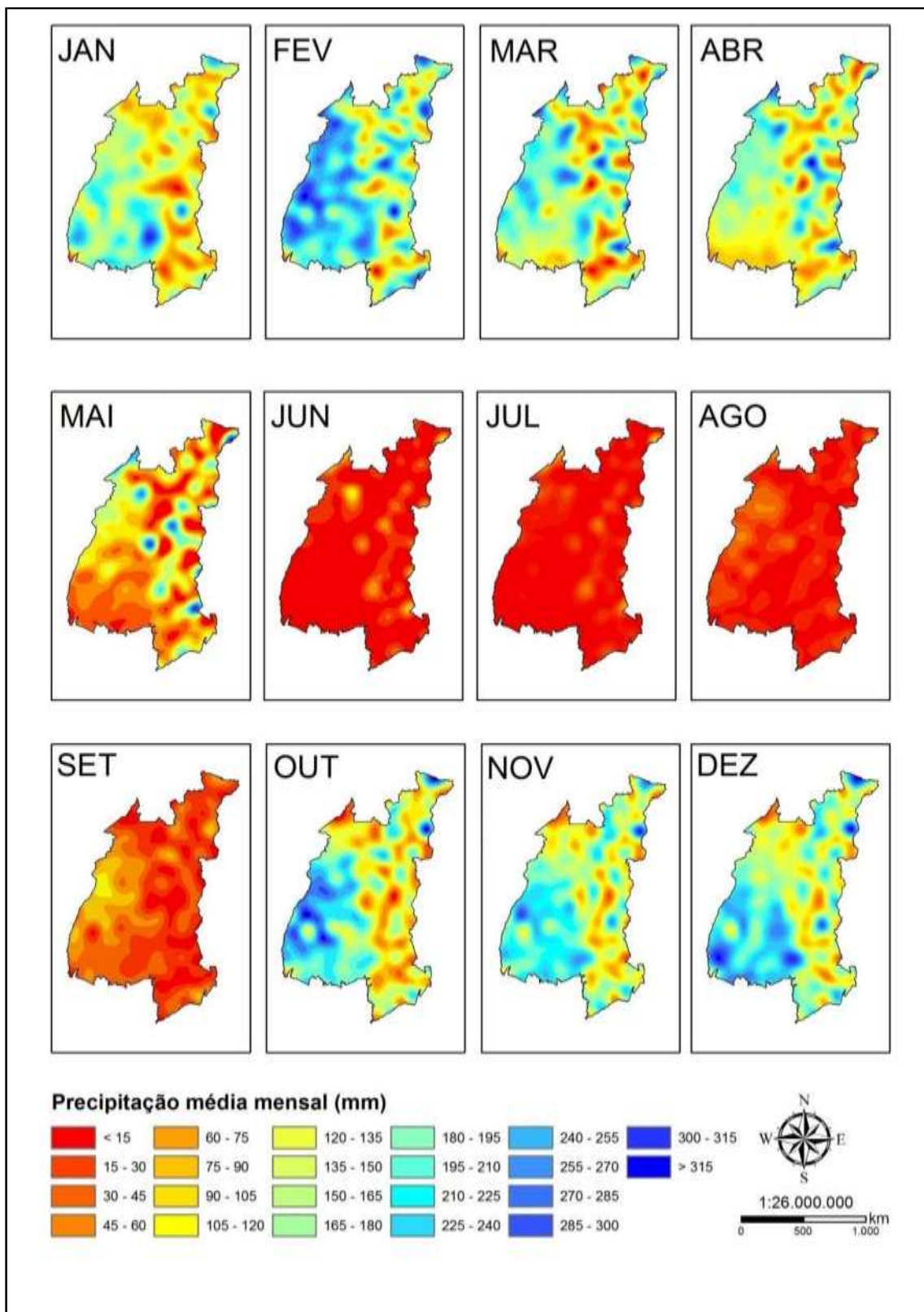


Figura 14 - Espacialização da precipitação mensal para a região do MATOPIBA

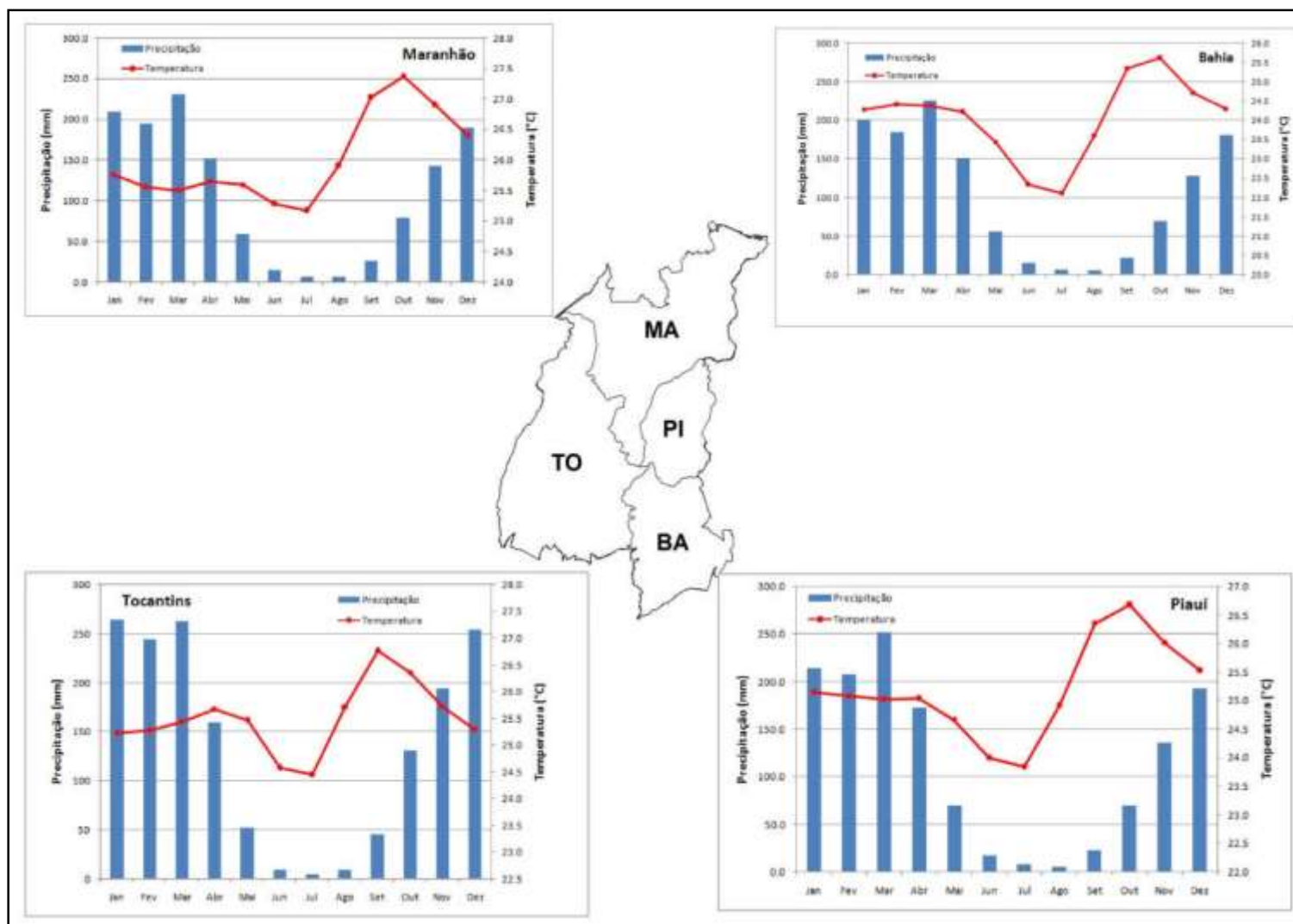


Figura 15 - Médias mensais da temperatura e totais mensais de precipitação por Estado na região do MATOPIBA

5.2 Classes de aptidão agroclimática, considerando os diferentes CAD 's

5.2.1 Classes de aptidão agroclimática, considerando o CAD = 100 mm

A deficiência hídrica anual para o CAD 100 mm na região do MATOPIBA variou de cerca de 151 a 884,1 mm, com uma amplitude de 733 mm (Tabela 14).

Tabela 14 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 100mm

Parâmetros	Min.	Máx.	Média	Amplitude
Ta (°C)	21,2	27,3	24,3	6,2
Pa (mm)	650	2.200	1.425	1.550
Da (mm)	151	884	517,5	733

Percebe-se que os menores valores de deficiência hídrica (Figura 16) foram observados na porção sudeste do MATOPIBA (regiões oeste e sul e leste da Bahia) e em algumas porções ao sul do Maranhão, os quais ficaram no limite da classe de aptidão favorável ($30 < Da < 250$ mm), ou seja, boas condições para o cultivo de eucalipto. Por outro lado, as maiores deficiências hídricas foram encontradas nas regiões sudoeste, leste e sul do Tocantins, leste e oeste do estado de Piauí, leste da Bahia e na regiões nordeste e extremo norte do Maranhão.

Com base em estudos científicos realizados em 17 localidades distintas do Brasil, relativos à produtividade da madeira do eucalipto, observou-se que cerca de 70 % desses locais, apresentaram deficiência hídrica anual inferior a 250 mm (ANEXO 1).

Já na região do MATOPIBA, observou-se que a maior parte de sua área apresenta deficiência hídrica anual superior a 350 mm (Figura 16 e Tabela 15)

Os resultados para as três variáveis climatológicas estão demonstrados na Figura 17, e mostram que de forma geral as condições termais e de precipitação são favoráveis ao desenvolvimento da cultura, devido à predominância da classe "apta". Já com relação à classe de aptidão da deficiência hídrica, observa-se a existência de três classes: "apta" ($30 < Da < 250$), "marginal" ($250 < Da < 350$) e "restrita" ($Da > 350$). Contudo conforme constatado anteriormente há o predomínio da classe "restrita", correspondente a uma área de 491.190,53 km², representando cerca de 67,13% da área do MATOPIBA (Tabela 15), podendo ocorrer nessas áreas menores produtividades ou mesmo perdas da cultura, caso não haja irrigação plena.

Loureiro Junior et al. (2015), relacionaram a tendência de queda da produtividade, à medida que ocorre o aumento da deficiência hídrica anual. O mesmo pôde ser observado a partir dos resultados dos estudos relacionados no ANEXO 1.

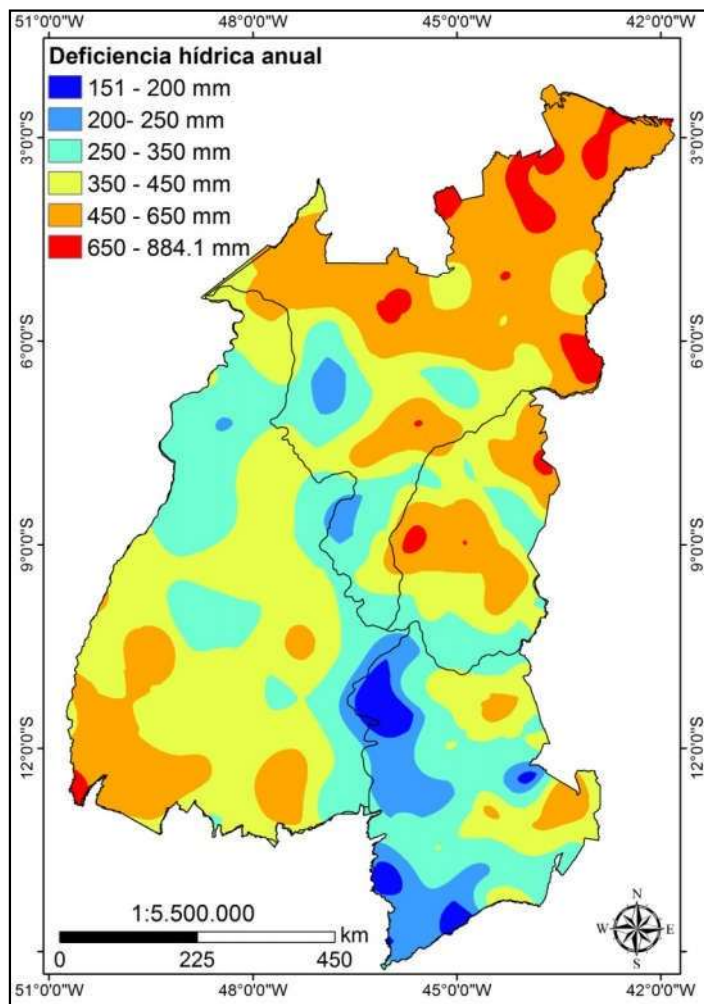


Figura 16 - Deficiência hídrica anual (CAD = 100mm) na região do MATOPIBA

Tabela 15- Área das classes de aptidão da deficiência hídrica pertencente a CAD = 100mm

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Apta (30<Da<250 mm)	56.170,76	7,68
Marginal (250<Da<350 mm)	184.373,57	25,20
Restrita (>350 mm)	491.190,53	67,12
TOTAL	731.734,85	100,00

Com base na Figura 18, que mostra a aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA (CAD = 100 mm), constata-se a presença de oito classes de aptidão, com extensões diferentes.

A região do MATOPIBA apresenta um percentual de 7,69% de aptidão plena para o cultivo do *Eucalyptus urophylla*, o equivalente a uma área de 56.241,11 km² (Tabela 16).

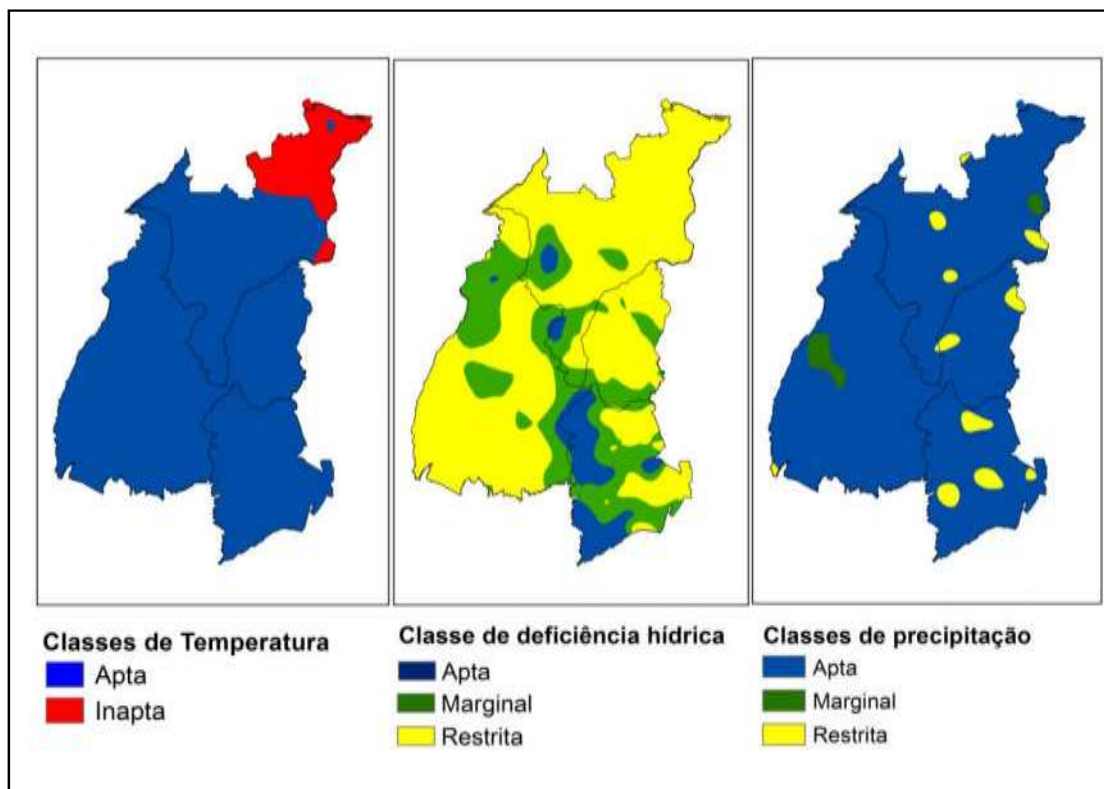


Figura 17 - Classes de T_a ($^{\circ}\text{C}$) (a), classes de D_a (mm) (b) e P_a (mm) (c) na região do MATOPIBA

Áreas com classe de aptidão "marginal" ($250 < D_a < 350$ mm) com característica de média produtividade para o eucalipto, corresponderam 23,80% da área total da fronteira agrícola ($174.187,32 \text{ km}^2$), cujas áreas apresentam condição térmica favorável e restrição hídrica, com a necessidade de utilizar irrigação complementar. Já a "classe marginal*" que ocorre em uma área de cerca de $5.025,08 \text{ km}^2$, apresenta condição térmica favorável e restrição hídrica e apta com uso irrigação complementar, porém com observância ao ataque de doenças, uma vez que nessas áreas, a precipitação constatada atinge valores superiores 2.000 mm .

A área da classe com maior proporção, "restrita", equivale a 54,37%, a qual enquadra-se numa condição térmica favorável e restrição hídrica acentuada. Em relação à classe "restrita*", esta tem ocorrência em uma pequena área equivalente a $4.968,40 \text{ km}^2$, localizada apenas na porção oeste do estado do Tocantins.

A condição "inapta", de coloração vinho no mapa, corresponde às áreas com precipitação inferior a 900 mm e a classe de "inapta*", com ocorrência no extremo norte do estado do Maranhão, é devido especificamente às condições térmicas, evidenciando temperaturas maiores que 27°C na região.

Tabela 16 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 100mm

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	56.241,11	7,69
Marginal	174.187,32	23,80
Marginal*	5.025,08	0,69
Restrita	397.865,93	54,37
Restrita*	4.968,40	0,68
Restrita**	43,80	0,01
Inapta	25.034,17	3,42
Inapta*	68.369,03	9,34
TOTAL	731.734,85	100,00

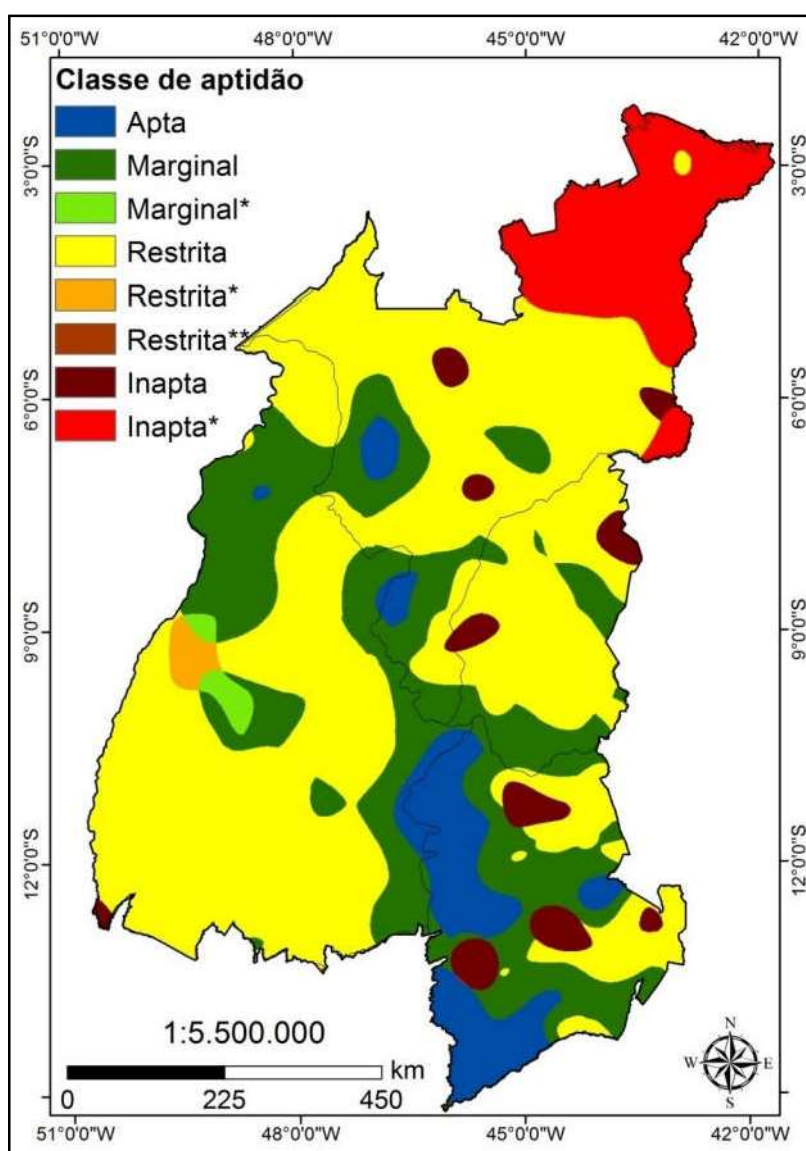


Figura 18 - Aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 100mm

A Figura 19 apresenta resumidamente as classes de aptidão para o cultivo do *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA e conforme a Tabela 17, pode-se confirmar que a classe "restrita" foi predominante na região com 55,06% da área total.

Tabela 17 - Áreas por classes de aptidão para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com a CAD = 100 mm (classes agrupadas)

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	56.241,11	7,69
Marginal	179.212,40	24,49
Restrita	402.878,14	55,06
Inapta	93.403,20	12,76
TOTAL	731.734,85	100,00

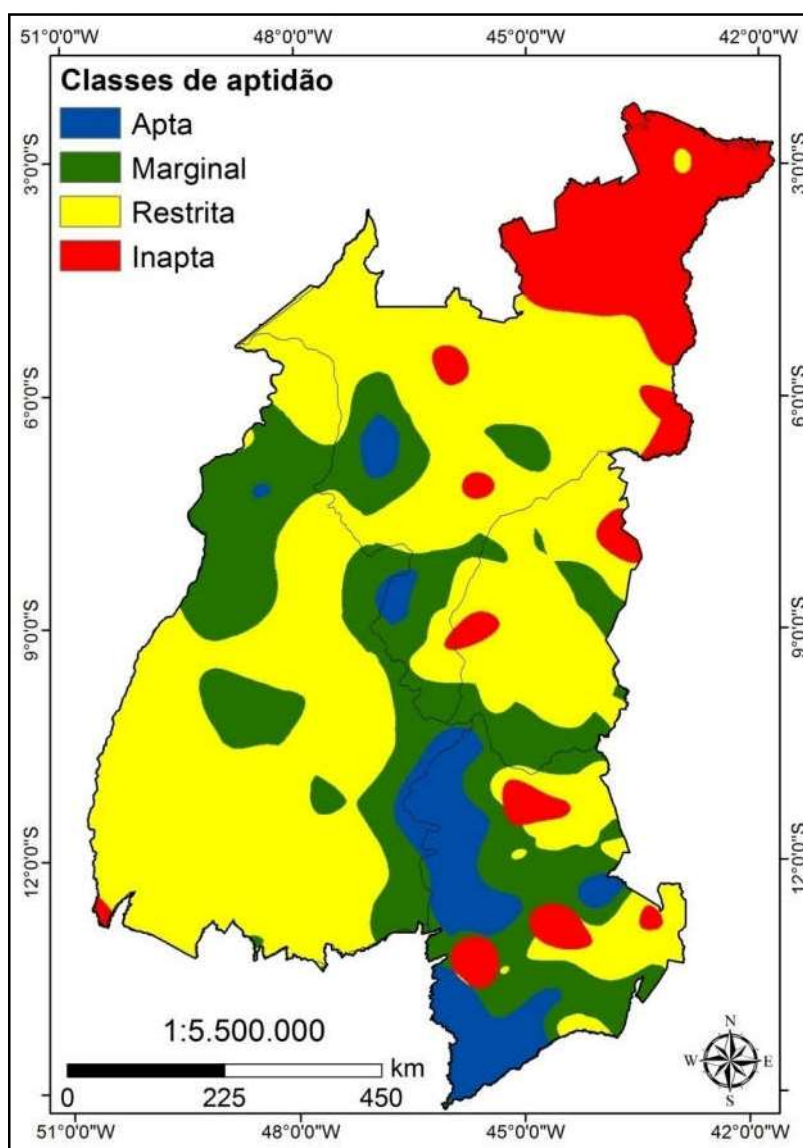


Figura 19 - Aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 100mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão

5.2.2 Classes de Aptidão agroclimática, considerando o CAD = 150 mm

A deficiência hídrica anual na região do MATOPIBA para o CAD 150 variou entre a mínima de 122 mm e a máxima de 884 mm, com 762 mm de amplitude (Tabela 18).

Tabela 18 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 150mm

Parâmetros	Min.	Máx.	Média	Amplitude
Ta (°C)	21,2	27,3	24,3	6,2
Pa (mm)	650	2.200	1.425	1.550
Da (mm)	122	884	503	762

Nota-se na Figura 20, que ocorreu um aumento na proporção na deficiência hídrica com menor valor (Da até 350 mm), numa faixa transversal partindo da região sudeste da Bahia, passando pelo centro da área de estudo, e atingindo a porção oeste e noroeste do estado do Tocantins.

Visualiza-se que a soma das classes de aptidão "apta" ($30 < Da < 250$ mm) e "marginal" ($250 < Da < 350$ mm), ou seja, que potencialmente apresentariam de alta a média produtividade no cultivo de eucalipto, correspondem a quase 50 % da área do MATOPIBA (Tabela 19).

As maiores deficiências hídricas que referem-se à classe "restrita" ($Da > 350$ mm), foram constatadas especialmente nas regiões sul-sudoeste do Tocantins, nas regiões noroeste e extremo norte do Maranhão e em pequenas proporções ao leste dos estados do Piauí e Bahia. Essa classe abrange cerca de 50,73% da área do MATOPIBA.

Percebe-se pela Tabela 19 e Figura 21b, que ocorreu um aumento da área das classes de aptidão "apta" e "marginal" e uma redução da área da classe "restrita", quando comparada com o uso da CAD 100.

O aumento percentual da área da classe "apta" foi quase duas vezes, isto é passando de 7,68 para 15,24% e da classe "marginal" o valor passou de 25,20 para 34,73%. Já a redução da área da classe "restrita", observou-se que caiu de 67,12 para 50,73%, quando utilizada a CAD 150. Esses resultados tendem a ser mais satisfatório para o desenvolvimento da cultura em relação ao uso da CAD 100.

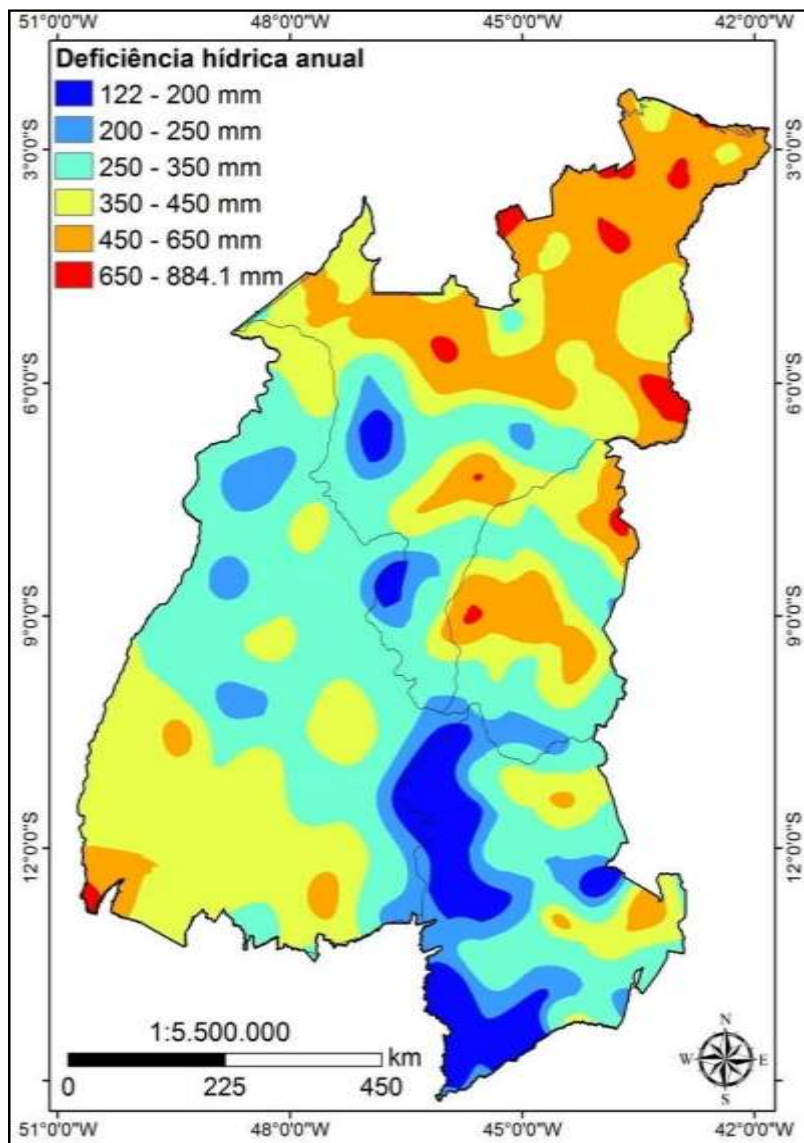


Figura 20 - Deficiência hídrica anual (CAD = 150mm) na região do MATOPIBA

Tabela 19 - Áreas das classes de aptidão para deficiência hídrica pertencente a CAD = 150mm

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Apta (30<Da<250 mm)	111.533,05	15,24
Marginal (250<Da<350 mm)	248.990,25	34,03
Restrita (>350 mm)	371.211,55	50,73
TOTAL	731.734,85	100,00

Diante desse cenário, as classes de aptidão climática para o *Eucalyptus urophylla* com a CAD = 150 mm, identificou-se a presença de oito classes, como pode ser visto na Figura 22.

Para o CAD 100, a região oeste do estado do Tocantins obteve-se a classe restrita*, no entanto para o CAD 150 a mesma área tomou-se como marginal* correspondendo a 8.386,81

km². Nota-se pela Figura 22 que ocorreu um condição favorável permitindo obter a classe apta* (1.628,08 km²) no entorno.

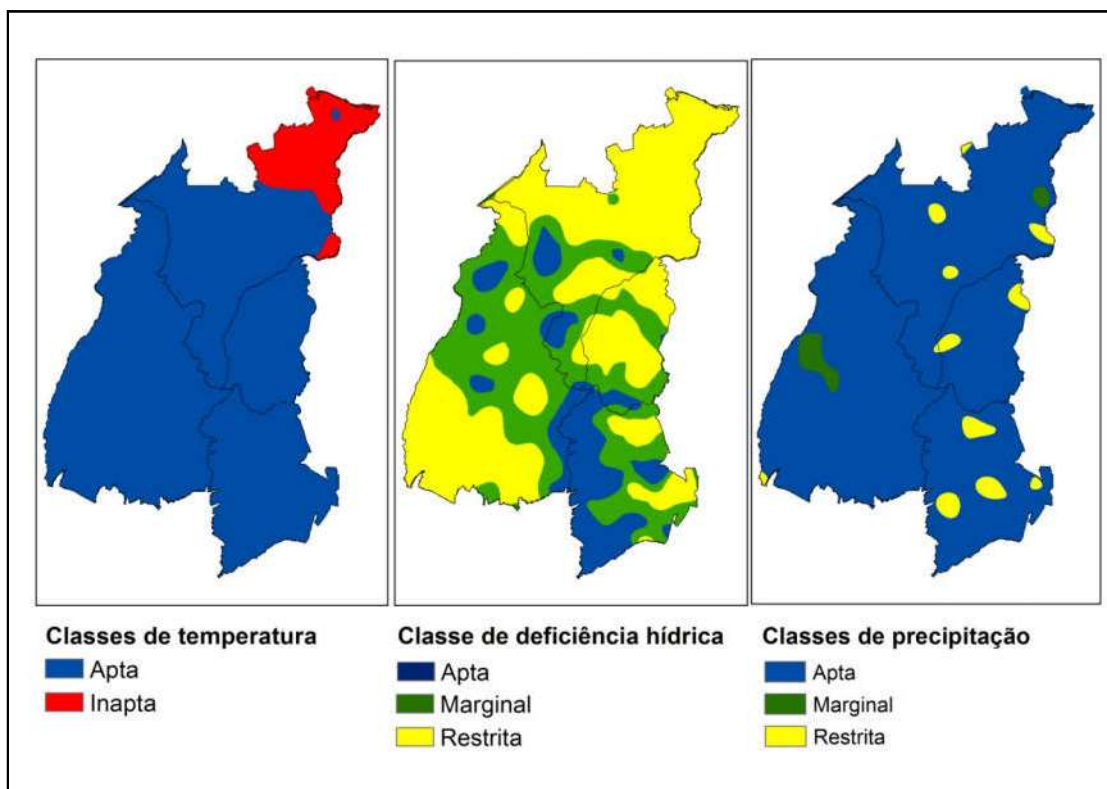


Figura 21 - Classes de Ta (°C) (a), classes de Da (mm) (b) e classes de Pa (mm) (c) na região do MATOPIBA

Constata-se que houve uma redução na classe restrita ($Da > 350\text{mm}$) de modo geral na área do MATOPIBA compondo-se ao CAD = 150mm de 38,86% da área total, essa classe envolve o sudoeste e o extremo norte do estado do Tocantins adentrando para Maranhão, leste da Bahia e a região centro e norte do Piauí sentido centro do estado do Maranhão.

A condição "inapta" no extremo norte do estado do Maranhão se repete para a condição do CAD = 150 mm o que se deve às condições térmicas, com temperaturas maiores que 27°C na região.

Chama-se atenção o aumento da classe de aptidão marginal ($250 < Da < 350\text{mm}$) correspondendo a 32,23% da área do MATOPIBA, o mesmo ocorreu com a classe de aptidão plena ($30 < Da < 250\text{mm}$) apresentou um acréscimo de 54.890,58 km² em relação ao CAD=100mm. Ambas as classes revela-se condições térmicas ideais ao plantio de eucalipto, porém a classe marginal indica regiões com média produtividade.

Tabela 20 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 150mm

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	108.131,69	14,78
Apta*	1.628,08	0,22
Marginal	235.853,57	32,23
Marginal*	8.386,81	1,15
Restrita	284.341,21	38,86
Restrita**	1.748,31	0,24
Inapta	23.265,45	3,18
Inapta*	68.379,73	9,34
TOTAL	731.734,85	100,00

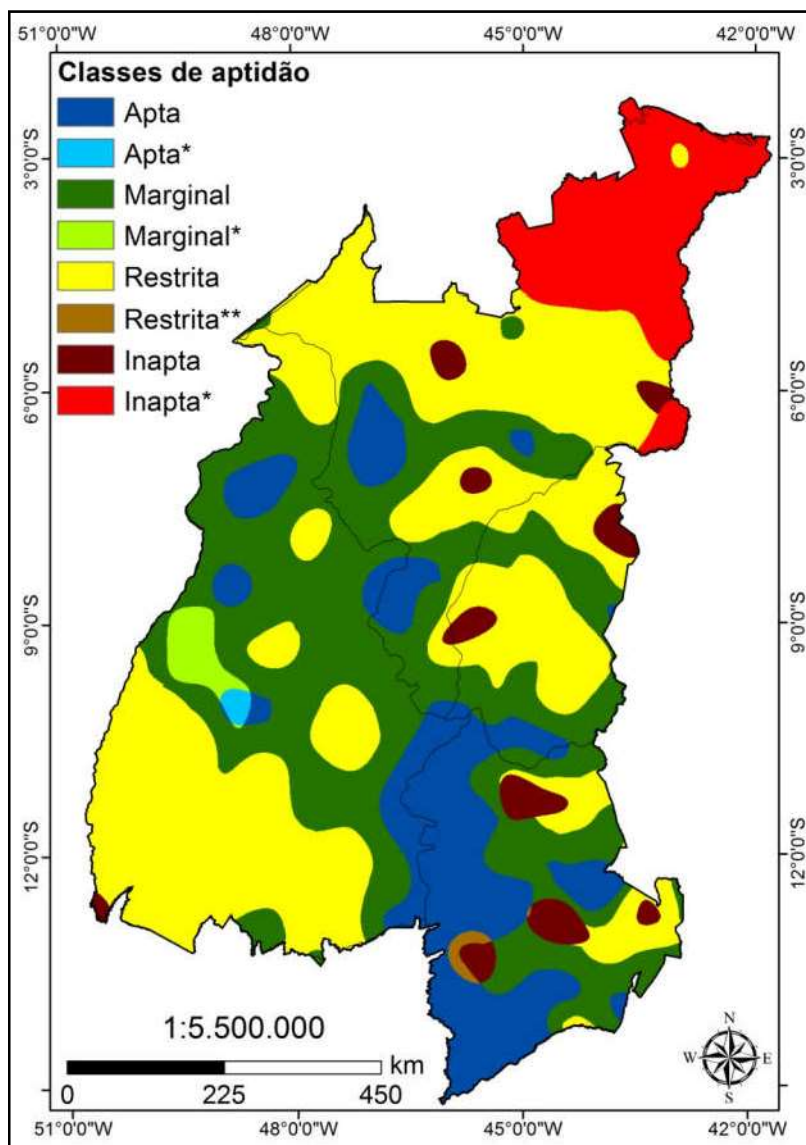


Figura 22 - Classes de aptidão climática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 150mm

Por último, a Figura 23 apresenta o agrupamento das classes de aptidão na fronteira agrícola com a CAD = 150mm. Constata-se na Tabela 21 que as classes marginal (33,38%) e a classe restrita (39,10) se sobressaem na região. Vale destacar a classe apta, a qual aumentou para 15% em relação a CAD = 100 mm (7,69 %).

Tabela 21 - Áreas por classes de aptidão para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com a CAD = 150mm (classes agrupadas)

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	109.759,77	15,00
Marginal	244.240,38	33,38
Restrita	286.089,52	39,10
Inapta	91.645,18	12,52
TOTAL	731.734,85	100,00

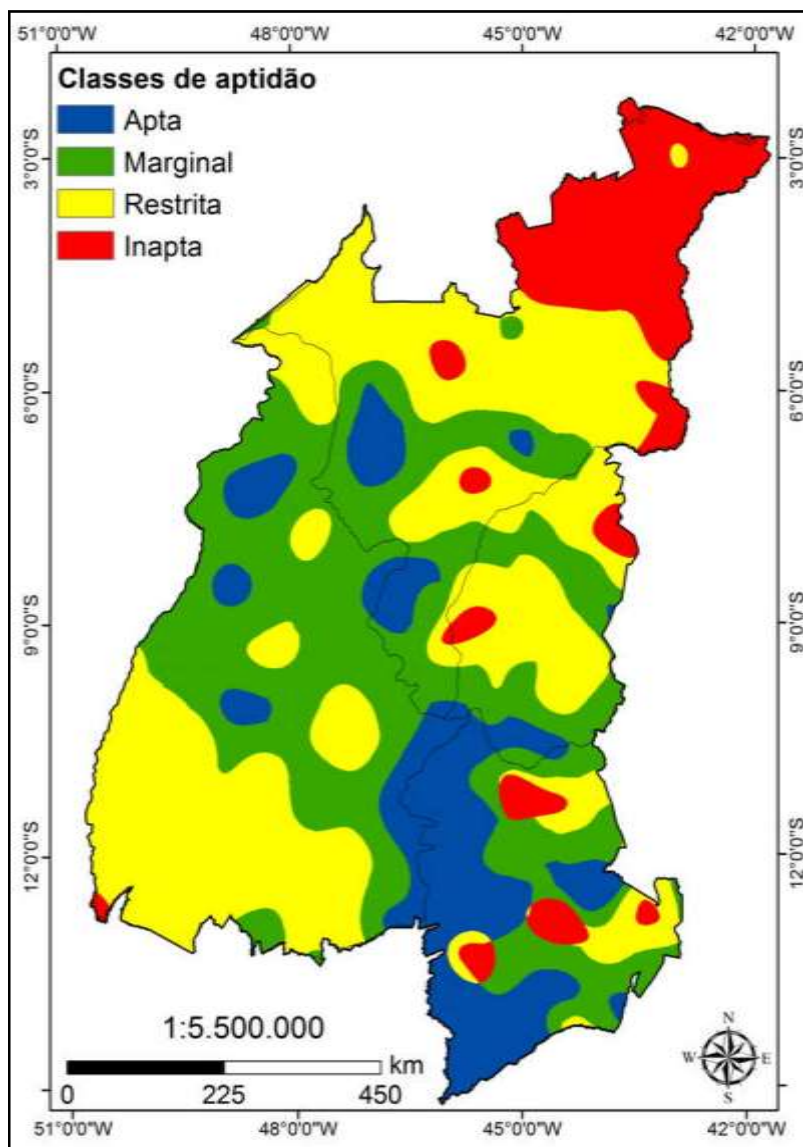


Figura 23 - Aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 150mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão

5.2.3 Classes de aptidão agroclimática, considerando o CAD = 220 mm

A deficiência hídrica anual para o CAD = 220 mm na região do MATOPIBA pode ser verificada na Figura 24. De acordo com a Tabela 22, a deficiência hídrica anual varia de 96 a 200mm, e uma amplitude de 788 mm.

Tabela 22 - Observação dos parâmetros climatológicos para o CAD = 220mm

Parâmetros	Min.	Máx.	Média	Amplitude
Ta (°C)	21,2	27,3	24,3	6,2
Pa (mm)	650	2.200	1.425	1.550
Da (mm)	96	884	490	788

A exigência hídrica mais elevada ocorre em pequenas porções ao leste da fronteira agrícola. A classe de deficiência variando de $30 < Da < 250$ mm permanece em evidência na região serrana da Bahia e sentido Sul do estado do Maranhão. Havendo ainda uma expansão dessa classe na região Noroeste do Tocantins.

A deficiência hídrica ($250 < Da < 350$ mm) predomina em grande parte o estado do Tocantins, adentrando ao centro do Maranhão e ao oeste do estados do Piauí e Bahia.

Quanto ao parâmetro climatológico de deficiência hídrica, as classes relacionada ao CAD = 220mm estão relativamente bem distribuídas, conforme a Tabela 23. As variáveis, temperatura e precipitação, são apresentadas na Figura 25.

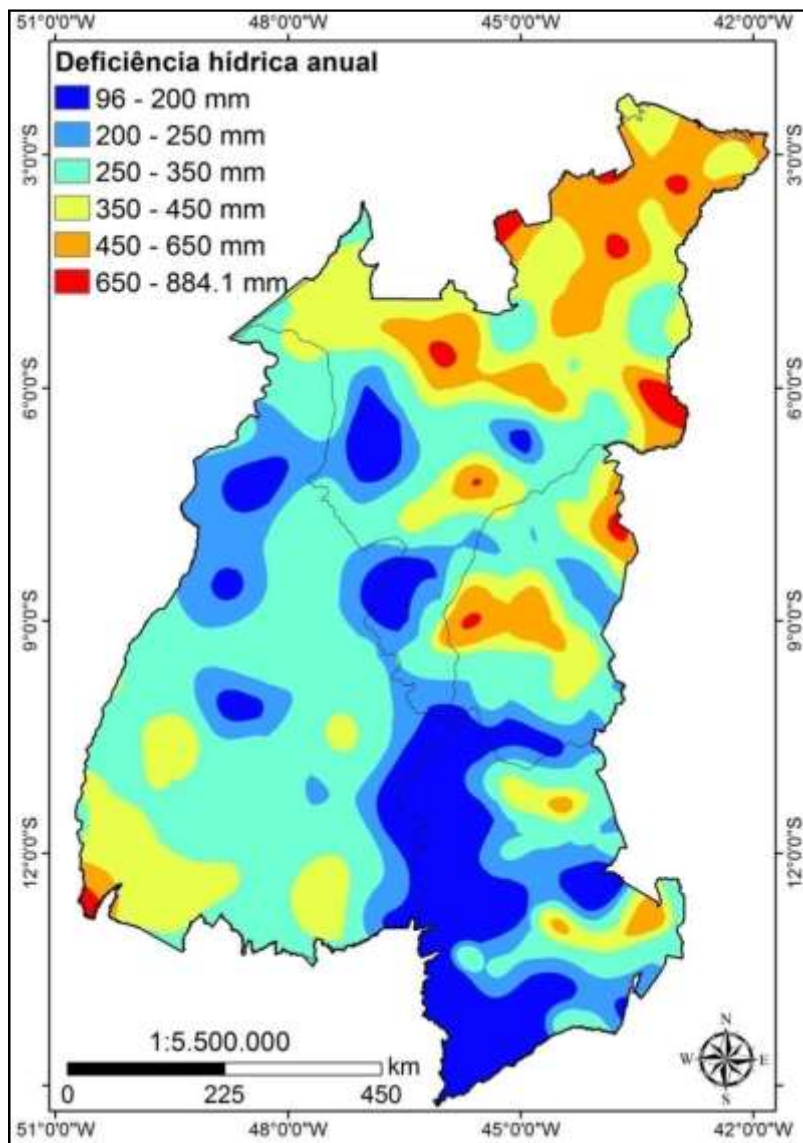


Figura 24 - Deficiência hídrica anual (CAD = 220mm) na região do MATOPIBA

Tabela 23 - Áreas das classes de aptidão para deficiência hídrica pertencente a CAD = 220mm

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Apta (30<Da<250 mm)	216.196,26	29,55
Marginal (250<Da<350 mm)	280.009,11	38,27
Restrita (>350 mm)	235.529,48	32,19
TOTAL	731.734,85	100,00

Perante o exposto, foram geradas oito classes de aptidão agroclimática do *Eucalyptus urophylla* para o CAD=220mm, conforme a Figura 26.

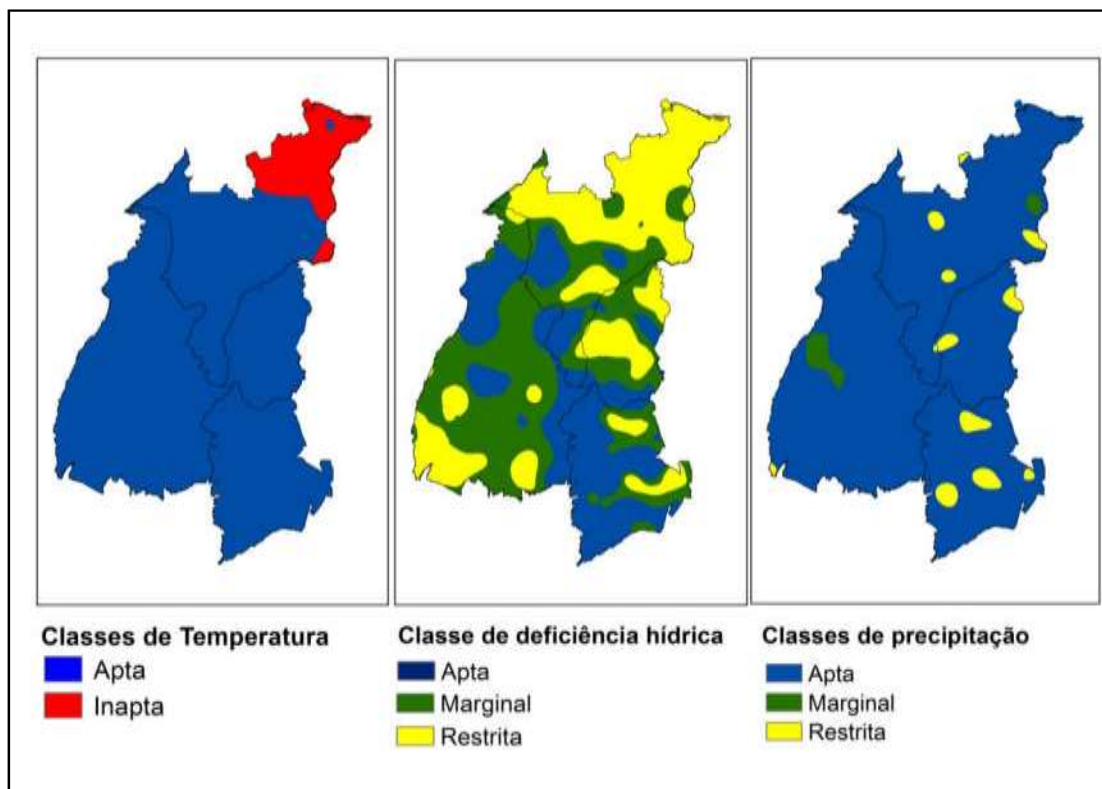


Figura 25 - Classes de T_a ($^{\circ}\text{C}$) (a), classes de D_a (mm) (b) e classes de P_a (mm) (c) na região do MATOPIBA

A classe apta, refere-se ao pleno cultivo do *Eucalyptus urophylla* e a alta produtividade apresentando grandes proporções com 209.079,74 km² de área, a 28,57%, sentido sul e sudeste e ao noroeste da fronteira agrícola. O mapa de aptidão climática para o *Eucalyptus urophylla* apresentado na Figura 26, destaca-se a classe marginal, caracterizada por uma zona com condição térmica favorável e restrição hídrica com irrigação complementar correspondente a 36,33% da área do MATOPIBA.

Importante destacar que essas duas classes representa 64,9% da área da fronteira e seguem as condições ideais para o plantio com o menor risco de investimento.

A região com condição térmica favorável, porém restrição hídrica acentuada refere-se a classe restrita, encontrada em algumas porções ao leste da fronteira e outras ao sudoeste e em maior extensão ao norte, a dimensão dessa classe chega a 153.430,61 km² ao percentual de 20,97% da fronteira agrícola.

No entanto a região norte do MATOPIBA, no estado do Maranhão, ainda reproduz a classe inapta decorrente a temperaturas maiores que 27 $^{\circ}\text{C}$, ocasionando restrições ao cultivo do eucalipto.

Em suma, a Figura 27 apresenta as classes de aptidão na região do MATOPIBA com a CAD = 220mm. Na Tabela 25, as classes apta, marginal e restrita encontram-se bem

Tabela 24 - Áreas por classes de aptidão agroclimática para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 220mm

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	209.079,74	28,57
Apta*	4.074,79	0,56
Marginal	265.816,11	36,33
Marginal*	5.940,10	0,81
Restrita	153.430,61	20,97
Restrita**	3.016,75	0,41
Inapta	21.997,01	3,01
Inapta*	68.379,73	9,34
TOTAL	731.734,85	100,00

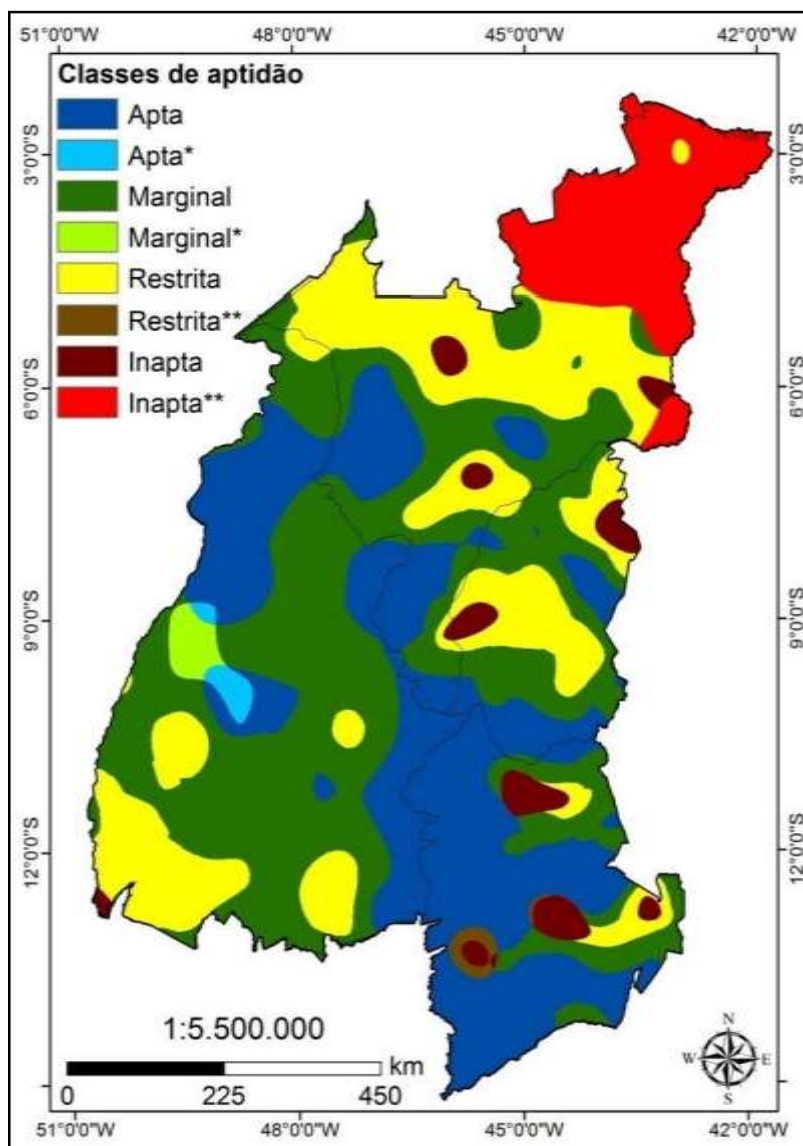


Figura 26 - Classes de aptidão climática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 20mm

distribuídas em torno da área da fronteira. A classe apta, teve um aumento para 29,13% em relação a CAD = 100 mm (7,69 %) e a CAD = 150mm (15%) .

Tabela 25 - Áreas por classes de aptidão para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com a CAD = 220mm (classes agrupadas)

Classes de aptidão	Área (km ²)	Área (%)
Apta	213.154,54	29,13
Marginal	271.756,21	37,14
Restrita	156.447,36	21,38
Inapta	90.376,74	12,35
TOTAL	731.734,85	100,00

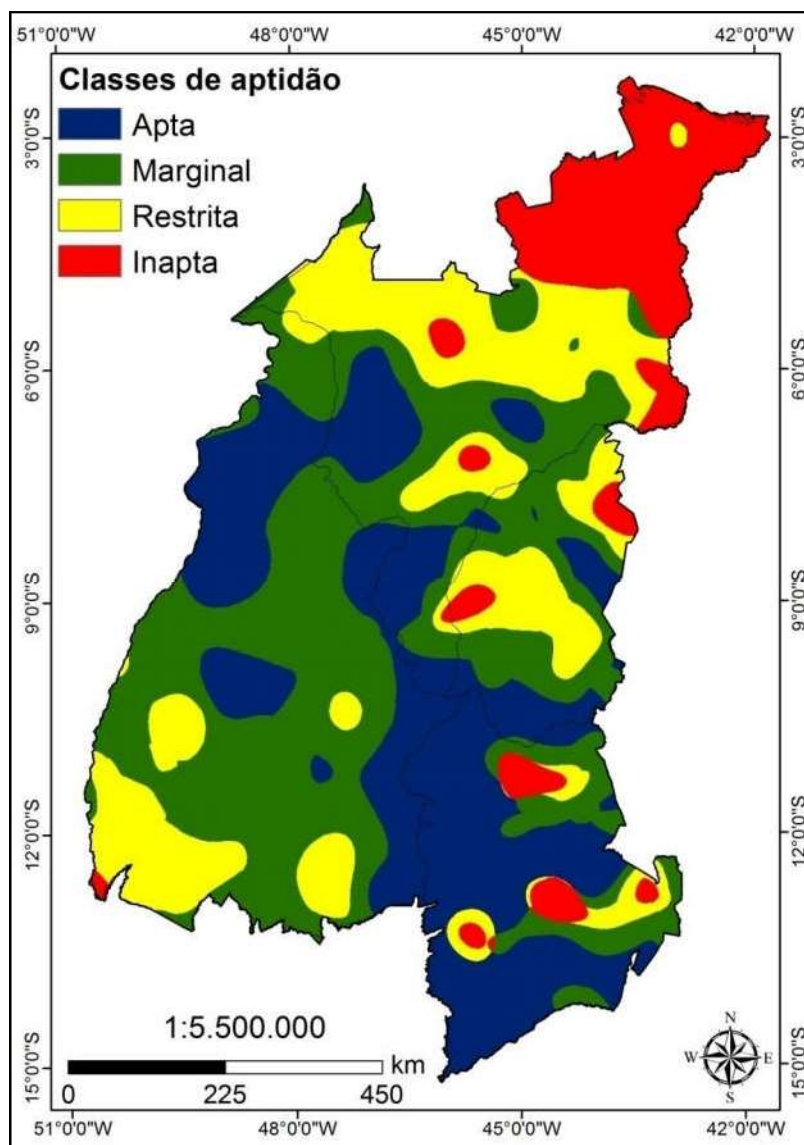


Figura 27 - Aptidão agroclimática para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA - CAD = 220mm, considerando o agrupamento de classes de aptidão

5.3 Zoneamento agroclimático e ambiental para o *Eucalyptus urophylla*

A Figura 28a mostra as classes de declividade, que reflete de modo geral na elevação da área de estudo. Em grande parte da região apresenta relevo suave, com grau de declividade entre 0-3°, ocasionando alta adequabilidade ao plantio mecanizado de eucalipto de acordo com a classificação baseado em Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015). As regiões com predominância de áreas inclinadas e montanhosas ocorrem ao sul, mas também do centro para o norte da fronteira agrícola.

Posteriormente foi realizada a reclassificação do relevo, levando em consideração a classificação de Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015) ocasionando duas classes de aptidão. As classes de aptidão relacionada ao declive pode ser confirmada pela Figura 28b, a cor verde ao mapa refere-se ao grau de declividade de 0 a 3° considerando a região recomendada para o cultivo de eucalipto, quanto a coloração escura no mapa, de 4 a > 45° supõe-se regiões não recomendada para o desenvolvimento da cultura.

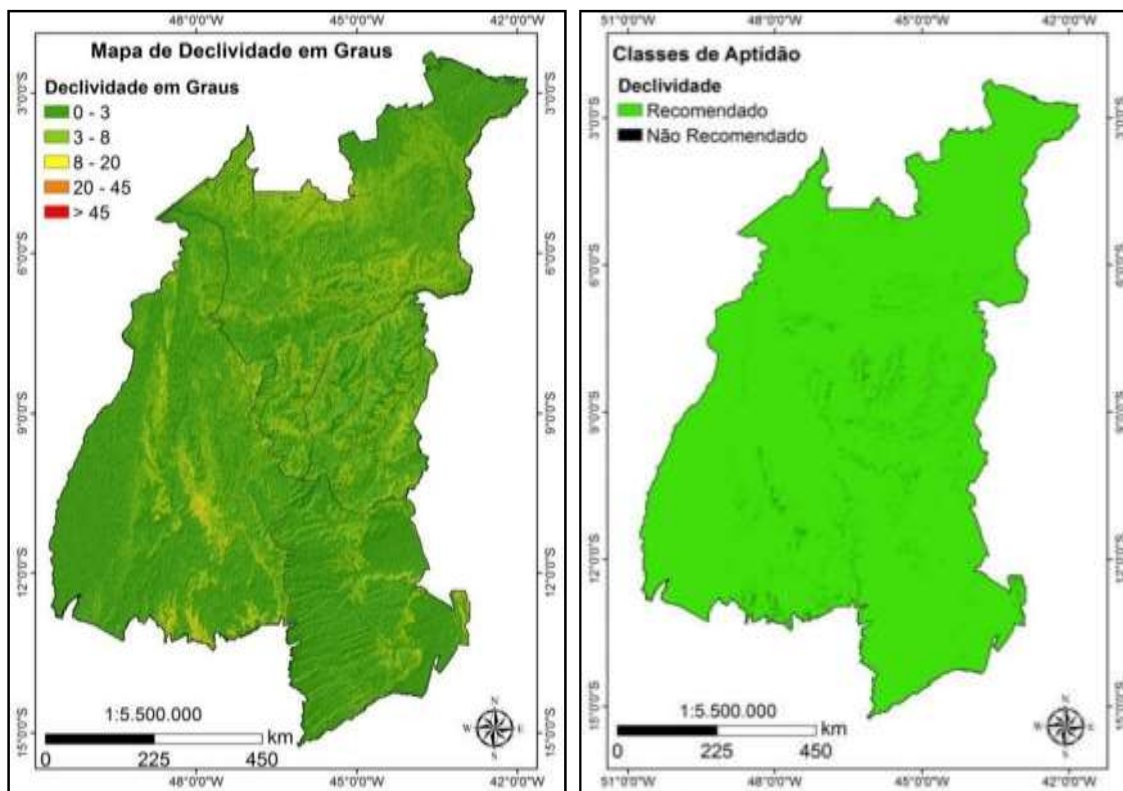
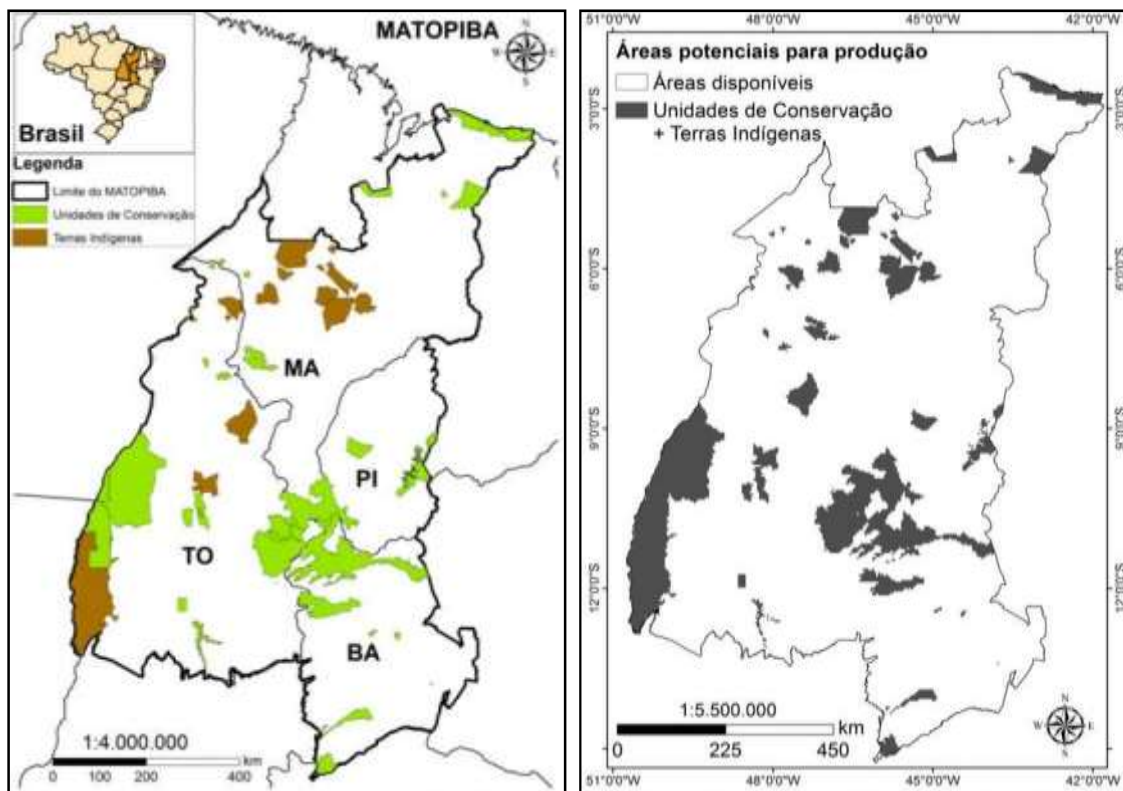


Figura 28 - Declividade em Graus (°) na região do MATOPIBA (a) e classes de aptidão quanto à declividade (b), baseada na classificação de Fardim; Duarte; Araújo Júnior (2015)

Conforme apresentado anteriormente, a Figura 29a atesta-se as áreas de uso legal e potencial para a conservação ambiental, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA (2007), a partir de arquivos em formato de *shapefile*, sendo possível identificar as unidades de conservação e reservas indígenas que abrangem a região do MATOPIBA.

As áreas sem restrições legais ou naturais disponíveis no MATOPIBA para o cultivo agroflorestal, inclusive para o eucalipto, estão apresentadas na Figura 29b.



Fonte: adaptado do MMA (2017)

Figura 29 - Áreas de uso legal e potencial para a conservação ambiental (a) e Áreas disponíveis em restrições legais ou naturais para possível produção de eucalipto na região do MATOPIBA (b)

A área referente ao conjunto dessas restrições atinge 15,12% (110.626,02 km²) do território do MATOPIBA. Já as áreas potenciais disponíveis para produção na fronteira agrícola, sem considerar as exigências climáticas para o eucalipto, representam 84,88% do total (621.108,83 km²), segundo a Tabela 26.

A seguir apresenta-se a espacialização da áreas potenciais para produção florestal, visando seu uso para o cultivo do *Eucalyptus urophylla* (Figura 30).

Tabela 26 - Áreas disponíveis e não disponíveis brutas, quanto aos aspectos legais ou naturais para possível produção florestal no MATOPIBA

Classes	Área(Km ²)	Área(%)
Área não disponível	110.626,02	15,12
Área disponível	621.108,83	84,88
TOTAL	731.734,85	100,00

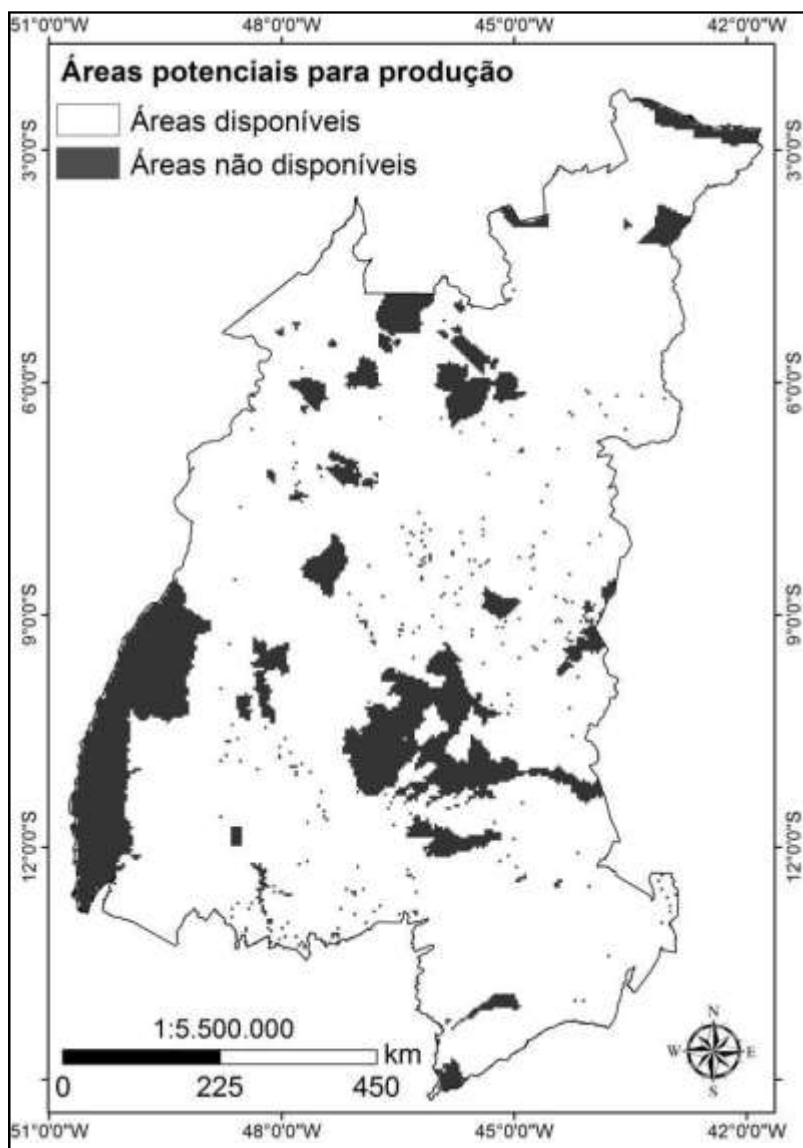


Figura 30 - Áreas potenciais para produção florestal, quanto aos aspectos legais ou naturais na região do MATOPIBA

A resposta para a sobreposição dos parâmetros agroclimáticos para a cultura com as áreas disponíveis potencialmente para produção florestal gerou a obtenção dos mapas de

aptidão agroclimática e ambiental para a espécie *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA.

Pode-se verificar na Figura 31, os resultados dos cruzamentos de informações que geraram os respectivos mapas de aptidão agroclimática e ambiental para a espécie *Eucalyptus urophylla* referentes aos distintos CAD's: 100 mm, 150 mm e 220 mm.

Identificou-se pelos mapas da Figura 31, diversas áreas não disponíveis ao cultivo (coloração branca), por apresentarem restrições legais ao uso produtivo, espalhadas por diversas regiões do MATOPIBA, representando cerca de 15,12 % de toda a área de estudo, o equivalente a 110.626,02 km² (Tabelas 28, 29 e 30).

Com relação às Unidades de Conservação existentes no Tocantins, ainda que estejam presentes em todas as regiões do Estado, são nos extremos longitudinais (oeste e leste) que estas se concentram em maior número, formando dois grandes mosaicos de diferentes grupos, categorias e domínios (MOREIRA, 2017).

Na porção oeste do Estado encontram-se localizadas sete Unidades de Conservação, além da maior ilha fluvial do mundo e a maior área indígena do Estado, compondo um grande mosaico de áreas ambientalmente protegidas. Esse mosaico representa mais da metade as áreas de Unidades de Conservação do Estado. (MOREIRA, 2017). É composto pela APA Ilha do Bananal/Cantão, Parque Estadual do Cantão, Parque Nacional do Araguaia e pelas RPPNs Sonhada, Canguçu, Bico do Javaés e Água Bonita. Essas sete Unidades, totalizam uma área de 23.296,12 km², o que representa 55,63% de toda área de Unidades de Conservação do Estado. Além dessas Unidades de Conservação, o mosaico inclui ainda a Ilha do Bananal, maior ilha fluvial do mundo que abriga, além do Parque Nacional do Araguaia, o Parque Indígena do Araguaia, maior área indígena do Estado, sede de três etnias (SEMARH, 2016). No leste do Estado localizam-se o Parque Estadual do Jalapão, a APA do Jalapão, a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, a APA Serra da Tabatinga, o Monumento Natural Canyons e Corredeiras do Rio do Sono e a RPPN Catedral do Jalapão, totalizando uma área de 14.018,58 km² e representando 33,48% das áreas de Unidades de Conservação do Estado (SEMARH, 2016; MOREIRA, 2017). Algumas dessas Unidades de Conservação ultrapassam as divisas de Estado, estando presente nos demais estados, como Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins e o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba que estão presentes no Maranhão, Piauí e Bahia e no estado da Bahia a Área de Proteção do Rio Preto e Área de Proteção de Rio de Janeiro.

Ao centro do estado do Tocantins estão situadas as terras indígenas Xerente e Funil, mais ao sul a APA Serra do Lajeado e o Lago de Palmas (SEMARH, 2016).

Ao norte do Tocantins e centro-sudoeste do estado do Maranhão, uma região onde predominou as classes “apta” e “marginal” nos zoneamentos agroclimáticos e ambiental dos três CAD's, também houve restrição ambiental. Isso porque nesta região estão presentes Terras Indígenas, Monumento Natural das árvores fossilizadas, APA das nascentes de Araguaína no Tocantins e o Parque Nacional da Chapada das Mesas no Maranhão.

Nesta região do Maranhão concentra-se grande número de terras indígenas, onde de forma geral pôde-se observar classes de aptidão “apta”, “marginal” e “restrita”, que se cultivado nas proximidades poderão provocar algum tipo de conflito. No extremo norte do Estado do Maranhão, estão localizadas duas APA's e o Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses, contudo a classe que prevaleceu nesta região foi a “inapta” ao cultivo por condição térmica.

No estado do Piauí, dentro do MATOPIBA, conforme Figura 28 existem duas Unidades de Conservação de Proteção Integral, sendo a localizada na porção mais oeste refere-se a uma Estação Ecológica e a situada na parte leste é uma UC Refúgio da Vida Silvestre (MMA, 2017). Observando os mapas dos zoneamentos agroclimático e ambiental, nota-se que a Estação Ecológica deverá sofrer baixo impacto devido a prevalência de classes de aptidão “restrita”, “marginal” e “inapta”. Contudo a UC Refúgio da Vida Silvestre, dependendo da CAD utilizada, aumenta-se o potencial de cultivo do eucalipto nas proximidades desta área.

De acordo com as áreas e percentuais apresentados na Tabela 27, pode-se observar que a classe “restrita” para a CAD 100 foi a que sofreu maior influência das áreas não disponíveis, ocorrendo uma redução de 9,04%, bem como a classe “restrita” para a CAD 150, comum decréscimo de 6,46%. No entanto, para a CAD 220 a classe que perdeu mais áreas foi a classe “marginal” com um declínio de 6,04%.

Considerando apenas as classes “apta” e “marginal”, referente ao zoneamento agroclimático utilizando a CAD 220, foi a houve maior redução (10,69%), em relação a CAD 100 (4,9%) e a CAD 150 (7,18%).

Deve-se ter um melhor monitoramento por parte dos governos estaduais dos quatro estados, bem como do governo brasileiro, com relação à possível expansão do cultivo de eucalipto na porção centro-sul do MATOPIBA, uma vez que em todos os zoneamentos de aptidão agroclimática e ambiental identificaram áreas “aptas” e “marginais”, numa faixa extensa longitudinal (sentido sudeste – noroeste) que engloba a maioria das Unidades de Conservação e grande parte das Reservas Indígenas da região. Percebe-se que essa referida

faixa se expande, à medida que utiliza-se maiores valores referentes as capacidades de água disponível no cálculo do balanço hídrico, reduzindo assim a deficiência hídrica (Figura 31).

Considerando apenas a área bruta disponível para a produção, que corresponde a 84,88%, com base nas Tabelas 28, 29 e 30, nota-se um incremento do valor percentual da área referente à soma das classes “apta” e marginal” de 28,27% para 32,13%, de 40,50% para 48,18% e de 55,58% para 65,48%, para os zoneamentos de aptidão, utilizando os CADs 100, 150 e 220 mm, respectivamente. Se considerado apenas as áreas “aptas” ao cultivo, percebe-se que essas áreas aumentariam também proporcionalmente, de 6,41% para 7,55%, de 12,57% para 14,81% e de 24,48% para 28,84%, em relação ao aumento dos valores dos CADs, respectivamente, de toda área bruta disponível ao cultivo.

Os resultados obtidos no presente estudo contrastam com a divulgação que é feita por Flores et al. (2016) sobre a espécie *Eucalyptus urophylla*, a respeito de sua alta aptidão climática para cultivo nos estados que compõe a área do MATOPIBA, especialmente em áreas do Cerrado.

Ao mesmo tempo comparando os mapas dos zoneamentos agroclimáticos (Figuras, 18, 21 e 25), com os mapas dos zoneamentos agroclimáticos e ambiental (Figura 31), observa-se que a classe de aptidão favorável ao cultivo do *E. urophylla* (apta), sofreu grandes perdas de área, devido à proximidade e/ou sobreposição das mesmas de áreas sensíveis ambientalmente e legalmente protegidas.

Constata-se a relevância da realização do zoneamento de aptidão agroclimática, que além de indicar possíveis áreas aptas, de baixo risco climático, para a implementação do empreendimento de forma profissional e economicamente viável, busca ainda favorecer ao ordenamento das atividades produtivas, apoiar os governos nos planejamento e políticas públicas e evitar e/ou reduzir possíveis impactos ambientais e sociais negativos (ROSSETTI, 2001; CUNHA; ASSAD, 2001; COLLICCHIO, 2008; BRASIL, 2015; COLLICCHIO, 2015).

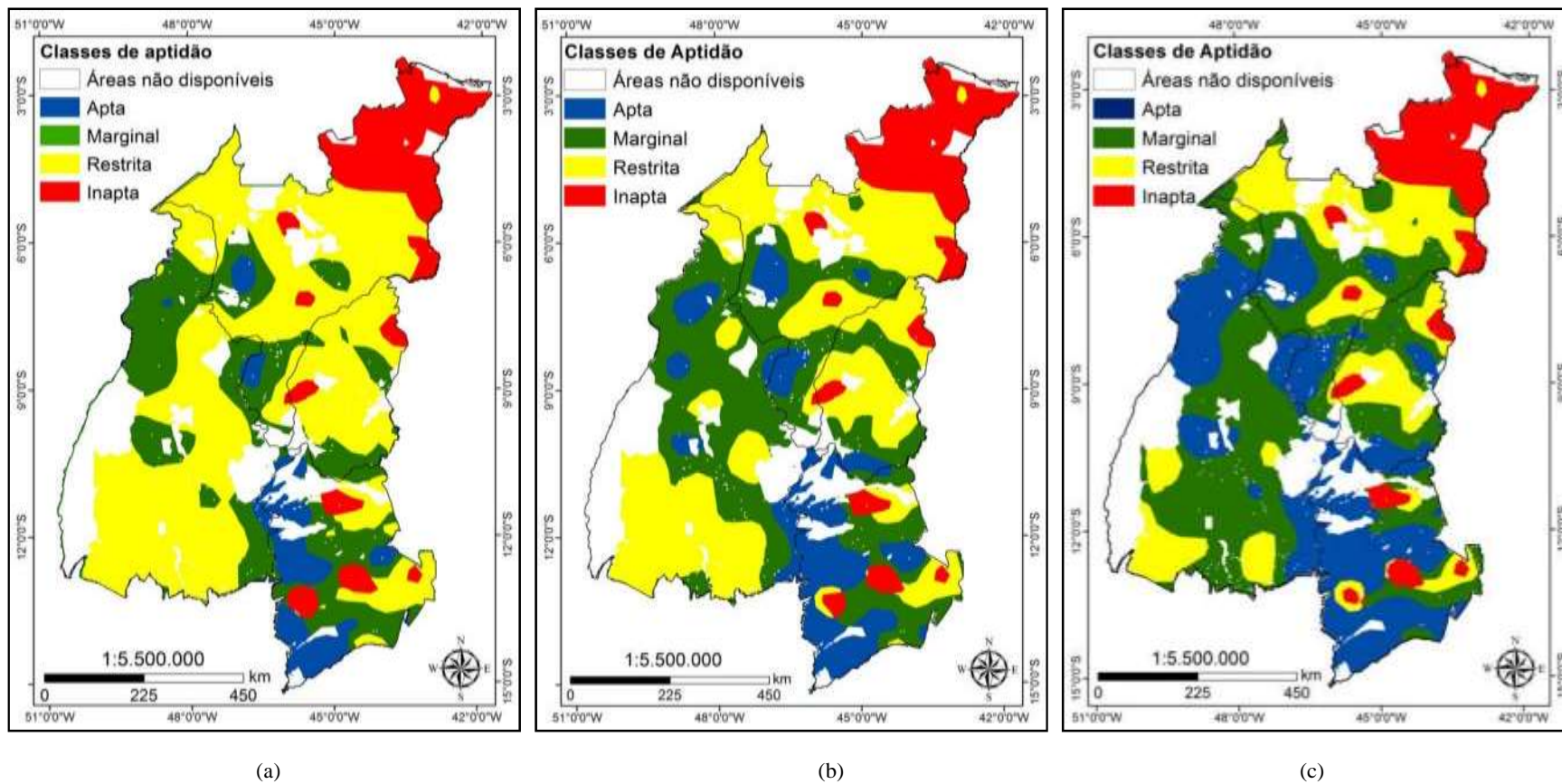


Figura 31 - Classes de aptidão agroclimática e ambiental para o *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA: CAD = 100mm (a); CAD = 150mm (b) e CAD = 220mm (c)

Tabela 27 - Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 100mm

Classes	Área(km²)	Área(%)
Áreas não disponíveis	110.626,02	15,12
Apta	46.880,26	6,41
Marginal	152.682,29	20,87
Restrita	336.773,00	46,02
Inapta	84.773,27	11,59
TOTAL	731.734,85	100,00

Tabela 28 - Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 150mm

Classes	Área(km²)	Área(%)
Áreas não disponíveis	110.626,02	15,12
Apta	91.976,47	12,57
Marginal	207.275,82	28,33
Restrita	238.831,93	32,64
Inapta	83.024,61	11,35
TOTAL	731.734,85	100,00

Tabela 29- Áreas por classes de aptidão agroclimática e ambiental para a cultura *Eucalyptus urophylla* na região do MATOPIBA com o CAD = 220mm

Classes	Área(km²)	Área(%)
Áreas não disponíveis	110.626,02	15,12
Apta	179.136,81	24,48
Marginal	227.602,00	31,10
Restrita	132.676,96	18,13
Inapta	81.693,06	11,16
TOTAL	731.734,85	100,00

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram concluir que a região estudada apresenta o predomínio de classes de aptidão de temperatura e precipitação favoráveis ao desenvolvimento da espécie *Eucalyptus urophylla*. Contudo a deficiência hídrica estimada para as diferentes capacidades de água disponível - CAD estudadas foi considerada elevada, reduzindo assim a possibilidade de maiores áreas de cultivo em sequeiro, ou seja sem o uso de irrigação.

É de suma importância levar em consideração as áreas legalmente protegidas da região, ressaltando que os investimentos a serem realizados não sobrepõem a legislação ambiental acarretando ao menor impacto possível na fronteira agrícola.

Com relação à possível expansão do cultivo de eucalipto na região do MATOPIBA, observou-se que em todos os zoneamentos de aptidão agroclimática e ambiental (CADs 100, 150 e 220 mm), a existência de áreas “aptas” e “marginais”, numa faixa extensa longitudinal (sentido sudeste – noroeste), englobando os quatro estados, podendo ser cultivado o *E. urophylla*.

Em contrapartida, as áreas com maiores aptidão ao cultivo do *E. urophylla*, coincidentemente estão próximas à maioria das Unidades de Conservação e grande parte das Reservas Indígenas da região, devendo-se assim ter um melhor monitoramento por parte dos governos estaduais dos quatro estados, bem como do governo brasileiro.

O presente estudo pode ser considerado como um importante instrumento técnico para tomada de decisão e de desenvolvimento tecnológico, pois pode indicar possíveis áreas aptas ao cultivo do *E. urophylla*, com baixo risco climático, para a implementação do empreendimento de forma profissional e economicamente viável.

O zoneamento de aptidão agroclimática e ambiental para a espécie *E. urophylla*, busca ainda favorecer ao ordenamento das atividades produtivas, apoiar os governos nos planejamento e políticas públicas e evitar e/ou reduzir possíveis impactos ambientais e sociais negativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantas. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012 / ABRAF**. Brasília: ABRAF, 2013. 142 p.

ABREU, Y. V.; OLIVEIRA, M. A. G; GUERRA, S. **M-G**: energia, economia e rotas tecnológicas. Málaga: Universidade de Málaga, 2010. 330 p.

ALMEIDA, A. C. et al. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 167–177, May. 2004.

ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. **Software Hidro 1.0**. 2010. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=6010>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

ANGELI, A.; STAPE, J. L. **Tectonagrandis (Teca)**. Piracicaba: ESALQ/USP - Departamento de Ciências Florestais, 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>. Acesso em: 05 jun. 2017.

ASSIS, T. F. **Melhoramento genético de *Eucalyptus***: desafios e perspectivas. Nova Lima: Embrapa Florestas, 2014. 22 p. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014.%20melhoramento%20eucalipto.doc>>. Acesso em: 24 mar. 2017.

BAESSO, R.C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.

BERTOLA, A. **Eucalipto – 100 Anos de Brasil**: “falem mal, mas continuem falando de mim!”. Setor de Inventário Florestal - V&M Florestal Ltda, Curvelo - MG, 2013. 91 p. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf> Acessado em: 20 maio 2016.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010. 131 p.

BRASIL. Lei 12.727/2012, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 out. 2012**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm> . Acesso em: 15 abr. 2017.

BRASIL. **Decreto N° 4.297, de 10 de Julho de 2002**. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.

BRASIL, **DECRETO Nº 8.447, de 6 de maio de 2015**. Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação de seu Comitê Gestor. Diário Oficial[da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Decreto/D8447.htm>. Acesso em: 18 jun. 2016.

BRASIL. **Lei 9.985, de 18 de Julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial[da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm>. Acesso em: 17 jun. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Zoneamento agrícola de risco climático. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>. Acesso em: 12 set. 2015.

BRASIL. Balanço Energético Nacional 2010. Brasília/DF, Ministério de Minas e Energia/MME, 271 p., 2015 (ano base 2014).

BOGNOLA, I. A. **Eucalipto: solo e relevo**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica – Ageitec. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONT000h016pc1p02wx7ha07d3364jro7ixt.html>> Acesso em 01 jun. 2016.

CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, F. B.; LEITE, H. G. Crescimento e produção de plantios comerciais de eucalipto estimados por duas categorias de modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.3, p.287-295, 2013.

CECILIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; DANTAS NETO, F. S. Zoneamento edafoclimático da Sub-Bacia do Rio Paranaíba, em Minas Gerais para o cultivo dos cafeeiros arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* L.). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 6, p. 113-125, 2006.

CIB. Conselho de Informações sobre Biotecnologia. **Eucalipto: oportunidades para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: CIB. jun., 2008. 20p.

COLLICCHIO, E.; ROCHA, H. R. da; VICTÓRIA, D. de C.; TOLEDO, A. M. A. Implicações das mudanças do clima no zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar no estado do Tocantins, considerando o modelo GFDL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.08, n.06, p. 1730-1747. 2015.

COLLICCHIO, E. **Zoneamento edafoclimático e ambiental para a cana-de-açúcar e as implicações das mudanças climáticas no estado do Tocantins**. 2008. 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2008.

COSTA, A. M. da; CURI, N.; ARAÚJO, E. F. de; MARQUES, J. J.; MENEZES, M. D. de. Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul utilizando-se levantamento de solos. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 37, n. 84, 367-375 p. dez. 2009.

- CUNHA, G.R. da; ASSAD, E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.377-385, 2001.
- FARDIN, L.P.; DUARTE, D.C. de O.; ARAÚJO JÚNIOR, C.A. Determinação de áreas potenciais para plantios de eucalipto utilizando técnicas de análise multicritério. **Anais... III Congresso Brasileiro de Eucalipto**, 02 a 04 de setembro de 2015, Centro de Treinamento Dom João Batista, Vitória, 2015.
- FARIA, G. E.; BARROS, N. F. de.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. de C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.
- FARIAS, L. M.; SELLITTO, M. A. Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, jan./jun. 2011.
- FEREZ, A. P. C. **Zoneamento edafoclimático de aptidão para espécies florestais em cenário de mudança climática: um estudo de caso na Costa Rica**. 2006. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006. 63 p.
- FERNANDES, D. J; OSHIRO, R. O. M; OSHIRO, M. **Referências ambientais e socioeconômicas para a gestão do território de Mato Grosso do Sul: perspectivas para o setor florestal do Mato Grosso do Sul. Zoneamento Ecológico-Econômico**. Campo Grande, v. II. set. 2008.
- FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos em Minas Gerais**. 1997. 158f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.
- FLORES, T. B; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C; STAPE, J. L.; *Eucalyptus* no Brasil: Zoneamento climático e guia para identificação. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.
- FONSECA, S. M.; RESENDE, M. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa: UFV. 2010. 200 p.
- FREIRE, J. **Tecnologia sustentável: energia verde terá papel de destaque no futuro**. Brasília: Embrapa - Secretaria de Comunicação (Secom), 2012.
- FREITAS, T. A. S. de; FONSECA, M. D. S.; SOUZA, S. S. M. de; LIMA, T. M.; MENSONÇA, A. V. R.; SANTOS, A. P. dos. **Crescimento e ciclo de produção de mudas de *Eucalyptus* em recipientes**. Embrapa: Pesquisa Florestal Brasileira. 2013. 10 p.
- GOLFARI, L. Fantasias e realidades sobre o plantio do eucalipto. **O eucalipto e a ecologia**, p.17-24. 1975.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. **Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil** (2a. aproximação). Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 1978. (Série Técnica n. 11).

HASSE, G. **Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal**. Porto Alegre: Já Editores, 2006.

HIGA, R. C. V.; MOURA, L. M.; HIGA, A. R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. 2 ed. Colombo: Embrapa Floresta, 2006.

IBÁ, Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório Ibá 2015**. Brasília: Ibá, 2015. 80 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf> Acesso em: 15 jun. 2016.

IBÁ, Instituto Brasileiro de Árvores. **Relatório Ibá 2016**. Brasília: Ibá, 2016. 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf> Acesso em: 20 mai. 2017.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resultado do Censo 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=to>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil (1961-1990)**. Brasília: INMET. 1992. (Planilha Excel). Disponível em: <www.lce.esalq.usp.br/angelocci/NORMAIS.xls>. Acesso em: 12 nov. 2015.

LOUREIRO JUNIOR, A.; BARBOSA, C. A.; FASOLO, L.; SARTORI, M.; PEDRONI, M. **Aptidão para a silvicultura de eucalipto nas diferentes regiões do estado do espírito santo**. Vitória: CEDAGRO - Centro de desenvolvimento do agronegócio. 2015. 175 p.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **MATOPIBA: a nova fronteira agropecuária do Brasil**. Brasília: MAPA. 2015. 12 p.

MARCOLINI, M. de P. **Efeito das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático para a cultura do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) no estado do Tocantins**. 2015. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas. 2015.

MARTO, G. B. T.; BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, H. **Hevea brasiliensis (Seringueira)**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF. Piracicaba, SP. Maio, 2007. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/hevea.brasiliensis.asp>> Acesso em: 05 maio 2017.

MEDEIROS, S. de S; CECÍLIO R. A., MELO JÚNIOR, J. C. F. de; SILVA JÚNIOR, J. L. C. da. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.247-255, 2005.

MIRANDA E. E.; MAGALHÃES, L.A.; CARVALHO, C.A. de. **Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA**. Campinas: GITE/EMBRAPA, maio 2014. 18 p. (Nota Técnica 1). Disponível em: <www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1>. Acesso em: 15 fev. 2016.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **I3GEO - Interface - Software Público**. 2007. Disponível: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/ogc.htm>> Acesso em: 26 jun. 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **O bioma cerrado**. 2014. Disponível: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>> Acesso em: 17 mar. 2016.

MMA. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

MORAIS, V. de M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos na região noroeste do Estado de Minas Gerais**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras. 2006.

MOREIRA, D. C. **Análise da expansão da cultura da soja na APA Ilha do Bananal/Cantão – Tocantins**. 2017. 183 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas. 2017.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura. 2000. 114 p.

MORAES NETO, S. P. de **O eucalipto no cerrado do DF: plantio puro e sistema agrossilvipastoril**. 2008. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/eucalipto/index.htm>. Acesso em: 16 mar. 2016.

MOTTA, D.; SILVA, W. F. da; NASCIMENTO, E. Rentabilidade na plantação do eucalipto. **Anais...Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**. 2010.

NAPPO, M. E.; NAPPO, A. E.; PAIVA, H. N. de; Zoneamento ecológico de pequena escala para nove espécies arbóreas de interesse florestal no Estado de Minas Gerais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. 5. ed. 14 p. 2005.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 f. Tese (Doutorado) – Universidade Norte Fluminense – UENF, Campos. 2000.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003. 199 p.

OLIVEIRA, T. K. **Sistemas agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em áreas de cerrado**. 2005. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras – Lavras, MG, 2005.

PAIVA, H. N.; JACOVINE, L. A. G; TRINDADE, C; RIBEIRO, G. T. **Cultivo de eucalipto: implantação e manejo**. 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011. 354 p.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. dos. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 66 p. (Documentos 214).

PALUDZYSZYN FILHO, E. P.; SANTOS, P. E. T. dos. **Escolha de cultivares de eucaliptos em função do ambiente e do uso**. Colombo: Embrapa.out., 2013, 11p. (Comunicado Técnico 316).

PEREIRA, A.R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

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

PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, E.; ELEUTÉRIO, M. M.; A.; REIS, E. F.; SANTOS, A. R. Espacialização da temperatura do ar no Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, n.1, p.151-158, 2004.

REVISTA DA MADEIRA. **Espécie Acácia**. Edição N°89 - Abril, 2005.

RIBEIRO, C. A. D. **Delimitação de zonas agroclimáticas para cultura do eucalipto no norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. Alegre: Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias. jul., 2009. 105 p.

RODIGHERI, H. R.; GRAÇA, L.R. **Rentabilidade da Acácia-negra, Bracatinga, Eucalipto e Erva-mate para Produtores Rurais no Sul do Brasil**. Colombo. jun., 2001. 4 p.

ROSSETTI, L. A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e securidade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p. 386-399, 2001.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptusurophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1998.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente, MG**. 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa: UFV, 2001.

SALOMOM, K. R.; FILHO, G. L. T. **Dendroenergia**. Itajubá, 2007. 16 p. (Série Energias Renováveis).

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMAB, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Revista Produção**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 309-321, 2011.

SANTOS, L. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. de C. O.; TRUGILHO, P. F. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.5, p.971-980, 2012.

SANTOS, A. R. dos; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYAMA, G. C., PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANÇA, R. **Espacialização de dados meteorológicos no ArcGIS 10.3**. [Recurso eletrônico]. Alegre, ES: CAUFES, 2015. 66 p.

- SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Potencial de melhoramento genético em *Eucalyptus urophylla* procedente da Ilha Flores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 23-32, 2003.
- SEMARH, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins. **GESTO - Gestão das Unidades de Conservação do Estado do Tocantins**. 2016. Disponível em: <<http://www.gesto.to.gov.br/>> Acesso em 24 out. 2016.
- SILVA JÚNIOR, J. L. C. da. **Zoneamento da região sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade, para o gado leiteiro**. 2001. 91 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Viçosa. 2001.
- SILVA, M. G. da **Produtividade, idade e qualidade da madeira de *Eucalyptus* destinada à produção de polpa celulósica branqueada**. 2011, 95 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2011.
- SILVA, J. de C.; CASTRO, V. R. de; XAVIER, B. A. **Eucalipto**: cartilha do fazendeiro florestal . 2. ed. Viçosa:Ed. Viçosa. 2008. 44p.
- SILVEIRA, R. L. V. de; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja o doutor do seu eucalipto**. POTAFOS - Informações Agronômicas, n. 93. mar., 2001. 32 p.
- SNIF, Sistema Nacional de Informações Florestais. **Os biomas e suas florestas**. 2015. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>>. Acesso em: 12 maio 2016.
- SOUSA, V. A; HIGA, R.C.V. Fenologia de florescimento e frutificação de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 22/23, p.9-19, jan./dez. 1991.
- SOUZA, C. R. de; ROSSI, L. M. B.; AZEVEDO, C. P. de; VIEIRA, A. H.; **Paricá: *Schizolobium parahyba* var. amazonicum (Huber x Ducke) Barneby**. Manaus: Embrapa. dez., 2003. (Circular Técnica 18).
- SOUZA, M. J. H. de; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da Bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006a.
- SOUZA, M. J. H. DE; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.3, p.629–638, 2006b.
- SOUZA, O. M. M.; COLLICCHIO, E.; PEREIRA, E. Q.; AZEVEDO, M. I. R. Zoneamento edafoclimático para o *Eucalyptus urophyllano* estado do Tocantins. **Desafios: Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**, Palmas, v. 1, n.2, p.121-134, jan/jun. 2015.

SPERANDIO, H. V.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A.; NAPPO, M. E. Zoneamento agroecológico para espécies de eucalipto no estado do Espírito Santo. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.11, n.34. p 203-216. 2010.

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantation in northeastern Brazil**.2002. 225f. Tese (Pós Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade do Colorado, Fort Collins, 2002.

STAPE, J.L.; GOMES, A. do N.; ASSIS, T.F. de. Estimativa da produtividade de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* no nordeste do Estado da Bahia-Brasil em função das variabilidades pluviométrica e edáfica. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. **Anais...** Colombo: EMBRAPA/CNPF, 1997. v.3, p.192-98.

STAPE, J. L.; GOMES, A. N. Influência dos estresses hídricos e nutricionais no crescimento de plantios de eucaliptos no nordeste do Brasil. In: Congresso Latino Americano de Ciência do Solo, 10, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, SBCS.1996.

THORTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Thechnology, 1955. 104p.

TRUGILHO, P. F. ENERGIA DA BIOMASSA FLORESTAL. 4º Congresso Florestal Paranaense. **Anais...** Curitiba - PR 2012. Disponível em: <http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>> Acesso em: 08 maio 2017.

VALLE, G.; FIDELIS, F. S.; GRAEFF, L. S. S.; SOUZA, L. A. de; AZEVEDO, G. B. de. Desenvolvimento inicial do híbrido *Eucalyptus urograndis* clone GG 100 na região de Vilhena-RO. **Anais...** 64ª Reunião Anual da SBPC - Ciência, Cultura e Saberes Tradicionais para Enfrentar a Pobreza. SBPC (Sociedade Brasileira para o progresso da ciência). E. Ciências Agrárias - Recursos Florestais e Engenharia Florestal - Silvicultura, São Luís - MA, 2012. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/saoluis/sobre/>>.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. Meteorologia Básica e Aplicações. Viçosa: UFV, 2000. 230 p.

VICTORIA, D. de C.; SANTIAGO, A.V.; BALLESTER, M.V.R.; PEREIRA, A.R.; VICTORIA, R.L.; RICHEY, J.E. Water balance for the Ji-Paraná river basin, western Amazon, using a simple method through geographical information systems and remote sensing. *Earth Interactions*, Madison, v.11, n.5, p. 1-21, 2007.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R.; MASSON, M. V.; FILHO, P. J. F.; POGETTO, M. H. F. do A. D. **Guia prático de manejo de plantações de eucalipto**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais - FEPAF, 2008, 19p.

ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S. Alterações devem deslocar culturas agrícolas. **Scientific American Brasil**, São Paulo, n.74, p. 72-77, jul. 2008.

ANEXOS

ANEXO 1 -Revisão bibliográfica sobre estudos referentes à produtividade média de espécies de *Eucalyptus* no Brasil, comparando com a deficiência hídrica média da região

Estação	Estado	Espécie	Produtividade (m ³ /ha/ano)	Da* 100mm	Avaliação**
Itamarandiba ¹	MG	<i>E. urophylla</i>	42.36	173	A
Monte Claros ¹	MG	<i>E. urophylla</i>	34.23	253	M
Paracatu ²	MG	<i>E. urophylla</i> + <i>E. camdulensis</i> (Urocam)	33	186	M
João Pinheiro ²	MG	<i>E. urophylla</i> + <i>E. camdulensis</i> (Urocam)	33	224	M
Porto Velho ³	RO	<i>E. urophylla</i>	51.92	57	A
Macapá ⁴	AP	<i>E. urophylla</i> + <i>E. grandis</i> (Urograndis)	23.5	263	B
Nova Odessa ⁵	SP	<i>E. grandis</i>	36,34	6	A
Nova Odessa ⁵	SP	<i>E. saligna</i>	37,56	6	A
Gov. Valadares ⁶	MG	<i>E. grandis</i>	22 a 25.8	295	B
Aimores ⁶	MG	<i>E. grandis</i>	23 a 25.8	258	B
Teófilo Otoni ⁶	ES	<i>E. grandis</i>	22 a 25.8	167	B
Linhares ⁶	ES	<i>E. grandis</i>	25 a 28.4	104	B
Itamarandiba ⁷	MG	<i>E. urophylla</i>	61.8	173	A
São Matheus ⁸	ES	<i>E. grandis</i>	40.5 a 41	74	A
Santana (São Mateus) ⁸	ES	<i>E. grandis</i>	40.5 a 41	74	A
Pastinho (Aracruz) ⁸	ES	<i>E. grandis</i>	23.7 a 24	258	B
Monte Dourado ⁹	PA	<i>E. urograndis</i>	58.9	217	A

* Da: Deficiência hídrica anual calculada pela própria autora, utilizando a CAD = 100 mm, para todas as regiões, com vistas a comparar com as produtividades médias nas áreas de estudo.

**Avaliação realizada pela própria autora quanto à produtividade, segundo Loureiro Junior et al. (2015), conforme Tabela 7. Considerou-se portanto: A= Alta produtividade; M = Média produtividade; B = Baixa produtividade.

Fonte: Elaboração própria e baseada nos estudos de¹Santos et. al. (2012); ² Morais (2006); ³Valle et. al. (2012); ⁴ Silva (2011); ⁵ Mello et. al. (1971); ⁶ Baesso et. al. (2010); ⁷ Faria et. al. (2008); ⁸ Almeida (2004); ⁹ Castro et. al. (2013)

ANEXO 2 -Coeficientes de Regressão e de Determinação das temperaturas mensais para a região do MATOPIBA

MESES	Constante de Regressão (B_0)	Coeficientes de Regressão			Coeficiente de Determinação(R^2)
		Latitude (B_1)	Longitude(B_2)	Altitude(B_3)	
jan	32.242526	-0.129254	0.135645	-0.006094	0.689915
fev	30.770724	-0.165421	0.112807	-0.005897	0.605155
mar	28.732038	-0.183712	0.07013	-0.006108	0.602244
abr	28.110987	-0.219627	0.05157	-0.007511	0.643281
mai	27.437519	-0.193095	0.029213	-0.008798	0.708063
jun	27.987363	-0.055617	0.033903	-0.008245	0.720945
jul	28.658643	-0.082022	0.051191	-0.009046	0.718699
ago	28.892745	-0.213225	0.054347	-0.009518	0.608747
set	35.972073	-0.345232	0.199758	-0.010463	0.567331
out	41.626221	-0.22691	0.310268	-0.008705	0.646206
nov	38.931182	-0.117591	0.251092	-0.007725	0.761128
dez	36.568706	-0.071298	0.208202	-0.006661	0.787246

ANEXO 3 - Análise estatística para temperatura entre a interpolação *Spline* e Regressão Linear Múltipla

1 - Teste de Normalidade

Análises/Testes	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
Observados: Estação Estimadas: RLM	p-valor = 0.00006962 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0	p-valor = 0.000007878 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0
Observados: Estação Estimadas: Spline	p-valor = 0.0002133 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0	p-valor = 0.000001819 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0

2 - Tabela de valores de "p" para os testes estatísticos das análises comparativas propostas.

Análises/Testes	Teste U de Mann-Whitney	Teste de Kruskal Wallis	Teste χ^2
Observados: Estação Estimadas: RLM	p-valor = 0.6934 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-valor = 0.3916 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-valor = 1 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0
Observados: Estação Estimadas: Spline	p-valor = 0.9461 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-value = 0.3757 1% (0,01) : $p < \alpha$ Aceita H_0	p-value = 1 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0

3 - Tabela de Análise de Variância e Coeficiente de Variação C.V. (%)

Análises/Testes	ANOVA	C.V.(%)
Observados: Estação Estimadas: RLM	Resíduos: 1.6940	5.047521
Observados: Estação Estimadas: Spline	Resíduos: 1.8443	5.253818

ANEXO 4 - Análise estatística para precipitação entre a interpolação *Spline* e *Krigagem*

1 - Teste de Normalidade

Análises/Testes	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilk
Observados: Estação Estimadas: Spline	p-valor $< 3.1 \cdot 10^{-10}$ 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0	p-valor = $3.03 \cdot 10^{-10}$ 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0
Observados: Estação Estimadas: Krigagem	p-valor = 0.005847 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0	p-valor = $1.28 \cdot 10^{-09}$ 1% (0,01) : $p < \alpha$ Rejeita H_0

2 - Tabela de valores de "p" para os testes estatísticos das análises comparativas propostas

Análises/Testes	Teste U de Mann-Whitney	Teste de Kruskal Wallis	Teste χ^2
Observados: Estação Estimadas: Spline	p-valor = 0.7556 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-valor = 0.3768 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-valor $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ 1% (0,01) : $p < \alpha$ Aceita H_0
Observados: Estação Estimadas: Krigagem	p-valor = 0.1685 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0	p-value = 0.3768 1% (0,01) : $p < \alpha$ Aceita H_0	p-value $< 2.2 \cdot 10^{-16}$ 1% (0,01) : $p > \alpha$ Aceita H_0

3 - Tabela de Análise de variância e Coeficiente de variação C.V. (%)

Análises/Testes	ANOVA	C.V.(%)
Observados: Estação Estimadas: Spline	Resíduos: 0.032	27.6797
Observados: Estação Estimadas: Krigagem	Resíduos: 0.02	22.71651

