**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel

Eliane Seiko Maffi Yamada

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do
Ambiente Agrícola

**Piracicaba
2011**

Eliane Seiko Maffi Yamada
Engenheiro agrônomo

Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel

Orientador:
Prof. Dr.: **PAULO CÉSAR SENTELHAS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Física do Ambiente Agrícola

**Piracicaba
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Yamada, Eliane Seiko Maffi

Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel / Eliane Seiko Maffi Yamada. - - Piracicaba, 2011.
131 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Agroclimatologia 2. Aptidão Agrícola 3. Balanço hídrico 4. Biodiesel 5. Pinhão manso
Sistema de Informação Geográfica I. Título

CDD 633.85
Y19z

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Ao meu filho Gabriel,
que me incentivou sem compreender,
que transforma meus dias,
que me permite ver as coisas mais singelas*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Não seria possível realizar este trabalho sem a ajuda e apoio de muitas pessoas, desde os que tiveram um papel importante até os que contribuíram indiretamente ao longo desses anos.

Agradeço à ESALQ por todos esses anos de graduação e mestrado. Ao Programa Física do Ambiente Agrícola por acolher todo esse tempo uma pessoa enrolada como eu, com mestrado, trabalho e filho.

Ao Prof. Paulo Cesar Sentelhas, agradeço do fundo do meu coração por toda a credibilidade, conselhos e palavras de incentivo nos momentos mais tensos e, principalmente, na ajuda para a dissertação sair. Também não poderia deixar de ser grata por ter me inserido no mercado de trabalho, obrigada.

Ao Prof. Angelocci pelo breve momento de orientação no início do mestrado e, também por ser meu fiador durante este período.

À Ângela e Fernando da secretaria do programa, que me ajudaram com papeladas quando não era possível chegar à ESALQ.

Aos colegas e amigos da Cúpula: Ester, Leonardo (Tche), Indriati (Nagoia), Jeanine, Lucas, Fabio, Daniel e Rafael, pelas conversas, sugestões, contribuições e cafezinhos nas poucas vezes que pude conviver com vocês.

Aqueles, amigos e profissionais, que auxiliaram nas dúvidas de SIG: Rodnei Rizzo (Nene), Jefferson (LCF), Felipe (Dilbert), Henrique Sawakuchi (Tama), Matheus Bayer (Ébão), Giselle Teles e Martin Hoffman.

A Alayne Yamada, Ana Claudia Toledo (Kbron), Carolina Guimarães (Quero), Paty Wyler (Laniña) e Rafael Battisti pela ajuda na organização dos dados. Agradeço profundamente.

Ao amigo Eduardo Gelcer (Dipiliki) por me ouvir, rir, compartilhar os obstáculos e ajudar a resolvê-los.

Aos amigos Christian (Rena), Sara (Vivara), Bruno (Ofélia), Camila (Mela), Rogério (Sakola), Di, Mariana, Moniquinha, Rodrigo (UFRPE) e Célia Corrêa por entenderem minha ausência, minha correria, minhas negações e pela força e incentivos.

Ao Fabio Domingues (Vigna Brasil) pelo apoio profissional e conhecimento da *Jatropha curcas* L.

Aos pesquisadores do IAC, Daniela Argollo e Walter Siqueira e prof. Lee da UFSCar pelas trocas de informações sobre a *jatropha*. Também não poderia esquecer de agradecer ao Sr. Juarez Martins pelas conversas e encaminhamento dos resultados do experimento com *jatropha* no sertão nordestino.

Ao Cesar Nagumo e Guillaume Sagez pelo crescimento profissional, amizade e compartilhamento da pesquisa com *jatropha* no oeste da Bahia.

A Elisa C Pereira, Rafael N Tannus e equipe Agência Verde, agradeço a compreensão nos momentos de pânico, incertezas e ausência. Lucas desculpe tê-lo

deixado como estagiário segurar as pontas. Sr. Rafa, sua compreensão foi muito importante, além de ser muito grata pela abertura de novas perspectivas profissionais.

Acima de todos agradeço à minha família. Ao meu irmão e esposa por me abrigarem num momento delicado de mudança. Ao meu filho Gabriel por sempre me chamar para brincar, sempre me tirar da frente do computador toda vez que me via por muito tempo. Por dizer que não gostava dos meus mapas e por me fazer rir. Sua presença me fortalece. E aos meus pais, por tudo o que fizeram, por todo o suporte, compreensão e cuidados ao meu filho durante o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 <i>Jatropha curcas</i> L.	17
2.1.1 Descrição botânica e características.....	17
2.1.2 Centro de origem, diversidade e distribuição	19
2.1.3 Exigências climáticas da <i>jatropha</i>	22
2.1.3.1 Radiação Solar	22
2.1.3.2 Exigências térmicas	22
2.1.3.3 Geada	23
2.1.3.4 Exigências hídricas	23
2.1.4 Uso da planta	24
2.2 Zoneamento Agroclimático.....	25
2.3 Ferramentas para elaboração do zoneamento agroclimático.....	26
2.3.1 Balanço Hídrico Climatológico	27
2.3.2 Estimativa da temperatura do ar	28
2.3.3 Sistema de Informações Geográficas - SIG	29
2.3.4 Geoestatística	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Centro de Origem.....	33
3.1.1 Obtenção dos dados climáticos do Centro de Origem	33
3.1.2 Definição dos critérios de aptidão do zoneamento agroclimático de <i>Jatropha curcas</i> L. de acordo com o Centro de Origem.....	37
3.2 Região Selecionada	37
3.2.1 Característica física da região selecionada para o zoneamento agroclimático de <i>jatropha</i> no Brasil	37
3.2.2 Obtenção dos dados climáticos da Região Selecionada para o zoneamento agroclimático de <i>jatropha</i> no Brasil	40
3.2.3 Variáveis geográficas	41
3.2.3.1 Precipitação	41
3.2.3.2 Temperatura	42
3.3 Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHC)	46
3.4 Espacialização das informações agroclimáticas da região selecionada.....	50
3.5 Espacialização das variáveis climáticas e elaboração dos mapas	50
3.6 Risco Climático – Estudo de caso	53
3.6.1 Balanço Hídrico Sequencial (BHSequencial)	54

3.6.2	Estabelecimento dos critérios de aptidão para a análise de risco	54
3.6.3	Seleção das localidades e Cálculo do Índice de Risco Climático (IR_{Clima}) ...	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1	Caracterização agroclimática do Centro de Origem de <i>Jatropha curcas</i> L.	57
4.2	Estimativa de temperatura da região selecionada para zoneamento agroclimático da <i>Jatropha curcas</i> L. no Brasil	61
4.2.1	Espacialização da temperatura média anual do ar a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDET).....	66
4.2.2	Temperatura média mensal da região selecionada.....	67
4.2.3	Temperatura média anual da região selecionada.....	70
4.3	Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHNORMAL).....	73
4.3.1	Precipitação.....	73
4.3.2	Evapotranspiração Potencial (ETP) e Real (ETR).....	76
4.3.3	Deficiência hídrica (DEF) e Excedente hídrico (EXC).....	82
4.4	Zoneamento Agroclimático de <i>Jatropha curcas</i> L. para a região selecionada	89
4.4.1	Grau de aptidão da <i>Jatropha curcas</i> L. quanto ao critério temperatura média anual	90
4.4.2	Grau de aptidão da <i>Jatropha curcas</i> L. quanto ao critério deficiência hídrica	92
4.4.3	Grau de aptidão da <i>Jatropha curcas</i> L. quanto ao critério excedente hídrico	95
4.4.4	Zoneamento agroclimático da <i>Jatropha curcas</i> L.	97
4.4.4.1	Região Nordeste.....	97
4.4.4.2	Estados de Goiás e Tocantins.....	99
4.4.4.3	Estado de Minas Gerais	101
4.5	Risco climático para o cultivo de <i>Jatropha curcas</i> L. – Estudo de caso.....	104
4.5.1	Balanço Hídrico Sequencial (BHSequencial).....	104
4.5.2	Estabelecimento dos critérios de aptidão para a análise do risco climático para o cultivo da <i>Jatropha curcas</i> L.	105
4.5.3	Seleção das localidades e Cálculo do Índice de Risco Climático (IR_{Clima}) .	107
5	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	115
	ANEXOS.....	125

RESUMO

Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. como subsídio ao desenvolvimento da cultura no Brasil visando à produção de biodiesel

No Brasil as pesquisas com *Jatropha curcas* L. foram impulsionadas a partir do marco regulatório do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel de 2004, em virtude da necessidade de substituição de matéria prima para fins energéticos. Por ser uma cultura recente no Brasil, ainda não existem pesquisas que definam a sua viabilidade e o sistema de cultivo mais adequado, apesar de muito se divulgar sobre a planta e suas potencialidades em regiões com grandes períodos de seca. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar agroclimaticamente o Centro de Origem da *jatropha* para definição dos critérios de aptidão e elaboração do zoneamento agroclimático nas regiões brasileiras de maior estímulo ao plantio da cultura. Para tanto, foram levantados dados meteorológicos normais do Centro de Origem, no México e na Guatemala, o que permitiu a caracterização agroclimática dessas regiões e a definição das variáveis que mais afetam a cultura: temperatura do ar (T_a); deficiência hídrica (DEF); e excedente hídrico (EXC). A faixa de T_a apta para a *jatropha* está entre 23 e 27°C, sendo que as faixas entre 15 e 22,9°C e entre 27,1 a 28°C são classificadas como marginais por deficiência e excesso térmico, respectivamente. Abaixo de 15°C e acima de 28°C, as condições de inaptidão. Para o DEF, a aptidão ocorre para valores abaixo de 360 mm; enquanto entre 361 e 720 mm às áreas são consideradas marginais e acima de 720 mm inaptas. A faixa apta estabelecida para o EXC situa-se até 1200 mm, marginal entre 1201 e 2400 e inapta acima de 2400 mm. Os critérios definidos subsidiaram a elaboração do zoneamento agroclimático para a região Nordeste e para os estados do Tocantins, Goiás e Minas Gerais. Para a elaboração do zoneamento agroclimático da *jatropha*, os dados de temperatura e precipitação foram obtidos junto ao INMET e à ANA e empregados na confecção dos balanços hídricos normais. Os valores resultantes desses balanços, como evapotranspiração potencial (ETP) e real (ETR), DEF e EXC, compuseram a análise para espacialização a fim de se obter a variabilidade temporal e espacial dessas variáveis. A interpolação dos dados foi feita empregando-se o método da regressão linear múltipla, para estimativa espacial das variáveis agroclimáticas, e o da *krigagem* ordinária, para interpolação dos erros das estimativas. Os mapas gerados de T_a , DEF e EXC foram cruzados para obtenção dos mapas finais do zoneamento agroclimático para as regiões selecionadas. A partir dos mapas do zoneamento pode-se concluir que apenas 22,65% da região NE encontra-se como apta ao cultivo da *jatropha*, sendo as demais áreas classificadas como marginal por deficiência hídrica (50,31%), marginal por excesso térmico e deficiência hídrica (11,79%) e inaptas (14,73%). Os estados de GO e TO apresentam a maior porcentagem de áreas aptas (47,78%), seguidas pelas áreas marginais por excesso térmico e deficiência hídrica (28,08%), marginais por deficiência hídrica (14,43%), e inaptas (9,37%). O estado de MG possui 33,91% de áreas aptas, 32,14% de áreas marginais por deficiência hídrica, 32,61% de áreas marginais por deficiência térmica e apenas 0,24% das áreas inaptas. A análise de risco, conduzida para o estado do TO, permitiu comprovar as chances de sucesso da cultura e confirmar que o zoneamento agroclimático para *jatropha* foi viável para estabelecer as áreas de maior favorabilidade ao cultivo dessa espécie.

Palavras-chaves: Pinhão manso; Agroclimatologia; Sistema de Informação Geográfica; Balanço Hídrico; Aptidão Agrícola; Biodiesel

ABSTRACT

Agroclimatic zoning of *Jatropha curcas* L. as a subside for the crop development in Brazil aiming the biodiesel production

In Brazil the researches with *Jatropha curcas* L. were stimulated by the regulatory mark of the National Program of Production and Use of Biodiesel of 2004, considering the necessity of changing the raw material for energetic purposes. As jatropha is a recent crop in Brazil, the researches for defining its feasibility and the best crop system are not yet available, even considering the promises about this plant as of high potential for regions with long drought periods. Based on that, the present study had as objectives to characterize the climate of the jatropha Center of Origin for defining the criteria for crop feasibility and for agroclimatic crop zoning in the Brazilian regions considered of high potentiality for the crop. For such purposes, climate data from de Center of Origin, in Mexico and Guatemala, were obtained and used for agroclimatic characterization and definition of the more relevant climatic variables for the crop: annual temperature (Ta); water deficiency (WD); and water surplus (WS). The range of Ta considered as feasible for jatropha was between 23 and 27°C; whereas between 15 and 22.9°C and between 27.1 and 28°C they were considered marginal, with limitations due to thermal deficiency and excess, respectively. Below 15°C and above 28°C, the conditions were considered unfeasible. For WD, the feasibility was considered for values below 360 mm. Values between 361 and 720 mm were considered marginal by water deficiency and above 720 mm unfeasible. The feasible condition for WS was admitted for values below 1200 mm; whereas marginality was considered for values between 1201 and 2400 mm. When the WS is above 2400 mm, the conditions are unfeasible. These criteria subsidized the elaboration of the jatropha crop zoning for the following Brazilian regions: Northeast region and states of Goiás, Tocantins, and Minas Gerais. For the confection of the crop zoning, climatic data from INMET and ANA were obtained and organized to calculate the normal climatological water balance. The outputs of the normal water balance, as potential (PET) and actual (AET) evapotranspiration, WD, and WS, were spacialized aiming to recognize the temporal and spatial variability of them. The interpolation of these variables was done base on the multiple linear regression method, associated to the ordinary *kriging* interpolation of the errors. The agroclimatic maps obtained for Ta, WD, and WS were crossed for obtaining the final agroclimatic crop zoning maps for the selected regions. Based on these maps, it was detected that only 22.65% of the areas in the NE region are feasible for jatropha. The other areas of the region are classified as marginal by water deficiency (50.31%), marginal by water deficiency and thermal excess (11.79%), and unfeasible (14.73%). In the states of Goiás and Tocantins the majority of the areas (47.78%) is classified as feasible, followed by 28.08% of the areas considered as marginal by water deficiency and thermal excess, 14.43% as marginal by water deficiency, and 9.37% as unfeasible. In Minas Gerais, 33.91% of the areas of the state are feasible, 32.14% are marginal by water deficiency, 32.61% are marginal by thermal deficiency, and only 0.24% are unfeasible. The analysis of climatic risk, conducted for Tocantins state, allowed to identify with more details where the jatropha crop can be successful and also proved that the agroclimatic crop zoning for jatropha was able to establish the areas of high favorability for growing this crop.

Keywords: Physic nut; Agroclimatology; Geographical Information System; Water Balance; Agricultural Feasibility; Biodiesel

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da necessidade de mudança na matriz energética vigente, muito se tem discutido a respeito de matérias primas alternativas em substituição aos combustíveis fósseis, principalmente no que concerne à questão do potencial de plantas oleaginosas para a produção de biocombustíveis. No Brasil, as pesquisas com fontes alternativas de energia foram impulsionadas em 2004 por meio do marco regulatório do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.

A partir do marco regulatório surgiram pesquisas com várias opções de plantas oleaginosas, uma vez que o Brasil apresenta potencial para a produção de diversas delas. Dentre essas plantas, a *Jatropha curcas* L., também conhecida como pinhão manso, tem sido mencionada como de grande potencial oleaginoso, não apenas no Brasil, mas também mundialmente para a produção de biodiesel e bioquerosene.

A *Jatropha curcas* L. é uma planta perene, caducifolia, e, de acordo com Henning (2005) apud Saturnino et al. (2005), apesar de resistente à seca, pode ter a produtividade comprometida em regiões com precipitações pluviais abaixo de 600 mm ano⁻¹. Para Heller (1996), a produtividade da *jatropha* pode atingir até 8,0 t ha⁻¹ de sementes, porém em regiões áridas, essa cai para a faixa de 200 a 800 kg de sementes por hectare.

As pesquisas no Brasil com *jatropha* são recentes e os trabalhos destacam que ainda não existem definições sobre a viabilidade e sobre um sistema de cultivo ideal tanto para as condições de sequeiro, dependente das chuvas, quanto irrigadas, pois até a população de plantas ideal e a configuração de plantio ainda não estão bem definidos (SATURNINO et al., 2005; BELTRÃO, 2006; EBDA, 2009; EMBRAPA, 2010, ABPPM, 2010).

No Brasil, a espécie é encontrada em todas as regiões, principalmente nas regiões sudeste e nordeste. Alguns pesquisadores apontam o Brasil como o centro de origem devido à distribuição ao longo de todo o país, porém muitos estudos estão evidenciando como centro de diversidade genética e, possível centro de origem o norte da América Latina, destacando-se México e Guatemala. Estudos realizados por Núñez-Colín e Goytia-Jiménez (2009) para determinação da distribuição da espécie e dos padrões climáticos da região de origem apontaram o México e o norte da América

Central como o centro de diversidade da espécie. No México, a diversidade genética é citada na literatura como sendo expressiva, sobretudo por ocorrer naturalmente o genótipo atóxico, sem a presença de ésteres de forbol. É comum no país a população de alguns estados se alimentarem da polpa ou sementes de *jatropha*, tradição existente desde a época dos maias. Não se tem relatos de ocorrência do genótipo atóxico fora do México.

A *jatropha* se destaca devido à divulgação de sua capacidade em suportar e produzir em grandes períodos de seca e solos menos férteis. Essa característica de planta rústica e adaptável a condições edafoclimáticas menos favoráveis para outras culturas estimulou muitos agricultores de regiões como o sertão nordestino a plantarem a *jatropha* na expectativa de obterem produção e renda com a comercialização para fins energéticos, ou seja, biocombustível. Sua ampla ocorrência em distintos países e regiões aumenta as expectativas de desenvolvimento e produção em condições edafoclimáticas diversificadas e inaptas para outras culturas potencialmente energéticas. Porém as experiências nessas regiões são recentes e poucas são as informações a respeito de produção em condições de seca e solos mais pobres. Muitas pesquisas estão sendo conduzidas, tanto no Brasil quanto no exterior, para comprovar ou desmitificar essas potencialidades que foram difundidas a respeito da *jatropha*.

Para o início do plantio de *jatropha* voltado para a produção de biocombustível é importante a realização do zoneamento agroclimático para se determinar o potencial de uma região quanto a sua aptidão, delimitando as condições climáticas favoráveis para o cultivo. O Programa de Zoneamento Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é um instrumento de apoio às políticas agrícolas que visa facilitar a operacionalização de crédito e securidade rural, porém este ainda não apresenta informações para a *jatropha*, por falta de critérios para zoneamento da cultura.

Além do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel para fomento do plantio de oleaginosas, para a agricultura familiar e o PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), o Governo criou o Selo de Combustível Social. Este Selo valoriza a matéria prima para o biodiesel proveniente da agricultura familiar, produzida em solos de baixa fertilidade, principalmente de regiões como o semi árido

nordestino, promovendo a sustentabilidade, gerando e aumentando a renda dos pequenos agricultores e mantendo o homem no campo. O Selo Combustível Social é um componente de identificação concedido pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário aos produtores de biodiesel que promovam a inclusão social e o desenvolvimento regional por meio da geração de empregos e de renda para os agricultores familiares enquadrados nos critérios do PRONAF.

Partindo-se da hipótese de que a *jatropha* pode vir a ser uma cultura de grande importância para a agricultura familiar de áreas de menor potencial agrícola, o presente estudo teve por objetivos:

- a) Caracterizar agroclimaticamente o centro de origem da cultura;
- b) Definir as variáveis climáticas e critérios de aptidão, marginalidade e inaptidão da cultura em função do clima da região de origem;
- c) Elaborar o zoneamento agroclimático da cultura para a região Nordeste e para os estados de Goiás, Tocantins e Minas Gerais;
- d) Avaliar o risco climático para a cultura em regiões classificadas como aptas e marginais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 *Jatropha curcas* L.

O gênero *Jatropha* L. pertence à família Euphorbiaceae, sendo atualmente conhecidas aproximadamente 170 espécies, distribuídas pela América, África e Ásia (HELLER, 1996). Caracteriza-se por apresentar grande variação morfológica. Dentre as espécies do gênero, destaca-se a *Jatropha curcas* L.

No Brasil, a *Jatropha curcas* L. é popularmente conhecida como pinhão manso, porém também recebe os nomes de pinhão de purga, pinhão de cerca, pinhão do paraguai, purgueira, entre outros.

2.1.1 Descrição botânica e características

Segundo Peixoto (1973), Drummond (1984), Heller (1996), Joker e Jepsen (2003) e Saturnino et al. (2005), a *Jatropha curcas* L. é um arbusto que atinge de 3 a 5 m até 8 a 12 m de altura, com tendência a se ramificar desde a base, com diâmetro do tronco variando de 20 a 30 cm. Possui casca esverdeada e produz um abundante suco lácteo. Suas folhas são decíduas, alternadas a sub-opostas e a inflorescência é uma cimeira definida que surge junto com as folhas novas. As flores masculinas e femininas se encontram dispostas na mesma inflorescência (HELLER, 1996).

A inflorescência da *jatropha*, como citado por Saturnino et al. (2005), contém de 5 a 20 flores femininas, que se abrem em dias diferentes. Em cada inflorescência desabrocham primeiro as flores femininas, seguindo o sentido de baixo para cima na planta. Do mesmo modo, ocorrem a frutificação e a maturação. Os frutos fecundados tardiamente continuam a crescer depois da maturação dos primeiros frutos de um cacho (Figura 1 e Figura 2), o que gera colheita em diferentes épocas do ano.

Figura 1 – Inflorescência de jatropha com diferentes estágios de florescimento. Foto: MARTINS, 2009

Figura 2 – Frutos fecundados tardiamente e maturação dos primeiros frutos de jatropha. Foto: YAMADA, 2010

O fruto é tipo cápsula trilocular, com uma semente por lóculo, constituída por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, deiscente. No início o fruto é verde, passando de amarelo a castanho e chegando à cor preta, quando atinge o estágio de maturação. Esse processo dura aproximadamente dois meses. Os frutos têm, em média, de 2,5 a 4,0 cm de comprimento por 1,5 a 3,0 cm de diâmetro. A semente é ovalada, endospermica, tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. As sementes, quando secas, apresentam cerca de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,5 cm de largura (PEIXOTO, 1973). De suas sementes é extraído o óleo que serve como matéria prima a produção de biocombustível. O mesmo autor cita a composição do fruto como sendo 53

a 62% de semente e 38 a 47% de casca. Outros afirmam que a porcentagem de casca é muito menor, entre 16 a 30% (BRASIL, 1985; SATURNINO et al., 2005).

Quanto à porcentagem de óleo, destaca-se o alto teor, variação de 27 a 38%, que representam 53 a 79% do peso do fruto (CARNIELLI, 2003; ARRUDA, 2004; DIAS et al., 2007; NUNES, 2007). Porém, os teores de óleo podem variar de acordo com as características genéticas, tecnologia de produção e de extração adotadas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; MARQUES, 2007). Ferrari et al. (2009) obtiveram em experimento de campo o rendimento em óleo nas sementes de 11,29 a 39,70%. Penha et al. (2008) encontraram 30,82% de óleo nas sementes, valor muito semelhante ao obtido por Bicudo et al. (2007) de 30,22% .

De acordo com a descrição de Saturnino et al. (2005), Ambiente Brasil (2006), Rangel (2006) e Silva (2006), o pecíolo, longo e verde, cai em partes ou totalmente, no final da época seca, ou durante a estação fria. A planta entra em repouso até o início da primavera, ou da época das chuvas, o que a caracteriza como caducifólia. Akker (1997) afirma que o florescimento da espécie tende a ser episódico e responde à variação da chuva, do mesmo modo como o crescimento e a reprodução são influenciados pelos estádios nutricionais da planta. Assim sendo, um solo menos fértil que desencadeie deficiência nutricional ocasionará conseqüentemente, menor crescimento da planta.

Acredita-se que a planta tem potencial de produção, a partir do 4º ano, superior a 4 t ha⁻¹ de sementes, representando produtividade de óleo superior a 2 t ha⁻¹ (CARNIELLI, 2003; TOMINAGA, 2005; MARTINS, 2009; DRUMOND et al., 2009).

2.1.2 Centro de origem, diversidade e distribuição

Um grande número de pesquisadores tem tentado definir o centro de origem da *Jatropha curcas* L., porém há controvérsias pelo fato de ser uma espécie com grande distribuição nos trópicos, encontrada principalmente em regiões de baixas altitudes, abaixo de 1.200 m, com precipitações médias anuais entre 300 e 2.000 mm e temperaturas de 18 a 28°C, apesar de haver plantios em regiões com temperaturas de até 34°C.

Segundo Peixoto (1973), a *Jatropha curcas* L. é oriunda da América do Sul, Brasil e das Antilhas. Foi introduzida em 1783 nas Ilhas do Arquipélago de Cabo Verde,

alcançando a África e a Índia, disseminando-se por todas as regiões tropicais, temperadas e, em menor escala, nas frias.

Peixoto (1973) afirma que no Brasil a espécie é adaptável a distintas condições climáticas, ocorrendo desde o nordeste até São Paulo e Paraná. De acordo com Drummond et al. (1984) a *Jatropha curcas* L. é uma planta comum do noroeste do Estado de São Paulo até o Paraguai, o que teria originado o nome da espécie nessa região como pinhão do Paraguai. Ainda no Estado de São Paulo, na região do Vale do Ribeira, há relatos dos quilombolas de que a planta era utilizada pelos ancestrais para fabricação de sabão e purgante.

No documento do Ministério da Indústria e Comércio de 1985 já se relatava a produção de combustível líquido a partir de óleo de jatropha. Este documento também relata que a espécie era conhecida no Brasil desde as épocas pré-colombianas, assim como por ter sido usada nas lamparinas para iluminar as ruas do Rio de Janeiro no século 19 (CORRÊA, 1952; DRUMMOND, 1984; BRASIL, 1985).

No Estado de Minas Gerais, a jatropha é encontrada com maior frequência, crescendo em terrenos não cultivados, principalmente no norte do Estado e no Vale do Jequitinhonha (SATURNINO et al., 2005).

Pela existência de relatos desde 1700 da ocorrência da espécie em distintas regiões brasileiras, muitos autores acreditam que a *Jatropha curcas* L. seja uma planta originária do Brasil. Um dos documentos, editado em 1782, “História dos Reinos Vegetal e Mineral do Brasil Pertencente à Medicina”, de autoria de Francisco Antônio de Sampaio, cita a espécie como natural do Brasil (BRASIL, 1985).

No Brasil a espécie vem sendo cultivada desde o Paraná até o nordeste, principalmente nos estados de Minas Gerais, Tocantins e Pernambuco, com ampla distinção de temperatura e precipitação. De acordo com levantamento realizado pela EMBRAPA, em 2009 o Brasil tinha em torno de 20.000 ha de área plantada com *Jatropha curcas* L (DURÃES et al., 2009).

Cordero e Boshier (2004) consideram a *Jatropha curcas* L. uma espécie nativa da América Tropical, cultivada desde os tempos pré colombianos. Atualmente, se distribui desde o México até a Argentina, incluindo as Antilhas. Cordero e Boshier (2004)

consideram ainda a América Central como uma área com grande potencial de cultivo de *Jatropha curcas* L.

Figura 3 – Distribuição de *Jatropha curcas* L. na América Central. Fonte: Árboles de Centro America, 2004

Muitos autores têm defendido que a *Jatropha curcas* L. é originária do México e de alguns países da América Central pelo fato de ser uma região com grande diversidade da espécie (CANO-ASSELEIH, 1992; HELLER, 1996; SCHMOOK et al., 1997; MAKKAR et al. 1998; SCHMOOK; SÁNCHEZ, 2000; TOREL et al., 2008; NÚÑEZ-COLÍN; GOYTIA-JIMÉNEZ, 2009). No México há ocorrência natural da jatropha atóxica. A característica atóxica corresponde a uma nula ou pequena porcentagem das substâncias tóxicas encontradas em grande quantidade no genótipo tóxico. A toxicidade que define seu uso medicinal como vermífugo. As propriedades tóxicas da jatropha são devidas a uma globulina, a curcasina e também ao éster de forbol 12-deoxi-16-hidroxiforbol (MAKKAR et al., 1979).

Heller (1996) relata que muitos pesquisadores tentaram definir distintas regiões como centro de origem da *Jatropha curcas* L, porém destaca os estudos realizados por Dehgan e Webster (1979) no qual foram visitados centenas de herbários espalhados nas Américas e detectado que a maioria do material coletado provinha do México.

Acredita-se que a *Jatropha curcas* L. foi introduzida na África, Cabo Verde, pelos portugueses, espalhou-se de Moçambique e Zâmbia para as regiões quentes da Ásia (BURKILL, 1966; HELLER, 1996). É encontrada em determinados lugares quentes da

Austrália, tornando-se espontânea em alguns locais de Queensland e do Território do Norte. Nos Estados Unidos, é encontrada na Flórida, principalmente ao sul de Orlando, e também no Havaí (BEGG; GASKIN, 1994).

2.1.3 Exigências climáticas da *Jatropha*

O plantio de *Jatropha curcas* L. tem sido promovido baseado na rusticidade e desenvolvimento em condições adversas, como em regiões semi áridas e áridas. Essa característica continua sendo muito difundida por alguns autores que consideram a *Jatropha* uma planta que suporta situações de longas estiagens em regiões de terra de baixa fertilidade e precárias propriedades físicas com produção satisfatória de óleo (PEIXOTO, 1973). No entanto, tais condições afetam a produtividade. Dentre as exigências climáticas da cultura, tem-se que:

2.1.3.1 Radiação Solar

Matos et al. (2009) obtiveram sucesso do cultivo da espécie à sombra ou a pleno sol. As mudas de *Jatropha curcas* L. demonstraram relativa variação das características fisiológicas quando submetidas a diferentes irradiâncias. De acordo com esses autores, os resultados sugerem que a *Jatropha* possui alta capacidade de adaptação a diferentes condições de disponibilidade de luz, o que deve estar relacionada com a aclimação de *Jatropha curcas* L a baixas irradiâncias.

Liang et al. (2007) aponta que sob alta irradiância solar a taxa fotossintética máxima obtida situa-se entre 9,8 e 14 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

2.1.3.2 Exigências térmicas

Heller (1996) afirma que a espécie se adapta às altas temperaturas, acima de 28°C e Duke (1983) aponta o desenvolvimento da *Jatropha* sob distintas condições climáticas, sendo encontrada em regiões tropicais, florestas subtropicais e florestas úmidas onde se podem ter temperaturas médias anuais entre 18° a 28,5°C.

2.1.3.3 Geadas

Segundo BRASIL (1985) e Saturnino et al. (2005), a *jatropha* não suporta geadas fortes, porém pode sobreviver a geadas mais fracas, que pode induzir a perda de folhas e, conseqüentemente, redução da produção de sementes. Andrade et al. (2007) obtiveram resultados que indicaram o comportamento da *jatropha* semelhante ao cafeeiro arábica quanto ao risco de perdas por geada, uma vez que a morte de plantas jovens ocorreram na mesma faixa de temperatura mínima letal para os cafeeiros, entre -3 e -4°C.

2.1.3.4 Exigências hídricas

Aparentemente a *jatropha* desenvolve-se em distintas condições climáticas, ocorrendo, como citado, desde regiões tropicais muito secas às úmidas. HELLER (1996) afirma que a espécie se adapta melhor a regiões mais áridas com precipitação média anual entre 300 e 1.000 mm. Porém, também se desenvolve muito bem em regiões com altas precipitações. Além dessa flexibilidade quanto à precipitação, segundo Henning (1996) a espécie é tolerante a longos períodos de estiagem com precipitações anuais abaixo de 600 mm, podendo sobreviver com apenas 200 mm anuais de chuva por até três anos. Esses autores defendem que a planta entra em dormência devido às flutuações climáticas, perdendo as folhas e utilizando água armazenada no caule nos períodos de seca e, conseqüentemente, esse estímulo favorece o aumento do teor de óleo nas sementes.

No Brasil, há relatos desde a década de 1980 (BRASIL, 1985), que afirmam que a planta não tolera seca e também tem sua produtividade muito afetada pela distribuição irregular das chuvas. Lima Filho et al. (2007) e Drumond et al. (2007) comprovaram a partir de estudos que a produção é bastante reduzida em condições de sequeiro nas plantas adultas em fase de produção, enquanto que mudas em desenvolvimento tem seu crescimento lento e, em algumas situações, paralisado.

Muitas áreas de plantio de *jatropha* em regiões semi-áridas do nordeste brasileiro, com precipitação anual inferior a 600 mm e condição de sequeiro, não prosperaram pelo fato das sementes não germinarem em campo e as mudas terem seus crescimentos paralisados.

2.1.4 Uso da planta

A espécie *Jatropha curcas* L. possui inúmeros atributos e potenciais consideráveis, destacando-se o uso como cerca viva, controle da erosão, tutores para outras plantas, vermífugo, fabricação de sabonete e, atualmente, como matéria prima para a produção de biocombustível (CORRÊA, 1952; DRUMMOND et al., 1984; HELLER, 1996; CORDERO; BOSHIER; 2004; HENNING, 2004; SATURNINO et al., 2005; TORAL et al., 2008).

O uso como cercas vivas é muito comum em toda a América Tropical, principalmente em algumas regiões de El Salvador (BUDOWSKI; GHOLZ, 1987). Em Honduras, principalmente no departamento de Comayagua, é encontrada como tutora de outros cultivos, poste, para controle da erosão e como planta ornamental (CORDERO; BOSHIER; 2004).

Na Guatemala e no México foi usada por um longo tempo como planta hospedeira de um inseto que produz uma goma muito apreciada, utilizada como verniz para polir guitarras e outros instrumentos de madeira (BOSHIER; 2004).

No México, a população do estado de Veracruz utiliza as sementes de *Jatropha curcas* L. atóxica na culinária, elaborando comidas típicas regionais, tradição essa de origem maia (SCHMOOK et al., 1997; SATURNINO et al., 2005; NÚÑEZ-COLÍN; GOYTIA-JIMÉNEZ, 2009). Há diferenças acentuadas na quantidade e na intensidade de consumo das sementes e do emprego do látex. Os camponeses na Península de Yucatán possuem geralmente uma planta de *Jatropha curcas* L. no quintal de suas casas para uso medicinal, enquanto que os camponeses de Veracruz, Tabasco e Chiapas plantam e utilizam as sementes na elaboração de algumas comidas (SCHMOOK; SÁNCHEZ, 2000). Cano-Asseleih (1992), Makkar et al. (1998) e Núñez-Colín e Goytia-Jiménez, (2009) mencionam a ocorrência natural do genótipo atóxico não apenas no estado de Veracruz, mas também no estado de Quintana Roo. Ainda não se tem relato da ocorrência natural do genótipo atóxico em outros países.

2.2 Zoneamento Agroclimático

Para o desenvolvimento de uma agricultura produtiva e rentável é primordial o conhecimento do clima e solo da localidade com o intuito de escolher as condições mais adequadas para a implantação da cultura selecionada. O conhecimento do ambiente permite escolher as culturas mais aptas, as melhores épocas de plantio e os sistemas de cultivo mais adequados de acordo com as características encontradas (CAMARGO et al., 1974; FEITOZA et al., 1979; OMETTO, 1981; PEREIRA et al., 2002; CECILIO et. al, 2003).

Uma cultura será considerada apta para o cultivo numa região se forem atendidas suas exigências climáticas. Pereira et al. (2002) afirmam que a cultura necessita de condições climáticas favoráveis durante todo o seu ciclo vegetativo, ou seja, exige determinados limites de temperatura nas distintas fases vegetativas, disponibilidade hídrica mínima e de um período seco nas fases de maturação e colheita.

A definição da aptidão agrícola de uma região considera além do clima, os fatores edáficos, sociais e econômicos, que associados determinam o zoneamento agrícola. O zoneamento agrícola constitui uma tarefa de fundamental importância na organização dos programas de trabalho e suporte de planejamento do setor agropecuário (CAMARGO et al., 1974; CUNHA; ASSAD, 2001; PEREIRA et al., 2002; CECÍLIO et. al. 2003). Devido à importância, o zoneamento agrícola é um instrumento de apoio às políticas agrícolas na área de crédito e securidade rural.

O zoneamento agroclimático baseia-se na aptidão climática das localidades para o cultivo de determinada cultura de interesse agrícola. Segundo Pereira et al. (2002), o zoneamento agroclimático é a arte e a ciência de escolher a espécie certa para um determinado ambiente, e, em geral, é o primeiro aspecto a ser considerado no planejamento da implantação de um empreendimento agropecuário.

Este tipo de zoneamento consiste essencialmente na delimitação das áreas de aptidão (regiões climaticamente homogêneas), de acordo com o macroclima (PEREIRA, et al., 2002; CASTRO, 2008), para o cultivo de determinada cultura, na qual estão estabelecidas as condições hídricas e térmicas ideais para o seu desenvolvimento e produtividade (CECÍLIO et. al., 2003). A delimitação das áreas aptas é realizada a partir

do mapeamento das informações climáticas da região e exigências climáticas da cultura a ser zoneada.

Entre as etapas para obtenção do zoneamento agroclimático destacam-se a caracterização das exigências climáticas da cultura de interesse, o levantamento climático da região estudada e a elaboração das cartas climáticas básicas e de zoneamento (FERREIRA, 1997; PEREIRA, et al., 2002).

Normalmente, o zoneamento agroclimático é dividido em três classes de aptidão climática: a) apta, onde os problemas são aqueles normais de um cultivo econômico; b) restrita ou marginal, onde um ou mais fatores precisam ser corrigidos para permitir cultivo econômico; c) inapta, onde o cultivo econômico é bastante prejudicado com o material genético existente associado às condições climáticas locais (CAMARGO et.al., 1977; AGUIAR et.al., 2001; VAREJÃO-SILVA, BARROS, 2001; PEREIRA, et al., 2002; CECILIO et.al., 2003; WALDHEIM et. al., 2006).

Além da análise realizada quanto à aptidão agroclimática de determinada cultura para uma localidade específica, é possível avaliar essa localidade não apenas quanto à aptidão, mas também quanto aos riscos climáticos que podem afetar a cultura de acordo com suas exigências. O zoneamento de risco climático contempla análises levando-se em consideração os aspectos ecofisiológicos da cultura e os riscos como geadas, horas de frio, temperaturas elevadas e disponibilidade hídrica às quais a cultura estará sujeita durante seu ciclo (BRAGA et al., 2001; BASTOS et al., 2001; SILVA; ASSAD, 2001).

O zoneamento agroclimático deve ser revisado e constantemente atualizado, considerando novas metodologias de estudo e variedades geneticamente melhoradas, visando o estabelecimento de novas áreas aptas ao cultivo, proporcionando maior retorno para os agricultores com o aumento da área de aptidão para a cultura (SEDIYAMA et al., 2001; PEREIRA, et al., 2002).

2.3 Ferramentas para elaboração do zoneamento agroclimático

A grande maioria dos zoneamentos agroclimáticos realizados adota a temperatura do ar e a disponibilidade hídrica como exigências climáticas da cultura de interesse para o cultivo nas regiões selecionadas, por serem as variáveis que mais afetam a produtividade.

A temperatura do ar é obtida por meio de medições nos postos meteorológicos ou por estimativas oriundas de equações de regressão linear múltipla. A estimativa temperatura do ar se faz necessária uma vez que há má distribuição e reduzido número de postos meteorológicos disponíveis no território nacional (PINTO et al., 1972; BRUNINI et al., 2001; PEREIRA et al., 2002).

A disponibilidade hídrica é resultado do balanço hídrico climatológico, que permite calcular a evapotranspiração potencial, real, o excedente hídrico e a deficiência hídrica (BRAGA JUNIOR. et al., 1991; ALFONSI et al., 1995; PEREIRA et al., 1997). A deficiência hídrica é considerada como o principal fator responsável por perdas na lavoura e o excedente hídrico por perdas durante a colheita (ASSAD et al., 2001; FARIAS et al., 2001; CARAMORI et al. 2001; SEDIYAMA et al., 2001; CASTRO, 2008).

Desde modo, o conhecimento do balanço hídrico de uma região é fundamental para qualquer estudo de planejamento e gestão de recursos hídricos aplicados à agricultura.

2.3.1 Balanço Hídrico Climatológico

O balanço hídrico climatológico (BHC) consiste na avaliação das entradas e saídas de água de um volume de solo vegetado. O BHC desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das várias maneiras de se estimar o armazenamento de água do solo ao longo do tempo a partir de valores médios. O balanço hídrico climatológico pode ser elaborado em várias escalas de tempo, diária, semanal (7 dias), decendial (10 dias) ou mensal (30 dias) (PEREIRA et al., 2002).

Partindo-se do suprimento natural de água ao solo, simbolizado pelas chuvas (P), da demanda atmosférica, representada pela evapotranspiração potencial (ETP), e com uma capacidade de água disponível (CAD) apropriada, o BHC fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento da água no solo (ARM). Para que não haja nem excesso nem deficiência hídrica, a chuva (P) deve ser igual à ETP (PEREIRA et al., 2002). Portanto, a ETP representa a chuva ideal (que deveria entrar no volume de controle). Essa situação só acontece esporadicamente em alguns períodos. Em algumas regiões há excesso praticamente o ano todo, enquanto que em regiões áridas e semi-áridas isso nunca

ocorre. Em regiões tropicais, é mais comum haver excesso hídrico numa época, e deficiência hídrica em outra.

O BHC Normal é calculado a partir da entrada de dados normais de precipitação, temperatura média, da latitude da localidade e da capacidade de água disponível (CAD). A CAD é calculada pela diferença entre a umidade na capacidade de campo (CC) e a umidade no ponto de murcha permanente (PMP), multiplicada pela profundidade efetiva do sistema radicular (PESR) (BERNARDO, 1989). No entanto, para a aplicação da CAD na elaboração do balanço hídrico em macroescala, Thornthwaite e Mather (1955) apud Pereira et al. (2002), sugerem a seleção em função do tipo de cultura do que pelo tipo de solo. Deste modo, para culturas perenes, como a *Jatropha curcas* L. adota-se CAD entre 100 a 125 mm.

Para o cálculo da ETP existem diversos métodos, de acordo com as variáveis disponíveis. A estimativa a partir do método Thornthwaite (1948), difundido por Camargo (1962) e apresentada por Pereira et al. (2002) tem como vantagem a necessidade de dados de temperatura do ar e coordenadas geográficas.

Com base nesses cálculos, o balanço hídrico climatológico normal permite uma primeira avaliação da disponibilidade hídrica da região em estudo e, conseqüentemente, subsídios para a determinação da aptidão da área ao cultivo da cultura de interesse.

2.3.2 Estimativa da temperatura do ar

A deficiência de estações meteorológicas com séries longas e a ausência de estações bem distribuídas levaram vários autores a desenvolverem equações de regressão para a estimativa de variáveis meteorológicas, especialmente a temperatura do ar. Determinar a temperatura média do ar é fundamental para o planejamento agrícola e uma importante etapa do zoneamento agroclimático.

Acosta (1997), Oliveira Neto et al. (2002), Pezzopane et al. (2004), Medeiros et al. (2005), Pilau et al. (2007), Gherardi et al. (2008) e Castro (2008) descrevem que a temperatura média do ar pode ser estimada em função da latitude, longitude e altitude (variáveis independentes) por meio de equações de regressão linear múltipla, uma vez que a altitude e a latitude exercem influência sobre a temperatura. Deste modo, a estimativa da temperatura do ar, seja mínima, média ou máxima mensal e anual, a

partir das coordenadas geográficas, tem sido muito estudada (PINTO et al., 1972; COELHO et al., 1973; FEITOZA et al., 1979; SEDIYAMA; MELO JUNIOR, 1998).

A regressão é uma relação funcional entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Para um dado conjunto de variáveis independentes, a regressão dá um valor médio da variável dependente. A análise de regressão é usada na climatologia para estimar constantes em relação funcional, onde elas não são dadas diretamente (THOM, 1966 apud ASTOLPHO, 2003 p. 39).

Os modelos estatísticos de estimativa são representações simplificadas da realidade. Quanto mais alto for o seu coeficiente de determinação (R^2), mais precisão ele terá (SEDIYAMA et al., 2001).

2.3.3 Sistema de Informações Geográficas - SIG

O uso das ferramentas do sistema de informações geográficas (SIG) está se tornando cada vez mais comum para a distribuição, processamento, análise, modelagem de dados espaciais, sendo aplicadas em diversas áreas (CÂMARA et al., 1996).

Numa visão abrangente, pode-se dizer que um SIG é composto por cinco componentes independentes (Figura 4), porém interligados por meio de funções específicas (CÂMARA et al., 1996).

Figura 4 – Componentes de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) adaptado de (CÂMARA et al., 1996)

O uso do SIG para a elaboração de zoneamento agroclimático tem-se revelado uma ferramenta fundamental, uma vez que pode executar procedimentos diversos a partir de dados básicos e gerar informações georreferenciadas na definição de áreas propícias ao cultivo de determinadas culturas (CECILIO et al., 2003).

Entre as análises espaciais do SIG é possível calcular a regressão por meio da interpolação dos dados de probabilidades de ocorrência da variável climática em questão para todos os outros pontos onde não há estações meteorológicas usando-se as relações existentes entre a variável em questão, a latitude, a altitude e a longitude, para cada um dos pixels existentes no mapa, obtendo-se assim valores estimados para todas as localidades da região representada com informações a respeito do comportamento espacial da variável (CÂMARA; MEDEIROS, 1998; ASTOLPHO, 2003).

Além disso, o uso de imagens de radar tem contribuído com os zoneamentos agrícolas, especialmente por possibilitar a extração das altitudes das localidades em estudo, de acordo com as coordenadas geográficas a partir de um modelo de elevação digital do terreno (imagens SRTM) utilizado em SIG (VALERIANO; PICINI, 2000).

O radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) dos Estados Unidos no ano 2000. As imagens permitiram a disponibilização de um modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 90 m para toda a América do Sul (SOUZA FILHO, 2003). A EMBRAPA Monitoramento por Satélite desenvolveu uma metodologia para recuperar a base numérica de dados do relevo e da topografia do Brasil, obtidos pelo SRTM e disponibilizada de forma digital e homogênea (MIRANDA, 2007 apud CASTRO, 2008).

2.3.4 Geoestatística

A geoestatística associa técnicas utilizadas para analisar e inferir valores a uma variável distribuída no espaço e no tempo, ou seja, faz estimativas dentro de um contexto de distribuição no espaço supondo que os valores das variáveis, consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados (LANDIM; STURARO, 2002). Devido a essa característica a geoestatística tem tido grande aplicação,

principalmente para efetuar estimativas e/ou simulações de variáveis em locais não amostrados.

Castro (2008) afirma que a interpolação para estimar valores para locais não amostrados é importante nos estudos de zoneamento agrícola e a escolha da técnica mais adequada é essencial para se evitar erros quanto à área interpolada e obter valores uniformes.

O método de estimativa básico utilizado em SIG é o da *krigagem*. É um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada *variograma* (LANDIM; STURARO, 2002). A *krigagem* utiliza distâncias ponderadas e estimação por médias móveis pelo qual os pesos adequados são obtidos a partir do *variograma* (LANDIM, 2000).

Segundo Rossi et al. (1994) apud Castro (2008), o método de *krigagem* possui três características que o diferencia dos outros métodos de interpolação, sendo elas:

- a) fornece uma estimativa maior ou menor que o valor das amostras, sendo as técnicas tradicionais restritas às faixas de variações das amostras;
- b) usa a distância e a geometria entre as amostras, enquanto os outros métodos usam distâncias euclidianas na avaliação das amostras;
- c) leva em conta a minimização da variância do erro esperado, por meio de um modelo empírico da continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, expresso pelo semivariograma.

Segundo Vieira (2000), a estatística clássica deve ser complementada pela geoestatística. A estatística clássica é inadequada para o estudo da variabilidade espacial porque assume a variação aleatória e não considera a correlação espacial e a localização relativa das amostras, porém utiliza parâmetros (média e desvio padrão) que eliminam os dados discrepantes por meio de rigorosa avaliação desses dados. Portanto, as duas são importantes e uma não exclui a outra (CAMARGO, 1997; CASTRO, 2008).

Técnicas de interpolação são utilizadas para converter os dados pontuais em dados contínuos, com a finalidade de cobrir as áreas dependentes da estimativa de dados em locais não monitorados por estações meteorológicas por meio de valores registrados em locais vizinhos (RODRÍGUEZ-LADO et al., 2007). Ou seja, a interpolação

de dados espaciais é necessária sempre que necessite estimar uma variável numérica, em uma determinada posição geográfica, em que não existe a informação, a partir de pontos amostrais medidos na vizinhança (XAVIER, et al. 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Centro de Origem

3.1.1 Obtenção dos dados climáticos do Centro de Origem

A primeira etapa do trabalho consistiu na obtenção do banco de dados climáticos necessário para a elaboração do balanço hídrico climatológico e posterior caracterização agroclimática da região considerada como Centro de Origem da *Jatropha curcas* L.

O critério para a escolha do Centro de Origem baseou-se no trabalho realizado por Núñez-Colín e Goytia-Jiménez (2009) que caracterizou agroclimaticamente as regiões de ocorrência natural da *Jatropha curcas* L no México. De acordo com os autores, a espécie está distribuída na maioria das zonas tropicais e subtropicais do México, nos tipos climáticos, segundo Köppen, Aw1, Aw2 e Bs1. As principais regiões de ocorrência da espécie e por este motivo indicadas para o estabelecimento de cultivos no México são as localizadas entre os estados de Veracruz, Chiapas e Oaxaca. Além dessas, o estado de Quintana Roo também foi considerado na obtenção do banco de dados por ocorrer naturalmente a *jatropha* atóxica. Os genótipos atóxicos foram encontrados em regiões do tipo Aw2, enquanto os genótipos tóxicos nas regiões do tipo Aw1 e Bs1.

As informações climáticas do México foram obtidas do Servicio Meteorológico Nacional – SMN/México. Na homepage do SMN foi possível encontrar todas as variáveis climáticas de interesse nas estações meteorológicas da região em estudo.

Para a Guatemala, as informações foram obtidas do Instituto Nacional de Sismologia, Vulcanologia, Meteorologia y Hidrologia – INSIVUMEH, assim como do sistema da FAO-ONU, FAOCLIM2, para complementar. Na Guatemala o número utilizado de estações meteorológicas foi menor comparado com o México, devido à dificuldade de se obter dados com períodos mínimos satisfatórios para a caracterização agroclimática.

De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM) é recomendado o uso de séries históricas de dados de 30 anos, embora alguns autores já utilizem séries mais curtas e com resultados satisfatórios (MARQUINEZ et al, 2003). No presente

trabalho adotou-se um período de no mínimo 15 anos, devido às limitações de duração das séries climatológicas de algumas estações.

A caracterização agroclimática do Centro de Origem baseou-se em dados de 123 estações meteorológicas, sendo 93 estações localizadas no México, nos estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz e Quintana Roo e 30 estações na Guatemala, divididas entre os departamentos de San Marcos, Escuintla, Quetzaltenango e Retalhuleu (Figura 5, Tabelas 1 a 4).

Figura 5 – Localização das estações meteorológicas do Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. no México e Guatemala

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e altitudes das estações meteorológicas do Estado de Chiapas e Oaxaca, México (continua)

Estação Chiapas	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação Oaxaca	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
CATARINITAS	15,90	92,48	650	1971-2009	BETHANIA	17,97	96,03	300	1971-2009
EL PROGRESO	17,05	93,31	170	1971-2009	CHICAPA DE CASTRO	16,58	94,80	35	1971-2009
LA LIBERTAD	16,56	93,66	520	1971-2009	COFRADIA	16,75	94,75	345	1971-2009
LA PROVIDENCIA	16,52	93,96	670	1971-2009	GUEVEA DE HUMBOLDT	16,79	95,37	600	1971-2009
LA UNION	16,67	93,80	580	1971-2009	MATIAS ROMERO	16,88	95,03	201	1971-2009
LAS PEÑITAS	17,40	93,45	120	1971-2009	NILTEPEC	16,56	94,61	50	1971-2009
LUIS ESPINOSA	17,15	93,42	400	1971-2009	OSTUTA	16,50	94,44	35	1971-2009
MALPASO II, PLATANAR ARRIBA	17,21	93,58	398	1971-2009	SAN JUAN	17,47	95,82	122	1971-2009
DE	17,58	93,39	39	1971-2009	SAN FELIPE ZIHUALTEPEC	17,45	95,38	35	1971-2009

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e altitudes das estações meteorológicas do Estado de Chiapas e Oaxaca, México (conclusão)

Estação Chiapas	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação Oaxaca	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
SANTA MARIA	16,94	93,82	200	1971-2009	SAN MIGUEL CHIMALAPA	16,71	94,75	280	1971-2009
VERTEDOR	17,22	93,73	178	1971-2009	STA. MA. CHILAPA	17,45	97,62	2298	1971-2009
YAMONHO	17,12	93,33	280	1971-2009	SANTIAGO CHIVELA	16,72	95,00	180	1971-2009
					ZAPOTE	17,73	95,92	60	1971-2009

Fonte: SMN, México

Tabela 2 – Coordenadas geográficas e altitudes das estações meteorológicas do Estado de Quintana Roo, México

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
ADOLFO LOPEZ MATEOS,JOSE	19,63	88,69	48	1971-2009	LOS POZOS	18,55	88,48	20	1971-2009
AGUA BLANCA,OTHON P. BLA	18,01	88,82	94	1971-2009	NICOLAS BRAVO	18,46	88,93	123	1971-2009
ALVARO OBREGON	18,29	88,64	52	1971-2009	PALMAS PEDRO	19,23	88,12	20	1971-2009
CHACCHOBEN LAZARO CARDENAS	18,98	88,21	29	1971-2009	ANTONIO SANTOS	18,95	88,16	30	1971-2009
CHETUMAL	18,50	88,33	26	1971-2009	PUCTE	18,23	88,67	65	1971-2009
CHETUMAL TECNOLÓGICO	18,52	88,30	17	1971-2009	PUERTO MORELOS	20,83	86,90	20	1971-2009
COBA,SOLIDARIDAD	20,49	87,74	23	1971-2009	SEÑOR SERGIO	19,85	88,14	37	1971-2009
DZIUCHE,JOSE MA. MORELOS	19,90	88,81	55	1971-2009	BUTRON CASAS	18,51	88,57	49	1971-2009
FELIPE CARRILLO PUERTO,F	19,58	88,05	22	1971-2009	SOLFERINO	21,35	87,43	23	1971-2009
INIA-CAECHET,OTHON P. BL	18,57	88,46	41	1971-2009	TAMPAK	19,57	88,70	100	1971-2009
ISLA HOLBOX,LAZARO CARDE	21,53	87,28	20	1971-2009	TIHOSUCO	20,19	88,37	62	1971-2009
KANTUNILKIN,LAZARO CARDE	21,10	87,49	33	1971-2009	TULUM	20,23	87,46	25	1971-2009
LA PRESUMIDA,JOSE MA. MO	19,80	88,75	46	1971-2009	VALLEHERMO SO	19,19	88,52	48	1971-2009
LEONA VICARIO,BENITO JUA	20,99	87,20	22	1971-2009	VICTORIA	20,79	87,28	32	1971-2009
LIMONES	19,02	88,11	12	1971-2009	X-PICHIL	19,69	88,38	34	1971-2009

Fonte: SMN, México

Tabela 3 – Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas do Estado de Veracruz, México (continua)

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
CARDON	21,41	98,48	60	1971-2009	MATA DE LIMONES	18,11	95,53	50	1971-2009
CATEMACO	18,42	95,12	254	1971-2009	MINATITLAN	17,98	94,53	65	1971-2009
CEDILLO	17,25	94,61	100	1971-2009	NUEVO IXCATLAN	17,63	95,44	60	1971-2009
CHICAYAN	21,63	98,12	35	1971-2009	PAIJA	22,04	98,41	12	1971-2009
CHINAMECA	18,04	94,66	40	1971-2009	PANUCO	22,06	98,18	60	1971-2009
COL.GRUPO3,	17,90	95,53	140	1971-2009	PLAYA VICENTE	17,83	95,81	95	1971-2009
COYAM	18,44	95,03	335	1971-2009	RIO GRANDE,UXPANAPA	17,28	94,37	150	1971-2009
CUATOTOLAPAN	18,14	95,30	14	1971-2009	SAN ANDRES TUXTLA	18,45	95,21	323	1971-2009

Tabela 3 – Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas do Estado de Veracruz, México (conclusão)

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
CUITLAHUAC	17,73	94,10	5	1971-2009	S.JUAN EVANGELISTA	17,88	95,15	29	1971-2009
EL OLIVO	21,83	98,50	23	1971-2009	SAN JUANILLO	18,05	95,15	75	1971-2009
GARRO CA S. NICOLAS	18,27	95,56	20	1971-2009	SANTIAGO TUXTLA	18,47	95,30	210	1971-2009
INDEPENDENCIA	17,80	95,42	140	1971-2009	SIHUAPAN	18,44	95,18	300	1971-2009
JALTIPAN DE MORELOS	17,96	94,72	46	1971-2009	SONTECOMAPAN	18,50	95,03	48	1971-2009
JUAN RODRIGUEZ CLARA	17,99	95,40	148	1971-2009	TANCOCHAPA	17,87	94,09	29	1971-2009
LA FLORENCIA	17,58	95,18	50	1971-2009	TAPALAPA	18,53	95,30	290	1971-2009
LA LAGUNA	17,27	94,51	100	1971-2009	TECUANAPA	17,79	94,20	9	1971-2009
LA MICHOACANA	22,36	98,27	25	1971-2009	TEMPOAL DE SANCHEZ	21,52	98,41	72	1971-2009
LAUCHAPAN	18,25	95,36	13	1971-2009	TRES ZAPOTES	18,47	95,44	140	1971-2009
LOS MANGOS	18,28	95,30	275	1971-2009	VILLA AZUETA	18,08	95,70	14	1971-2009

Fonte: SMN, México

Tabela 4 - Coordenadas geográficas e altitude das estações meteorológicas da Guatemala

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série	Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Série
ACULTZINGO	14,72	91,63	1439	1939-1969	FRANCISCO-MI	14,65	91,77	760	1934-1969
AEROPUERTO	14,90	90,52	1489	1931-1985	LABOR OVALLE	14,87	91,51	2380	1953-1985
ALABAMA-GRANDE	14,82	91,92	884	1934-1970	LA-FRAGUA	14,93	89,53	19	1971-1985
AYUTLA (TECUN-U)	14,65	92,12	20	1934-1969	LA-MOKA	14,75	91,75	1079	1936-1996
CADELARIA-XOLHU	14,65	91,68	762	1935-1951	LAS DELICIAS	14,62	91,62	640	1954-1963
CAMANTULUL	14,33	91,05	280	1990-2006	LIRIA	14,62	91,70	620	1935-1971
CATARINA	14,86	92,08	233	1990-2008	MONTEGRANDE	14,67	91,90	340	1935-1971
CHAMPERICO	14,30	91,90	4	1935-1961	PORTO SAN JOSE	13,94	90,83	6	1990-2006
COATEPEQUE	14,68	91,85	489	1934-1971	RETALHULEU	14,52	91,70	205	1990-2008
DOLORES	14,63	91,70	639	1934-1971	ROSARIO-BOLA-DE	14,67	91,70	910	1951-1971
EL-POTRERO	14,50	90,75	1518	1941-1971	SABANA GRANDE	14,37	90,83	730	1990-2008
EL-TAMBOR	14,63	91,60	640	1948-1971	SAN MARCOS	14,95	91,81	2420	1990-2008
EL-ZAPOTE	14,67	90,48	1480	1941-1971	SANTA-MARIA	14,18	90,82	125	1934-1980
FLORENCIA	14,55	90,67	1979	1933-1971	SANTA-SOFIA	14,38	90,95	780	1932-1963
FRANCISCO	14,48	91,18	810	1934-1969	VILLA-CANALES	14,47	90,52	1220	1945-1971

Fonte: INSIVUMEH e FAOclim2, Guatemala

Os dados das estações climatológicas foram tabulados para compor as variáveis de entrada na elaboração do BHC Normal utilizando-se a planilha elaborada por Rolim et al. (1998).

3.1.2 Definição dos critérios de aptidão do zoneamento agroclimático de *Jatropha curcas* L. de acordo com o Centro de Origem

Os resultados do BHC Normal juntamente com os dados de temperatura obtidos das estações climatológica do Centro de Origem foram utilizados no estabelecimento das classes de aptidão para a *jatropha*.

Os parâmetros agroclimáticos adotados para a definição dos critérios de aptidão foram a temperatura média, o déficit hídrico médio e o excedente hídrico médio anual.

A caracterização possibilitou identificar a porcentagem de localidades com maior ocorrência de determinado valor para cada parâmetro agroclimático. Deste modo, aquelas localidades que apresentaram maior porcentagem de um valor foram classificadas como aptas; as de porcentagem média, classificadas como marginais e as de menor porcentagem consideradas inaptas.

3.2 Região Selecionada

3.2.1 Característica física da região selecionada para o zoneamento agroclimático de *jatropha* no Brasil

A área escolhida para a realização do zoneamento agroclimático abrange a região nordeste e os estados de Minas Gerais, Goiás e Tocantins (Figura 6). A área de estudo está situada geograficamente entre os meridianos 34°47' e 48°45' de longitude oeste e entre os paralelos 01°02' de latitude norte e 18°20' de latitude sul.

A região nordeste é composta pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. Ocupa uma área de 1.561.177,8 km², o que corresponde a 18,26% da área total do País (IBGE, 2007). A maior parte de seu território é formada por extenso planalto, antigo e aplainado pela erosão. Em função das diferentes características físicas que apresenta a região Nordeste encontra-se dividida em quatro sub-regiões: meio-norte, zona da mata, agreste e sertão (UNESCO, 2006).

A região semi-árida do nordeste brasileiro, conhecida como sertão, estende-se por cerca de 900 mil km² e caracteriza-se por médias pluviométricas anuais oscilando entre 300 e 800 mm (CONTI, 2005). Em sua porção nuclear, em torno de 500 mil km², a

pluviometria anual é inferior a 600 mm (AB'SABER, 1977). A região semi árida é envolvida por áreas mais úmidas a oeste, ao sul e a leste, definindo uma faixa transicional muito variável. Os tipos climáticos de acordo com a classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2002) encontrados na região nordeste são Af, Am, Aw, Bsh e Cwa.

Figura 6 – Região selecionada para elaboração do zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L

O estado de Minas Gerais é o que apresenta a quarta maior extensão territorial do país, com 586.528 km². Este se localiza na região Sudeste e limita-se a sul e sudoeste com São Paulo, a oeste com o Mato Grosso do Sul e a noroeste com Goiás, incluindo uma pequena divisa com o Distrito Federal, a leste com o Espírito Santo, a sudeste com o Rio de Janeiro e a norte e nordeste com a Bahia (IBGE, 2008).

Os climas predominantes em Minas Gerais são o tropical e o tropical de altitude. As regiões mais altas e o sul do estado apresentam as temperaturas mais baixas, chegando a atingir 0°C. Nas regiões sul, sudeste, leste e central do estado são registrados os maiores índices pluviométricos. Em outro extremo, nas porções norte e nordeste, as chuvas escassas e as altas temperaturas tornam essas regiões muito susceptíveis à seca (INPE, 1998). O estado apresenta os tipos climáticos Aw, Cwa, Cwb e Cfb, segundo classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2002).

O estado do Tocantins é o estado mais novo do Brasil, está localizado a sudeste da região Norte e tem como limites Maranhão a nordeste, o Piauí a leste, a Bahia a sudeste, Goiás a sul, Mato Grosso a sudoeste e o Pará a noroeste. Ocupa uma área de 277.620 km² (IBGE, 2008).

O clima predominante no estado do Tocantins é tropical caracterizado por uma estação chuvosa (de outubro a abril) e outra seca (de maio a setembro). É condicionado fundamentalmente pela sua ampla extensão latitudinal e pelo relevo de altitude gradual e crescente de norte a sul, que variam desde as grandes planícies fluviais até as plataformas e cabeceiras elevadas entre 200 e 600 metros, especialmente pelo relevo mais acidentado, acima de 600 metros de altitude, ao sul (INPE, 1998).

O estado do Tocantins apresenta certa homogeneidade com dois tipos de classificação climática segundo Köppen (PEREIRA et al., 2002), Am e Aw. Por sua grande extensão de contorno vertical o estado apresenta ao norte relevo suavemente ondulado, coberto pela Floresta Fluvial Amazônica, com clima úmido, sem inverno seco. Com temperaturas médias anuais variando entre 24°C e 28°C, as máximas ocorrem em agosto/setembro com 38°C e a média mínima mensal em julho, com 22°C, sendo que a temperatura média anual é de 26°C. Em geral as precipitações pluviométricas são variáveis entre 1.500 a 2.100 mm, com chuvas de novembro a março. Ao sul o clima predominante é subúmido ou (estacionalmente) seco. As máximas coincidem com o rigor das secas em setembro/outubro com ar seco e enfumaçado das queimadas de pastos e cerrados.

Goiás situa-se a leste da região centro-oeste, no Planalto Central brasileiro. O seu território é de 340.086 km², sendo delimitado pelos estados de Tocantins (norte), Bahia (nordeste), Mato Grosso (oeste), Mato Grosso do Sul (sudoeste), Minas Gerais (leste e sul) e pelo Distrito Federal (IBGE, 2008).

O clima de Goiás é tropical semi úmido e apresenta dois tipos de classificação segundo Köppen (PEREIRA et al., 2002), Aw e Cwa. Basicamente, há duas estações bem definidas: a chuvosa, que vai de outubro a abril, e a seca, que vai de maio a setembro (INPE, 1998). A temperatura média anual é de 23°C, e tende a subir nas regiões oeste e norte, e a diminuir nas regiões sudoeste, sul e leste. As temperaturas mais altas são normalmente registradas entre setembro e outubro, e as máximas podem

chegar a até 39°C. As temperaturas mais baixas, por sua vez, são registradas entre maio e julho, podendo, em eventos extremos, chegar a até 4°C (INPE, 1998).

3.2.2 Obtenção dos dados climáticos da Região Selecionada para o zoneamento agroclimático de *Jatropha* no Brasil

A segunda etapa deste estudo consistiu na obtenção do banco de dados climáticos necessário para a elaboração do balanço hídrico climatológico e zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. na região brasileira selecionada. O banco é composto de dados de estações dos estados do nordeste, Minas Gerais, Goiás, Tocantins e, também, dados de estações de estados situados nos limites da região selecionada.

O banco de dados inicial consistiu de:

- Variáveis geográficas, denominadas independentes: latitude, longitude e altitude;
- Variáveis climáticas, denominadas dependentes: precipitação e temperatura.

Em se tratando de longas séries meteorológicas, dispõe-se apenas de dados pluviométricos, oriundos de postos razoavelmente distribuídos. O número de estações meteorológicas com séries longas é relativamente pequeno, impossibilitando estudos que envolvam a distribuição espacial da maior parte das variáveis climáticas (umidade, vento, radiação, evaporação, orvalho, entre outras). Por isso, adotou-se no estudo apenas as variáveis temperatura e chuva.

Os dados pluviométricos foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA), através do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb), enquanto que os dados da temperatura do ar foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os dados obtidos das estações consistiam de:

- a) Coordenadas geográficas;
 - Código e informações do município e bacia hidrográfica;
 - Séries pluviométricas dos anos de funcionamento das estações;
 - Séries de temperatura do ar.

3.2.3 Variáveis geográficas

Com o emprego das coordenadas geográficas, latitude e longitude, das estações do Hidroweb foi possível extrair automaticamente as altitudes a partir do modelo de elevação digital composto de dados numéricos de relevo e topografia da região, obtidos de imagens de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). As imagens foram obtidas do site da Embrapa Monitoramento por Satélite no formato GEOTIFF (16 bits), resolução de 90 metros e projeção geográfica e datum horizontal WGS 84.

Utilizou-se o SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGis 9.3 para o processamento das imagens. Primeiramente, realizou-se o mosaico das imagens na ferramenta *Data Management Tools – Raster – Mosaic*, obtendo uma única imagem *raster* da região com valores médios de altitude e suas respectivas coordenadas geográficas. Como os dados da imagem do mosaico estavam na projeção geográfica datum WGS 84 (World Geodetic System of 1984) foi necessário converter a mesma para o datum geodésico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas de 2000), sistema de referência atualmente adotado para a América do Sul.

Após o mosaico, extraiu-se a altitude através da ferramenta *Spatial Analyst Tools – Extractions – Extract Values To Point*. Para tal extração foram inseridas as coordenadas das estações pela ferramenta *Tools – Add XY data*. As variáveis latitude e longitude inseridas no ArcGis foram transformadas em *layer* e realizada a extração da altitude.

3.2.3.1 Precipitação

As séries pluviométricas de cada estação foram organizadas em planilha eletrônica, calculando-se a média mensal da série para compor os dados de entrada para o cálculo do BHC. Consideraram-se estações com dados acima de 15 anos devido às limitações de duração das séries pluviométricas em alguns estados da região selecionada.

Muitas séries pluviométricas continham falhas mensais em determinados anos, e, para assegurar maior confiabilidade aos resultados, os anos que apresentaram falhas foram suprimidos do cálculo da média mensal, mantendo-se apenas aqueles com dados completos.

3.2.3.2 Temperatura

Devido à baixa distribuição espacial de locais com registros de temperatura disponibilizados, se comparados a disponibilidade dos dados pluviométricos, adotou-se a estimativa das médias mensais de temperatura do ar (T_a) para as estações que dispunham apenas de dados de precipitação. As estimativas foram obtidas por meio de modelos mensais de regressão linear múltipla utilizando-se as médias mensais de temperatura das Normais Climatológicas 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 1992) e as variáveis geográficas das estações do Hidroweb.

Nos modelos de regressão linear múltipla considerou-se os valores da variável temperatura como variável dependente e as variáveis geográficas (latitude, longitude e altitude) como variáveis independentes de cada estação meteorológica.

Em virtude da extensão da região selecionada e da precisão dos dados, dividiu-se a estimativa da temperatura de acordo com a região, sendo desenvolvidos modelos lineares para os blocos:

- a) Bloco da região nordeste;
- b) Bloco dos estados de Tocantins e Goiás;
- c) Bloco do estado de Minas Gerais.

Para o bloco da região nordeste as normais referem-se a 75 estações com série de 30 anos (Tabela 5).

Tabela 5 – Estações meteorológicas da região nordeste disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991) (continua)

UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
AL	Maceió	-9,40	-35,42	65,10	1960-1991	CE	Quixeramobim	-5,12	-39,18	211,09	1960-1991
AL	Palmeira dos Índios	-9,27	-36,42	275,50	1960-1991	CE	Sobral	-3,42	-40,21	84,18	1960-1991
BA	Alagoinhas	-12,17	-38,35	132,05	1960-1991	CE	Tauá	-6,00	-40,25	399,59	1960-1991
BA	Barra	-11,05	-43,10	402,74	1960-1991	MA	Barra do Corda	-5,30	-45,16	154,47	1960-1991
BA	Barreiras	-12,09	-45,00	440,24	1960-1991	MA	Carolina	-7,20	-47,28	193,50	1960-1991
BA	Bom J. da Lapa	-13,16	-43,25	441,04	1960-1991	MA	Caxias	-4,52	-43,21	103,56	1960-1991
BA	Caetité	-14,03	-42,37	881,40	1960-1991	MA	Grajaú	-5,48	-46,27	163,96	1960-1991
BA	Camaçari	-12,40	-38,19	43,12	1960-1991	MA	Imperatriz	-5,32	-47,30	124,36	1960-1991
BA	Canavieiras	-15,40	-38,57	4,74	1960-1991	MA	São Luis	-2,32	-44,18	50,86	1960-1991

Tabela 5 – Estações meteorológicas da região nordeste disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991)

						(continuação)					
UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
BA	Caravelas	-17,44	-39,15	4,42	1960-1991	MA	Turiação	-1,43	-45,24	45,33	1960-1991
BA	Carinhanha	-14,10	-43,55	440,23	1960-1991	MA	Zé Doca	-3,43	-45,32	45,98	1960-1991
BA	Cipó	-11,05	-38,31	145,44	1960-1991	PB	Campina Grande	-7,13	-35,53	543,66	1960-1991
BA	Correntina	-13,28	-44,46	589,06	1960-1991	PB	João Pessoa	-7,06	-34,52	6,73	1960-1991
BA	Guaratinga	-16,44	-39,44	324,86	1960-1991	PB	Monteiro	-7,53	-37,04	604,66	1960-1991
BA	Ilhéus	-14,48	-39,04	59,89	1960-1991	PB	São Gonçalo	-6,45	-38,13	233,86	1960-1991
BA	Lrecê	-11,18	-41,52	149,02	1960-1991	PE	Arco Verde	-8,25	-37,05	682,00	1960-1991
BA	Itaberaba	-12,33	-40,26	251,31	1960-1991	PE	Cabrobó	-8,31	-39,20	342,49	1960-1991
BA	Itiruçu	-13,22	-39,57	756,91	1960-1991	PE	Fernando de Noronha	-3,51	-32,25	57,30	1960-1991
BA	Ituaçu	-13,49	-41,18	532,77	1960-1991	PE	Floresta	-8,36	-38,34	437,00	1960-1991
BA	Jacobina	-11,11	-40,28	480,74	1960-1991	PE	Garanhuns	-8,53	-36,31	822,96	1960-1991
BA	Lençóis	-12,34	-41,23	441,21	1960-1991	PE	Petrolina	-9,23	-40,29	371,70	1960-1991
BA	Monte Santo	-10,26	-39,18	465,61	1960-1991	PE	Recife	-8,03	-34,55	8,25	1960-1991
BA	Morro do Chapéu	-11,13	-41,13	1004,68	1960-1991	PE	Surubim	-7,50	-35,43	418,80	1960-1991
BA	Paulo Afonso	-9,24	-38,13	253,91	1960-1991	PE	Triunfo	-7,51	-38,08	1021,94	1960-1991
BA	Remanso	-9,38	-42,06	401,77	1960-1991	PI	Bom J. do Piauí	-9,06	-44,07	333,89	1960-1991
BA	Salvador	-13,01	-38,31	52,21	1960-1991	PI	Floriano	-6,46	-43,01	123,37	1960-1991
BA	Sta. Rita de Cássia	-11,01	-44,31	551,22	1960-1991	PI	Parnaíba	-2,55	-41,36	23,45	1960-1991
BA	Senhor do Bonfim	-10,28	-40,11	557,60	1960-1991	PI	Paulistana	-8,08	-41,08	375,15	1960-1991
BA	Serrinha	-11,38	-38,58	361,54	1960-1991	PI	Picos	-7,04	-41,29	208,92	1960-1991
BA	Vitória da Conquista	-15,57	-40,53	839,72	1960-1991	PI	Teresina	-5,05	-42,49	75,10	1960-1991
CE	Barbalha	-7,19	-39,18	408,07	1960-1991	RN	Apodí	-5,39	-37,48	67,06	1960-1991
CE	Campos Sales	-7,00	-40,23	584,92	1960-1991	RN	Ceará Mirim	-5,39	-35,25	62,58	1960-1991
CE	Crateús	-5,10	-40,40	299,57	1960-1991	RN	Cruzeta	-6,26	-36,35	227,04	1960-1991
CE	Foraleza	-3,46	-38,36	26,95	1960-1991	RN	Florânia	-6,07	-36,49	325,27	1960-1991
CE	Guaramiranga	-4,17	-39,00	872,86	1960-1991	RN	Macau	-5,07	-36,36	6,80	1960-1991
CE	Iguatu	-6,22	-39,18	216,00	1960-1991	RN	Mossoró	-5,11	-37,20	18,80	1960-1991
CE	Jaguaruana	-4,47	-37,36	12,59	1960-1991	SE	Aracaju	-10,55	-37,03	4,83	1960-1991
CE	Morada Nova	-6,05	-39,23	44,44	1960-1991	PA	Tracuateua	-1,05	-47,10	36,80	1960-1991
PA	Altamira	-3,12	-51,12	74,64	1960-1991	PA	Marabá	-5,21	-49,09	95,80	1960-1991
PA	Belém	-1,27	-48,28	10,90	1960-1991	PA	Monte Alegre	-2,00	-54,05	146,17	1960-1991
PA	Belterra	-2,38	-54,57	176,54	1960-1991	PA	Óbidos	-1,55	-55,31	37,80	1960-1991
PA	Breves	-1,40	-50,29	15,81	1960-1991	PA	Porto de Moz	-1,44	-52,14	16,73	1960-1991

Tabela 5 – Estações meteorológicas da região nordeste disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991) (conclusão)

UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
PA	Conceição Araguaia	-8,15	-49,17	157,22	1960- 1991	PA	São Félix Xingu	-6,38	-51,59	150,80	1960- 1991
PA	Itaituba	-4,16	-55,35	45,80	1960- 1991	PA	Tirirós	-2,29	-55,59	325,80	1960- 1991

Para o bloco dos estados de Tocantins e Goiás adotou-se os dados de 14 estações disponíveis (Tabela 6).

Tabela 6 – Estações meteorológicas dos estados de Tocantins e Goiás disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991)

UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
GO	Aragarças	-15,54	-52,14	345,80	1960- 1991	GO	Pirenópolis	-15,51	-48,58	740,80	1960- 1991
GO	Catalão	-18,11	-47,57	842,07	1960- 1991	GO	Posse	-14,06	-46,22	826,03	1960- 1991
GO	Formosa	-15,32	-47,2	912,80	1960- 1991	GO	Rio Verde	-17,48	-50,55	746,53	1960- 1991
GO	Ipameri	-17,43	-48,1	772,39	1960- 1991	DF	Brasília	-15,78	-47,93	1159,0	1960- 1991
GO	Goiânia	-16,4	-49,15	743,13	1960- 1991	TO	Peixe	-12,03	-48,32	243,95	1960- 1991
GO	Goiás	-15,55	-50,08	512,85	1960- 1991	TO	Porto Nacional	-10,43	-48,25	240,01	1960- 1991
GO	Paraná	-12,33	-47,5	275,80	1960- 1991	TO	Taguatinga	-12,24	-46,26	604,30	1960- 1991
MS	Campo Grande	-20,27	-54,37	530,80	1960- 1991	MS	Ponta Porã	-22,32	-55,32	650,90	1960- 1991
MS	Corumbá	-19,05	-57,30	130,80	1960- 1991	MS	Tres Lagoas	-20,47	-51,42	313,90	1960- 1991
MS	Coxim	-18,30	-54,46	287,80	1960- 1991	MT	Cáceres	-16,03	-57,41	118,80	1960- 1991
MS	Dourados	-22,14	-54,59	452,80	1960- 1991	MT	Cidade Vera	-12,12	-56,30	415,80	1960- 1991
MS	Ivinhema	-22,19	-53,56	370,00	1960- 1991	MT	Cuiabá	-15,33	-56,07	152,14	1960- 1991
MS	Paranaíba	-19,42	-51,11	332,05	1960- 1991	MT	Diamantino	-14,24	-56,27	287,20	1960- 1991

Para o bloco do estado de Minas Gerais as normais referem-se aos dados de 32 estações meteorológicas (Tabela 7).

Tabela 7 – Estações meteorológicas do estado de Minas Gerais disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991) (continua)

UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
MG	Aimorés	-19,29	-41,04	83,74	1960- 1991	MG	Itamarandiba	-17,51	-42,51	1097,8	1960- 1991
MG	Araçuaí	-16,52	-42,04	285,38	1960- 1991	MG	João Pinheiro	-17,42	-46,1	761,36	1960- 1991
MG	Araxá	-19,34	-46,56	1004,67	1960- 1991	MG	Juiz de Fora	-21,46	-43,21	941,17	1960- 1991
MG	Bambuí	-20	-45,59	662,27	1960- 1991	MG	Lavras	-21,14	-45	920,00	1960- 1991
MG	Barbacena	-21,15	-43,46	1127,00	1960- 1991	MG	Machado	-21,4	-45,55	874,35	1960- 1991

Tabela 7 – Estações meteorológicas do estado de Minas Gerais disponíveis nas Normais Climatológicas 1961-1990, INMET (1991) (conclusão)

UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série	UF	Estações	LAT(S)	LONG (W)	Alt(m)	Série
MG	Belo Horizonte	-19,56	-43,56	852,28	1960-1991	MG	Monte Azul	-15,05	-42,45	604,73	1960-1991
MG	Caparaó	-20,31	-41,52	844,18	1960-1991	MG	Montes Claros	-16,43	-43,52	647,18	1960-1991
MG	Capinópolis	-18,41	-49,34	621,54	1960-1991	MG	Paracatu	-17,13	-46,52	712,30	1960-1991
MG	Caratinga	-19,48	-42,09	611,21	1960-1991	MG	Patos de Minas	-18,36	-46,31	944,16	1960-1991
MG	Cataguases	-21,23	-42,41	168,60	1960-1991	MG	Pedra Azul	-16	-41,17	649,91	1960-1991
MG	Cel. Pacheco	-21,35	-43,15	435,80	1960-1991	MG	Pompeu	-19,13	-45	691,71	1960-1991
MG	C. Mato Dentro	-19,02	-43,26	652,80	1960-1991	MG	São Lourenço	-22,06	-45,01	901,32	1960-1991
MG	Dimantina	-18,15	-43,36	1296,92	1960-1991	MG	Sete Lagoas	-19,28	-44,15	735,95	1960-1991
MG	Espinosa	-14,55	-42,51	571,22	1960-1991	MG	Teófilo Otoni	-17,51	-41,31	357,38	1960-1991
MG	Gov. Valadares	-18,51	-41,56	278,45	1960-1991	MG	Uberaba	-19,45	-47,55	743,90	1960-1991
MG	Lbirité	-20,01	-44,03	802,00	1960-1991	MG	Viçosa	-20,45	-42,51	692,73	1960-1991
SP	Campos do Jordão	-22,44	-45,35	1579,61	1960-1991	SP	Nova Odessa	-22,07	-48	528,00	1960-1991
SP	Campinas	-22,54	-47,05	674,00	1960-1991	SP	Pariquera-Açu	-24,43	-47,53	25,00	1960-1991
SP	Catanduba	-21,08	-48,58	536,85	1960-1991	SP	Pindamonhangaba	-22,55	-45	560,00	1960-1991
SP	Franca	-20,33	-47,26	1027,00	1960-1991	SP	Pindorama	-21,13	-48,56	562,00	1960-1991
SP	Gália	-22,18	-49,33	522,00	1960-1991	SP	Piracicaba	-22,42	-47,38	546,00	1960-1991
SP	Itapeva	-23,57	-46,53	856,80	1960-1991	SP	São Carlos	-22,01	-47,53	649,83	1960-1991
SP	Itararé	-24,15	-49,15	1150,00	1960-1991	SP	Santos	-23,58	-45,2	13,81	1960-1991
SP	Jaú	-22,17	-48,34	580,00	1960-1991	SP	São Paulo	-23,3	-46,37	798,29	1960-1991
SP	Limeira	-22,32	-42,27	639,00	1960-1991	SP	São Simão	-21,29	-47,33	618,20	1960-1991
SP	Manduri	-23,1	-49,2	589,00	1960-1991	SP	Tatui	-23,2	-47,52	600,00	1960-1991
SP	Mococa	-21,28	-47,01	665,00	1960-1991	SP	Tietê	-23,07	-47,43	538,00	1960-1991
SP	Monte Alegre do Sul	-22,41	-46,43	777,00	1960-1991	SP	Ubatuba	-24,26	-45,06	9,00	1960-1991
ES	C. Itapemirim	-20,51	-41,06	78,59	1960-1991	RJ	Ecol. Agrícola	-22,48	-43,41	34,00	1960-1991
ES	Linhares	-19,24	-40,04	29,20	1960-1991	RJ	Ilha Guaíba	-23	-44,02	65,20	1960-1991
ES	São Mateus	-18,42	-39,51	25,84	1960-1991	RJ	Itaperuna	-21,12	-41,53	119,82	1960-1991
ES	Vitória	-20,19	-40,2	37,10	1960-1991	RJ	Nova Friburgo	-22,17	-42,32	845,60	1960-1991
RJ	Angra dos Reis	-23,01	-44,19	2,80	1960-1991	RJ	Pirai	-22,38	-43,54	568,00	1960-1991
RJ	Cabo Frio	-22,02	-42,22	487,10	1960-1991	RJ	Rio de Janeiro	-22,55	-43,1	3,10	1960-1991
RJ	Vassouras	-22,2	-43,4	438,06	1960-1991						

A análise de regressão permitiu obter modelos lineares do tipo:

$$y = a + b1(LAT) + b2(LONG) + b3(ALT) + \varepsilon \quad (1)$$

em que: y é o valor estimado da temperatura média anual; a é o coeficiente linear, bn é coeficiente angular; LAT é a latitude, em graus e décimos (entrada com valores negativos); LONG é a longitude em graus e décimos (entrada com valores negativos) e ε é erro residual da estimativa.

As temperaturas médias mensais estimadas para cada estação meteorológica compuseram as variáveis de entrada na planilha de cálculo do BHC Normal.

3.3 Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHC)

O Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHC) foi estimado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955). O BHC foi calculado com o uso de planilha conforme metodologia apresentada por Rolim et al. (1998). Essa planilha permitiu de forma simples e rápida o cálculo do BHC Normal para todas as estações do centro de origem e da região selecionada por ser uma planilha automatizada, com inserção apenas das variáveis utilizadas no método.

Desde modo as variáveis de entrada para cada estação do centro de origem foram:

- Precipitação média mensal (P) obtida das estações;
- Temperatura média mensal do ar (Ta) obtida das estações;
- Latitude da estação;
- CAD.

Para a região selecionada para o zoneamento as variáveis de entrada foram:

- Precipitação média mensal (P) obtida do Hidroweb;
- Temperatura média mensal do ar (Ta) estimada pelo modelo linear;
- Latitude da estação;
- CAD.

O valor adotado da CAD foi de 100 mm, que corresponde aos valores sugeridos pela literatura para culturas perenes e citado por Gonçalves e Sentelhas (2008) no

zoneamento preliminar da jatropha no estado da Bahia. Este valor foi igualmente adotado para todas as localidades, tanto para o centro de origem quanto para a região selecionada.

A planilha customizada por Rolim et al. (1998) contém colunas com os cálculos de:

- Fotoperíodo (N);
- Índice de calor da região (Iea);
- Evapotranspiração Potencial (ETP);
- Cálculo da diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial (P – ETP);
- Negativo acumulado (NEG.ACUM);
- Armazenamento (ARM);
- Alteração no armazenamento (ALT);
- Evapotranspiração real (ETR);
- Deficiência hídrica (DEF);
- Excedente hídrico (EXC).

A planilha fornece os resultados em termos médios mensais e totais anuais de ETP, ALT, ETR, DEF e EXC e os gráficos de extrato de balanço hídrico, balanço hídrico normal e relações da CAD com o ARM e do DEF, EXC, retirada (ALT<0) e reposição hídrica (ALT>0).

Os cálculos contidos na planilha são descritos a seguir de acordo com Pereira et al. (2002):

- a) Evapotranspiração potencial (ETP, mm/mês): é estimada para cada mês pela seguinte equação (THORNTHWAITE, 1948).

$$ETP = ETp * \frac{N}{12} * \frac{ND}{30} \quad (2)$$

em que: ETp é a evapotranspiração potencial padrão para um mês de fotoperíodo (N) igual a 12h e com número de dias (ND) igual a 30.

A ETP é estimada por duas diferentes equações, dependendo da temperatura média do ar:

$$\text{Se } 0 \leq T_n < 26,5^{\circ}\text{C} \quad ETP = 16 \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a \quad (3)$$

em que: T_m a temperatura média do mês n , em $^{\circ}\text{C}$; I o índice que expressa o nível de calor na região, este índice depende da mudança anual da temperatura; a índice térmico regional em função de I . I e a são calculados pelas equações:

$$I = \sum_{n=1}^{12} ([0,2T_m])^{1,514} \quad (4)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \times I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (5)$$

$$\text{Se } T_n \geq 26,5^{\circ}\text{C} \quad ETP = -415,85 + 32,24T_n - 0,43 T_n^2 \quad (6)$$

Como o cálculo de ETP considera a ocorrência de evapotranspiração para um mês de 30 dias e fotoperíodo diário de 12 horas, a correção deve ser adotada para se obter a ETP do mês correspondente de acordo com o número de dias e fotoperíodo do mês em questão.

b) Balanço Hídrico

O cálculo da diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial ($P - ETP$) indica se a chuva foi ou não suficiente para atender a demanda hídrica. Valores positivos indicam que houve chuva em excesso na região e valores negativos indicam que houve perda potencial de água. A somatória de valores negativos de ($P - ETP$) é denominada negativo acumulado (NEG. ACUM) e os valores positivos representam a água adicionada ao armazenamento (ARM) de água no solo. Enquanto ($P-ETP$) apresentar valores negativos, o valor do mês anterior será somado ao próximo mês negativo. Este valor será utilizado para o cálculo de ARM, por meio da equação:

$$ARM = CAD \text{ e } \frac{(NEG \text{ ACUM})}{CAD} \quad (7)$$

Caso, após um período de (P-ETP) negativo, haja um valor positivo de (P-ETP), soma-se esse valor ao ARM do período anterior e então se calcula o negativo remanescente com a seguinte equação:

$$NEG.ACUM = CAD \ln \left(\frac{ARM}{CAD} \right) \quad (8)$$

A alteração (ALT) que ocorre no armazenamento é calculada pela diferença entre o ARM do mês em questão e o ARM do mês anterior.

A deficiência hídrica é obtida a partir da diferença entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real:

$$DEF = ETP - ETR \quad (9)$$

A evapotranspiração real (ETR) é igual a ETP quando (P-ETP) ≥ 0. Caso (P-ETP) < 0, a ETR é obtida por:

$$ETR = P + |ALT| \quad (10)$$

O excedente hídrico (EXC) é a quantidade de água que sobra no sistema e se perde por escoamento superficial ou percolação no período chuvoso. O EXC só ocorre quando ARM = D e é calculado por:

$$EXC = (P - ETP) - ALT \quad (11)$$

Após a determinação do BHC Normal para cada localidade organizou-se em uma planilha as informações correspondentes à temperatura média, precipitação, deficiência e excedente hídrico para, no caso das estações do centro de origem, definir as classes de aptidão de acordo com essas variáveis, e, para a região selecionada, realizar novas equações de regressão e cálculos de desvio para dar início à espacialização das informações e, por conseguinte, o zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. na região em questão.

3.4 Espacialização das informações agroclimáticas da região selecionada

Os resultados obtidos do BHC Normal foram transferidos para uma nova planilha para elaboração de equações de regressão linear múltiplas para os parâmetros climáticos P, ETP, ETR, DEF e EXC. Os modelos obtidos por meio da equação de regressão foram utilizados para elaborar os mapas de cada parâmetro.

Nos modelos de regressão linear múltipla para T, P e ETP consideraram-se como variáveis independentes a latitude, a longitude e a altitude de cada estação meteorológica como exemplificado na eq. (1). Contudo, para os modelos de regressão de ETR, DEF e EXC, considerou-se também a precipitação anual (Prec, mm) como a variável independente (Eq. 12).

$$y = a + b1(LAT) + b2(LONG) + b3(ALT) + b4(P) \quad (12)$$

A fim de reduzir os erros presentes nos mapas gerados pelas equações, calculou-se os desvios dos parâmetros para cada estação. Os desvios foram obtidos por meio da diferença entre o parâmetro observado (obtido do BHC Normal) e o parâmetro estimado (regressão linear múltipla) como demonstrado nas equações abaixo:

$$Desvio T = T_{obs} - T_{est} \quad (13)$$

$$Desvio P = P_{obs} - P_{est} \quad (14)$$

$$Desvio ETP = ETP_{obs} - ETP_{est} \quad (15)$$

$$Desvio ETR = ETR_{obs} - ETR_{est} \quad (16)$$

$$Desvio DEF = DEF_{obs} - DEF_{est} \quad (17)$$

$$Desvio EXC = EXC_{obs} - EXC_{est} \quad (18)$$

Para a estimativa das variáveis P, ETP, ETR, DEF e EXC e cálculo dos desvios adotou-se a mesma divisão da região em blocos realizada para a temperatura do ar.

3.5 Espacialização das variáveis climáticas e elaboração dos mapas

Os mapas de latitude e longitude, juntamente com o de altitude (obtido da imagem SRTM), compõem a base para elaboração dos mapas das variáveis climáticas por meio da álgebra de mapas.

Por meio da ferramenta *Spatial Analyst – Options* e *Spatial Analyst – Raster Calculator* transformou-se as equações de LAT e LONG em mapas. O software reconhece a eq. (25) para latitude e a eq. (26) para longitude.

$$\text{Latitude} = \text{SSYMAP} \quad (19)$$

$$\text{Longitude} = \text{SSXMAP} \quad (20)$$

A planilha das estações contendo coordenadas geográficas, as variáveis climáticas e os desvios foram espacializadas no ArcGis 9.3 por meio da ferramenta *Tools – Add XY data*. Posteriormente transformou-se a planilha em arquivo *shapefile* por meio do *Data – Export data* para elaboração dos mapas.

Para cada variável realizou-se a álgebra de mapas. A álgebra de mapas foi realizada por meio da ferramenta *Spatial Analyst – Raster Calculator* empregando-se os mapas de latitude, longitude, altitude e os dados de cada estação para as respectivas variáveis.

Os desvios foram interpolados pela ferramenta *Geostatistical Analyst – Geostatistical Wizard – Krigagem*. A escolha do melhor modelo interpolador do método de krigagem foi baseada no desempenho para cada uma das variáveis climáticas. A interpolação dos dados gerou mapas que foram empregados na ferramenta *Spatial Analyst – Raster Calculator* em conjunto com os mapas elaborados pelas equações de regressão para gerar novos mapas das variáveis climáticas, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Etapas para elaboração do mapa final para cada variável climática, empregando-se os modelos de regressão linear múltipla e interpolação dos desvios

Uma vez estabelecidos os mapas de classes para cada variável para a região selecionada, foram gerados os mapas de zonas de acordo com as suas faixas de aptidão, estabelecidas de acordo com o centro de origem, por intermédio da reclassificação através da ferramenta *Spatial Analyst – Reclass*.

O mapa de zoneamento agroclimático foi elaborado a partir de sobreposição dos mapas das variáveis climáticas selecionadas já reclassificadas, obtendo-se as zonas de aptidão da *Jatropha curcas* L. para a região selecionada de acordo com as classificações das exigências climáticas estabelecidas de acordo com os critérios obtidos junto ao centro de origem (Figura 8).

Figura 8 – Etapas para elaboração dos mapas de zoneamento agroclimático para a *Jatropha curcas* L. Sendo EXC = excedente hídrico; DEF = deficiência hídrica e Ta = temperatura média anual do ar

3.6 Risco Climático – Estudo de caso

O zoneamento agroclimático, sob análise macroclimática, determina a potencialidade de áreas para plantio de *Jatropha curcas* L. em função de parâmetros gerais do clima. A necessidade de verificar as condições de deficiência e excedente hídrico ao longo de uma série de anos motivou a análise do risco climático para a *Jatropha curcas* L. Deste modo, realizou-se um estudo de caso para seis localidades do estado do Tocantins, sendo três classificadas pelo zoneamento agroclimático como aptas e três como marginais. O critério de escolha dos municípios baseou-se na disponibilidade de série de dados superior a 20 anos.

Uma vez realizado o zoneamento agroclimático estabeleceu-se a análise de risco climático para o cultivo da jatropha para os municípios selecionados dentro das classes de aptidão apta e marginal, a fim de se verificar as condições de aptidão para o cultivo da jatropha em menor escala.

A análise de risco dividiu-se nas seguintes etapas:

- Cálculo do Balanço Hídrico Sequencial (BHSequencial);
- Ajuste dos critérios do zoneamento agroclimático;

- Seleção de localidades de cada classe (apta e marginal);
- Cálculo do Índice de Risco Climático (IR_{Clima}).

3.6.1 Balanço Hídrico Sequencial (BHSequencial)

Os dados dos municípios selecionados foram inseridos na planilha de balanço hídrico seqüencial customizada por Rolim et al. (1998). Os valores normais de DEF e EXC foram comparados aos valores médios, de séries superiores a 20 anos, para estabelecer os limiares para o cultivo de jatropha para o zoneamento em termos de balanço hídrico seqüencial. Esse procedimento permite que os critérios adotados no zoneamento agroclimático sejam empregados na definição do nível de aptidão a cada ano definindo-se assim a frequência de anos aptos, marginais e inaptos para cada localidade selecionada.

3.6.2 Estabelecimento dos critérios de aptidão para a análise de risco

Como apresentado anteriormente, os critérios do zoneamento agroclimático proposto no presente trabalho basearam-se em dados normais. Para o estudo de caso, fez-se necessário a adaptação dos dados específicos de cada ano para avaliar dentro da série histórica o número de anos aptos, marginais e inaptos ao cultivo da jatropha. A adaptação estabeleceu-se por meio de regressão linear dos dados referentes às variáveis climáticas, onde foi possível identificar os valores de deficiência hídrica média (DEFm) e excedente hídrico médio (EXCm) obtidos do balanço hídrico seqüencial e sua correspondência ao deficiência hídrica (DEFn) e excedente hídrico (EXCn) normais, obtidos do balanço hídrico normal. Os valores obtidos de DEFm e EXCm foram empregados na análise de risco das localidades selecionadas.

A partir dos valores limites de temperatura média anual (T_a), DEFm e EXCm estabeleceu-se a condição de adaptabilidade de cada ano da série histórica para a jatropha para cada município selecionado.

3.6.3 Seleção das localidades e Cálculo do Índice de Risco Climático (IR_{Clima})

A análise de risco deve ser considerada como um complemento às informações apresentadas no zoneamento agroclimático, uma vez que possibilita a caracterização do

efeito da variabilidade climática no cultivo da jatropha e, conseqüentemente, na produtividade. O cálculo do IR_{Clima} permite escolher com maior grau de segurança as regiões com maior potencialidade para a cultura uma vez que tende a minimizar os riscos.

Para isso, foram selecionados três municípios de cada classe e avaliadas a % de anos Aptos (%AA), Marginais (%AM) e Inaptos (%AI) em função dos critérios do zoneamento agroclimático ajustados para o balanço hídrico seqüencial.

Após a determinação da %AA, %AM e %AI calculou-se o Índice de Risco Climático (IR_{Clima}). O IR_{Clima} foi calculado indicando-se pesos para as porcentagens de cada condição. A porcentagem de anos aptos (%AA) recebeu o peso 5, anos marginais (%AM) 2 e zero para anos inaptos (%AI), conforme equação abaixo:

$$IR_{Clima} = \frac{(\%AA * 5 + \%AM * 2 + \%AI * 0)}{100} \quad (21)$$

Os riscos climáticos receberam classificação de acordo com os intervalos apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação dos níveis de risco climático para o cultivo da *J.curcas* L. em função do índice de risco climático (IR_{Clima})

Intervalo de IR_{Clima}	Classificação do Risco Nomenclatura	Caracterização da área de acordo com o índice
0 a 1,5	Muito Alto	Ambientes onde a produtividade da jatropa será muito baixa na maioria dos anos, com predomínio de anos inaptos para a cultura
1,6 a 2,0	Alto	
2,1 a 3,0	Moderado	Ambientes que predominam anos em que as condições de aptidão são marginais
3,1 a 4,0	Baixo	Melhores condições para o plantio de jatropa
4,1 a 5,0	Muito Baixo	

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização agroclimática do Centro de Origem de *Jatropha curcas* L.

Os dados meteorológicos e os resultados obtidos do balanço hídrico climatológico normal das estações meteorológicas do Centro de Origem permitiram definir os valores dos parâmetros agroclimáticos, temperatura, déficit e excedente hídrico, para cada uma das classes de aptidão para a *jatropha*, definidas como apta, marginal e inapta.

A Figura 9 ilustra o extrato do balanço hídrico climatológico normal para algumas localidades do Centro de Origem, apresentando os períodos com deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC). Os extratos dos balanços hídricos mostram que os meses de julho a setembro são os que apresentam excedentes hídricos mais significativos, chegando a atingir valores máximos de 200 a 250 mm por mês na maioria das localidades apresentadas.

Com base nos dados de temperatura, chuva e dos atributos do balanço hídrico climatológico normal de 123 localidades do México e Guatemala, identificou-se os intervalos dessas variáveis mais freqüentes.

No caso da temperatura, constatou-se que 85,37% das localidades apresentam temperatura média anual entre 23 e 27°C, 8,13% entre 15 e 23°C, 1,63% entre 27 e 28°C, 2,44% abaixo de 15°C e 2,44% acima de 28°C (Figura 10a).

Para a precipitação total média anual, essas se concentraram entre 1000 a 1700 mm em 50,42% das localidades. Precipitações abaixo de 1000 mm ocorrem em apenas 10,92% das localidades, enquanto que os 38,66% das localidades restantes apresentaram chuva anuais com mais de 1700 mm. Esses padrões de distribuição de chuva afetaram os atributos do balanço hídrico como mostram as Figuras 2b e 2c. Nessas figuras observa-se que aproximadamente 81,97% das localidades caracterizam-se por apresentar DEF de até 360 mm por ano, 16,39% com DEF entre 360 e 720 mm e 1,64% com mais de 720 mm (Figura 10b). Para o EXC, a maioria das localidades (73,17%) apresentam valores anuais de até 1200 mm, enquanto que 15,45% das localidades apresentaram valores entre 1200 e 2400 mm e 11,38% acima de 2400 mm anuais (Figura 10c).

Figura 9 – Extrato do balanço hídrico climatológico normal para algumas localidades do Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. no México e na Guatemala, considerando-se uma CAD = 100mm. DEF = deficiência hídrica e EXC = excedente hídrico.

Figura 10 – Distribuição da porcentagem de locais e a respectiva frequência relativa nas diferentes classes de temperatura média anual (a), deficiência hídrica (b) e excedente hídrico (c), nas regiões pertencentes ao Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. no México e Guatemala

A partir dessas informações apresentadas na Figura 10 foi possível se estabelecer as classificações de aptidão para a *Jatropha* de acordo com a porcentagem de localidades inseridas em determinados intervalos dos atributos climáticos. Deste modo, consideraram-se como condições aptas para os atributos do clima os intervalos das variáveis que apresentaram a maior frequência de localidades nessa classe. As condições marginais foram aquelas em que houve um valor intermediário de frequência de localidades, enquanto que as condições inaptas foram aquelas em que a frequência de locais inseridos nelas era mínimo.

Em função do que foi apresentado acima se definiu as classes de aptidão para a *Jatropha* em função das condições climáticas observadas na região do Centro de Origem da cultura (Tabela 9).

Tabela 9 – Classificações da aptidão climática da *Jatropha curcas* L. em função dos atributos do clima: temperatura média anual (Tmed), déficit hídrico anual (DEF) e excedente hídrico anual (EXC)

	Classificação	Tmed (°C)	% localidades
	Apta	23,0 a 27,0	85,37
Marginal	Deficiência térmica	15,0 a 22,9	8,13
Marginal	Temperaturas elevadas	27,1 a 28,0	1,63
Inapta	Risco de Geadas	< 15,0	2,44
Inapta	Temperaturas excessivas	> 28,0	2,44
	Classificação	DEF (mm)	%
	Apta	≤ 360	81,97
	Marginal	361 a 720	16,39
	Inapta	> 720	1,64
	Classificação	EXC (mm)	%
	Apta	≤ 1200	73,17
	Marginal	1201 a 2400	15,45
	Inapta	> 2400	11,38

Com relação às classes de temperatura média anual para a *Jatropha* (Tabela 9), os valores considerados como aptos estão entre 23,0 e 27,0°C, o que de certa forma coincide com aqueles apresentados por Heller (1992). Este autor verificou que na média das regiões de *Jatropha* analisadas as temperaturas médias anuais situavam-se entre 24,6 e 28,0°C. Enquanto que Saturnino et al. (2005) observaram que a temperatura

média em algumas regiões de cultivo da *Jatropha* é da ordem de 25,2°C. Gonçalves e Sentelhas (2008) consideraram como aptas as áreas com temperaturas entre 18,0 e 28,5°C, o mesmo sendo feito por Toledo et al. (2009).

Locais com temperaturas médias anuais entre 15,0 e 22,9°C e entre 27,1 e 28,0°C foram consideradas marginais, respectivamente por deficiência térmica e temperaturas elevadas. Finalmente, locais com temperaturas médias anuais com menos de 15,0°C foram considerados inaptos, devido ao alto risco de geadas, ao passo que locais com temperaturas médias anuais acima de 28,0°C foram considerado inaptos por temperaturas excessivas.

Com relação aos atributos do balanço hídrico normal (DEF e EXC) as classes de aptidão foram divididas em três (Tabela 10). Para a DEF, as classes foram classificadas em apta, com $DEF \leq 360$ mm, marginal, com DEF entre 361 e 720 mm, e inapta, $DEF > 720$ mm anuais. Para o EXC, as três classes foram: apta, com $EXC \leq 1200$ mm; marginal, com EXC entre 1201 e 2400 mm; e inapta, com $EXC > 2400$ mm. Esses resultados permitiram definir que uma região apta é aquela que apresente as seguintes características climáticas: temperatura média anual entre 23,0 a 27,0°C, DEF anual de até 360 mm e EXC anual menor do que 1200 mm.

4.2 Estimativa de temperatura da região selecionada para zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L. no Brasil

Em função da restrita disponibilidade de séries históricas de temperatura média do ar e, conseqüentemente, de valores mensais normais para todos os municípios a serem estudados, fez-se necessário o desenvolvimento de modelos lineares para a estimativa dessa variável. Esses modelos foram estabelecidos para a região, dividindo-a em três blocos: região Nordeste (NE); Minas Gerais (MG); e Goiás e Tocantins (GO&TO). Os modelos lineares estabelecidos para estimar a temperatura média mensal para o bloco NE são apresentados na Tabela 10.

Os modelos lineares gerados para a estimativa da temperatura média mensal a partir das coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) e da Altitude apresentaram em média valores de coeficiente de correlação (r) moderados, acima de 0,73, o que se deve à grande variabilidade dos dados de temperatura do ar na região, associada à

grande extensão territorial da região NE do Brasil. Apesar disso, essas estimativas podem ser consideradas adequadas, já que os erros das estimativas serão considerados na espacialização da temperatura por meio do sistema de informações geográficas.

Tabela 10 – Coeficientes linear e angular dos modelos lineares para a estimativa de temperatura média mensal normal (Ta) para a região nordeste (NE), e seus respectivos coeficientes de correlação e valores de F

Mês	Coeficientes da regressão						Modelo de regressão linear múltipla
	a	b1	b2	b3	r	F (%)	
Jan	29,39	0,0585	0,0457	-0,0047	0,83	7,11 E-18	$T = 29,39 + 0,0585 \text{ LAT} + 0,0457 \text{ LONG} - 0,0047 \text{ ALT}$
Fev	28,29	-0,0045	0,0383	-0,0046	0,76	2,33 E-13	$T = 28,29 - 0,0045 \text{ LAT} + 0,0383 \text{ LONG} - 0,0046 \text{ ALT}$
Mar	28,26	-0,0129	0,0383	-0,0049	0,84	1,60 E-18	$T = 28,26 - 0,0129 \text{ LAT} + 0,0383 \text{ LONG} - 0,0049 \text{ ALT}$
Abr	25,54	0,0645	-0,0381	-0,0052	0,86	1,47 E-21	$T = 25,54 + 0,0645 \text{ LAT} - 0,0381 \text{ LONG} - 0,0052 \text{ ALT}$
Mai	24,00	0,1562	-0,0816	-0,0052	0,85	1,52 E-20	$T = 24,00 + 0,1562 \text{ LAT} - 0,0816 \text{ LONG} - 0,0052 \text{ ALT}$
Jun	23,44	0,2326	-0,0961	-0,0057	0,87	1,81 E-22	$T = 23,44 + 0,2326 \text{ LAT} - 0,0961 \text{ LONG} - 0,0057 \text{ ALT}$
Jul	20,40	0,2827	-0,1770	-0,0060	0,88	6,59 E-24	$T = 20,40 + 0,2827 \text{ LAT} - 0,1770 \text{ LONG} - 0,0060 \text{ ALT}$
Ago	17,32	0,2913	-0,2673	-0,0056	0,86	7,45 E-21	$T = 17,32 + 0,2913 \text{ LAT} - 0,2673 \text{ LONG} - 0,0056 \text{ ALT}$
Set	17,34	0,2550	-0,2847	-0,0055	0,80	2,23 E-16	$T = 17,34 + 0,2550 \text{ LAT} - 0,2847 \text{ LONG} - 0,0055 \text{ ALT}$
Out	20,73	0,2001	-0,1998	-0,0046	0,76	6,70 E-14	$T = 20,73 + 0,2001 \text{ LAT} - 0,1998 \text{ LONG} - 0,0046 \text{ ALT}$
Nov	25,28	0,1953	-0,0922	-0,0044	0,73	1,62 E-12	$T = 25,28 + 0,1953 \text{ LAT} - 0,0922 \text{ LONG} - 0,0044 \text{ ALT}$
Dez	28,06	0,1363	-0,0026	-0,0041	0,74	6,39 E-13	$T = 28,06 + 0,1363 \text{ LAT} - 0,0026 \text{ LONG} - 0,0041 \text{ ALT}$
Ano	24,19	0,1514	-0,0880	-0,0051	0,84	4,20 E-19	$T = 24,19 + 0,1514 \text{ LAT} - 0,0880 \text{ LONG} - 0,0051 \text{ ALT}$

a: coeficiente linear; bn: são os coeficientes angulares; R quadrado: coeficiente de determinação; F (%) de significância; T: temperatura; LAT: latitude; LONG: longitude; ALT

Os modelos lineares desenvolvidas para estimar a temperatura média mensal para o bloco GO&TO são apresentados na Tabela 11. Os modelos de estimativa da temperatura para este bloco resultaram em valores de r mais elevados do que os da

região NE. Tal fato se deve à condição mais homogênea da região, havendo um maior efeito da latitude e menor efeito da longitude, já que a região não sofre influência da oceanidade.

Tabela 11 – Coeficientes linear e angular dos modelos lineares para a estimativa de temperatura média mensal normal (Ta) para os estados de Goiás e Tocantins (GO&TO), e seus respectivos coeficientes de correlação e valores de F

Mês	Parâmetros de regressão					F (%)	Modelo de regressão linear múltipla
	a	b1	b2	b3	r		
Jan	32,39	-0,0524	0,1318	-0,0045	0,88	1,19E-3	$T = 32,39 - 0,0524 \text{ LAT} + 0,1318 \text{ LONG} - 0,0045 \text{ ALT}$
Fev	26,56	-0,0207	0,0091	-0,0038	0,89	9,40E-3	$T = 26,56 - 0,0207 \text{ LAT} + 0,0091 \text{ LONG} - 0,0038 \text{ ALT}$
Mar	29,00	-0,0296	0,0569	-0,0040	0,88	1,18E-3	$T = 29,00 - 0,0296 \text{ LAT} + 0,0569 \text{ LONG} - 0,0040 \text{ ALT}$
Abr	33,57	0,0705	0,1188	-0,0046	0,87	2,00E-3	$T = 33,57 + 0,0705 \text{ LAT} + 0,1188 \text{ LONG} - 0,0046 \text{ ALT}$
Mai	34,36	0,3475	0,0831	-0,0037	0,84	4,60E-3	$T = 34,36 + 0,3475 \text{ LAT} + 0,0831 \text{ LONG} - 0,0037 \text{ ALT}$
Jun	34,61	0,4053	0,0998	-0,0035	0,82	9,10E-3	$T = 34,61 + 0,4053 \text{ LAT} + 0,0998 \text{ LONG} - 0,0035 \text{ ALT}$
Jul	38,47	0,4030	0,1833	-0,0034	0,80	1,24E-2	$T = 38,47 + 0,4030 \text{ LAT} + 0,1833 \text{ LONG} - 0,0034 \text{ ALT}$
Ago	29,63	0,3881	-0,0262	-0,0028	0,78	2,17E-2	$T = 29,63 + 0,3881 \text{ LAT} - 0,0262 \text{ LONG} - 0,0028 \text{ ALT}$
Set	36,27	0,2678	0,1030	-0,0039	0,81	1,07E-2	$T = 36,27 + 0,2678 \text{ LAT} + 0,1030 \text{ LONG} - 0,0039 \text{ ALT}$
Out	28,47	0,0301	0,0049	-0,0047	0,87	1,90E-3	$T = 28,47 + 0,0301 \text{ LAT} + 0,0049 \text{ LONG} - 0,0047 \text{ ALT}$
Nov	27,13	-0,0124	-0,0004	-0,0049	0,90	5,30E-4	$T = 27,13 - 0,0124 \text{ LAT} - 0,0004 \text{ LONG} - 0,0049 \text{ ALT}$
Dez	26,23	0,0421	-0,0159	-0,0039	0,90	5,00E-4	$T = 26,23 + 0,0421 \text{ LAT} - 0,0159 \text{ LONG} - 0,0039 \text{ ALT}$
Ano	31,02	0,1501	0,0559	-0,0040	0,85	3,93E-3	$T = 31,02 + 0,1501 \text{ LAT} + 0,0559 \text{ LONG} - 0,0040 \text{ ALT}$

a: coeficiente linear; bn: são os coeficientes angulares; R quadrado: coeficiente de determinação; F (%) de significância; T: temperatura; LAT: latitude; LONG: longitude; ALT: altitude; os valores em *itálico* representam os erros das estimativas

O mesmo desempenho dos modelos lineares gerados para o bloco GO&TO foi obtido para o estado de MG, com os valores dos coeficientes de correlação (r) sendo sempre superiores a 0,93. Tal desempenho, novamente está associado à ausência do efeito pronunciado do oceano nas temperaturas médias mensais do estado, como já

constatado por Ferreira et al. (2006). As equações estabelecidas para estimar a temperatura média mensal para o estado de MG são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Coeficientes linear e angular dos modelos lineares para a estimativa de temperatura média mensal normal (Ta) para o estado de Minas Gerais (MG), e seus respectivos coeficientes de correlação e valores de F

Mês	Parâmetros de regressão					F (%)	Modelo de regressão linear múltipla
	a	b1	b2	b3	r		
Jan	26,75	0,1671	-0,0811	-0,0055	0,98	2,63E-16	T = 26,75 + 0,1671 LAT - 0,0811 LONG - 0,0055 ALT
Fev	25,57	0,1055	-0,0875	-0,0056	0,97	6,83E-14	T = 25,57 + 0,1055 LAT - 0,0875 LONG - 0,0056 ALT
Mar	27,82	0,3063	-0,1206	-0,0058	0,98	1,62E-17	T = 27,82 + 0,3063 LAT - 0,1206 LONG - 0,0058 ALT
Abr	25,86	0,4563	-0,1947	-0,0056	0,98	8,91E-16	T = 25,86 + 0,4563 LAT - 0,1947 LONG - 0,0056 ALT
Mai	33,29	0,7578	-0,0909	-0,004	0,93	7,86E-09	T = 33,29 + 0,7578 LAT - 0,0909 LONG - 0,004 ALT
Jun	28,05	0,7183	-0,1694	-0,0049	0,96	2,62E-12	T = 28,05 + 0,7334 LAT - 0,1694 LONG - 0,0049 ALT
Jul	26,25	0,7334	-0,2146	-0,0053	0,96	3,07E-12	T = 26,25 + 0,7334 LAT - 0,2146 LONG - 0,0053 ALT
Ago	19,00	0,7290	-0,4172	-0,0055	0,97	2,30E-13	T = 19,00 + 0,7290 LAT - 0,4172 LONG - 0,0055 ALT
Set	18,19	0,7558	-0,4875	-0,0059	0,97	1,49E-13	T = 18,19 + 0,7558 LAT - 0,4875 LONG - 0,0059 ALT
Out	19,77	0,5992	-0,4094	-0,0058	0,98	7,13E-17	T = 19,77 + 0,5992 LAT - 0,4094 LONG - 0,0058 ALT
Nov	22,47	0,4637	-0,2828	-0,0051	0,97	2,03E-14	T = 22,47 + 0,4637 LAT - 0,2828 LONG - 0,0051 ALT
Dez	24,35	0,2791	-0,1562	-0,0047	0,95	4,22E-10	T = 24,35 + 0,2791 LAT - 0,1562 LONG - 0,0047 ALT
Ano	24,80	0,5024	-0,2245	-0,0054	0,96	5,82E-16	T = 24,80 + 0,5024 LAT - 0,2245 LONG - 0,0054 ALT

a: coeficiente linear; bn: são os coeficientes angulares; R quadrado: coeficiente de determinação; F (%) de significância; T: temperatura; LAT: latitude; LONG: longitude; ALT: altitude

De acordo com a Figura 11, que apresenta as temperaturas médias mensais para cada estado analisado, os meses com as temperaturas mais baixas, para todos eles, são junho ou julho, enquanto que as temperaturas mais elevadas ocorrem em diferentes meses, dependendo da localidade. Nos estados da Bahia e Minas Gerais, as temperaturas mais elevadas são normalmente registradas em fevereiro, ao passo que

em Alagoas e Sergipe isso ocorre em janeiro, no Tocantins e Maranhão em setembro, em Goiás em outubro e no Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco, Ceará e Paraíba em novembro.

Figura 11 – Temperatura média mensal média dos estados da região Nordeste e de Goiás, Tocantins e Minas Gerais (Continua)

Figura 11 – Temperatura média mensal média dos estados da região Nordeste e de Goiás, Tocantins e Minas Gerais (Conclusão)

4.2.1 Espacialização da temperatura média anual do ar a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDET)

O uso do modelo digital de elevação obtido das imagens SRTM permitiu caracterizar a temperatura média do ar para cada *pixel* do MDET, por meio dos modelos lineares gerados para cada bloco (NE, GO&TO e MG), gerando assim um mapa da condição térmica para a região selecionada. Cada pixel representa uma área de 8.100 m² (90 x 90 m), sendo essa a resolução obtida nos mapas gerados.

A Figura 12 apresenta o mapa do MDET, em que se podem observar as variações de altitude na área de estudo. De acordo com esse mapa, as altitudes na área de estudo variam desde o nível do mar, na região litorânea da região Nordeste, até mais de 2000 m na região serrana do sul de Minas Gerais.

Figura 12 – Altitude da região de estudo, gerada a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDET), proveniente das imagens SRTM

4.2.2 Temperatura média mensal da região selecionada

A região Nordeste apresenta temperaturas menores que 20°C nos meses de maio a agosto, principalmente no sul da Bahia. Ao norte da região, a temperatura média mensal fica acima de 30°C a partir de agosto até dezembro, destacando-se o estado do Maranhão com altas temperaturas médias do ar (Figura 13). O estado de Goiás abrange maiores localidades com temperatura média abaixo de 20°C, principalmente no mês de julho. O estado de Tocantins, ao norte, apresenta temperaturas acima de 30°C nos meses de agosto a outubro, atingindo temperaturas mais elevadas no mês de setembro

(Figura 14). Na região selecionada, o estado de Minas Gerais é o que apresenta as menores temperaturas, abrangendo localidades ao sul do estado, aonde chegam a ocorrer temperaturas menores que 10°C. As temperaturas mais elevadas não passam de 29°C (Figura 15).

Figura 13 – Variação espacial da temperatura média mensal para a região Nordeste, estimadas por meio dos modelos lineares e do modelo digital de elevação do terreno

Os resultados apresentados nos mapas das Figuras 13 a 15 mostram o grau de detalhamento proporcionado pela técnica de espacialização das temperaturas pelo uso dos modelos lineares (regressão linear múltipla, em função da latitude, longitude e altitude) associados o MDET. Essa técnica vem sendo muito empregada na caracterização térmica de vários estados, como Paraná (PINTO; ALFONSI, 1974), São Paulo (PEDRO JR. et al., 1991; RODRIGUEZ-LADO et al., 2007), Minas Gerais e Pará (FERREIRA et al., 2006), Piauí (LIMA; RIBEIRO, 1998), e nos estudos de zoneamento agroclimático, permitindo se caracterizar os atributos do clima de maneira muito mais realista do que quando se empregam as técnicas geoestatísticas de espacialização de

variáveis, como o inverso do quadrado da distância, *krigagem*, entre outros. Além disso, essa técnica incorpora os erros das estimativas, por meio da adição do mapa proveniente dos modelos lineares e do mapa dos erros das estimativas.

Figura 14 – Variação espacial da temperatura média mensal nos estados de Goiás e do Tocantins, estimadas por meio dos modelos lineares e do modelo digital de elevação do terreno

Figura 15– Variação espacial da temperatura média mensal no estado de Minas Gerais, estimadas por meio dos modelos lineares e do modelo digital de elevação do terreno

4.2.3 Temperatura média anual da região selecionada

Apesar das temperaturas médias mensais serem de grande importância para os estudos agrometeorológico, normalmente, os zoneamentos de aptidão agrícola de culturas de ciclo perene se baseiam nos dados de temperatura média anual. Sendo assim, As temperaturas médias anuais foram estimadas pelos modelos lineares que são apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13, e então espacializadas para a região de estudo, levando-se em consideração também os erros das estimativas. As Figuras 16, 17 e 18 apresentam a distribuição espacial das temperaturas médias anuais respectivamente para a região Nordeste, para os estados de GO e TO e para o estado de MG.

Na Figura 16 é possível se observar que a temperatura média anual aumenta do sul para o norte da região NE, como era de se esperar, devido ao efeito pronunciado da latitude. Apesar disso, na região central de alguns estados como a BA e PE, há regiões com temperaturas mais amenas, o que se deve ao efeito da altitude.

Para o bloco que contempla os estados de Goiás e Tocantins, assim como o Distrito Federal, o mesmo efeito da latitude é observado, com as temperaturas médias anuais sendo mais amenas no sul de GO e mais elevadas no norte do TO (Figura 17).

Para o estado de Minas Gerais (Figura 18), a temperatura média anual também apresenta incremento de temperatura do sul para o norte, devido à latitude, porém, com um padrão não tão bem definido como nas demais regiões analisadas. Isso se deve, basicamente, ao relevo da região, como se pode observar na Figura 12, com várias regiões montanhosas intercaladas por vales, que se estendem desde o sul até o norte do estado. Isso faz com que as temperaturas sejam mais elevadas no Triângulo Mineiro e nas regiões noroeste e leste do estado, e mais amenas nas regiões sul e central.

Figura 16 – Temperatura média anual normal para os estados da região nordeste

Figura 17 – Temperatura média anual normal para os estados da região nordeste

Figura 18 – Temperatura média anual normal para o estado de Minas Gerais

4.3 Balanço Hídrico Climatológico Normal (BHNNormal)

4.3.1 Precipitação

Assim como feito para a temperatura do ar, também se empregou a técnica da associação dos modelos lineares e do modelo digital de elevação do terreno para a espacialização da chuva anual normal.

Os modelos lineares de estimativa da chuva anual foram gerados com base nos dados obtidos das estações pluviométricas da ANA distribuídas na região analisada, dividindo-as em três blocos: região Nordeste (NE); estados de Goiás e Tocantins (GO&TO) e estado de Minas Gerais (MG). Os modelos gerados são apresentados a seguir, com seus respectivos coeficientes.

Para os três blocos da região analisada, os modelos de regressão originaram as seguintes equações:

a) Região Nordeste:

$$Prec = -451,1873 - 5,1165 LAT - 39,8819 LONG - 0,79619682 ALT \quad (r = 0,49) \quad (22)$$

b) Estados de Goiás e Tocantins:

$$Prec = -655,1829 + 36,2404 LAT - 53,9882 LONG + 0,1376026 ALT \quad (r = 0,51) \quad (23)$$

c) Estado de Minas Gerais:

$$Prec = -1287,3971 - 55,6455 LAT - 30,0528 LONG + 0,289233 ALT \quad (r = 0,65) \quad (24)$$

Os mapas finais de precipitação, após o emprego da álgebra de mapas utilizando a precipitação estimada pelos modelos e a interpolação dos erros, podem ser observados nas Figuras 19 a 21.

Na região nordeste (Figura 19) há ocorrência de maiores precipitações na faixa litorânea, associado principalmente à grande nebulosidade gerada pelas correntes

ascendentes de ar, decorrentes da corrente oceânica do Brasil, a qual por ser quente favorece os movimentos convectivos (PEREIRA et al., 2002), e no norte do estado do Maranhão, onde predominam chuvas associadas à zona de convergência intertropical (ZCIT), com características mais semelhantes ao clima úmido da Amazônia. Em grande parte da região central da região NE, as chuvas anuais são inferiores a 800 mm, o que caracteriza a região semi-árida. Nessa grande área, denominada de Sertão Nordestino, as poucas chuvas se devem à dinâmica das massas de ar e também ao efeito do relevo (PEREIRA et al., 2002). O relevo localizado na porção leste da região Nordeste influencia no clima do Sertão, pois as chapadas da Borborema e Diamantina exercem um bloqueio aos ventos de leste, quentes e úmidos. Isso provoca chuvas mais intensas na Zona da Mata e o efeito conhecido como “sombra de chuva” no interior.

Nos estados de Goiás e Tocantins (Figura 20), o que inclui também o Distrito Federal, há um gradiente dos totais pluviométricos no sentido sudeste-noroeste, indo de cerca de 1350 mm por ano no leste do estado de Goiás a mais de 2000 mm por ano no noroeste do Tocantins. A dinâmica das chuvas nessas áreas sofre influência de diversos fatores climáticos. Dentre os principais se tem a atuação mais intensa da ZCIT no centro-norte do estado do Tocantins, assim como o efeito da altitude, que geram chuvas mais intensas e freqüentes em diversas áreas do estado de Goiás e do Tocantins.

No estado de Minas Gerais (Figura 21), o padrão de distribuição espacial das chuvas anuais é inverso ao que ocorre no bloco GO&TO, com chuvas mais intensas nas regiões sul e leste do estado, em função do efeito da altitude e da ação mais freqüente das frentes frias, e menos intensas nas regiões norte e noroeste, onde predominam condições que se assemelham mais aos padrões de chuva do semi-árido nordestino.

Figura 19 – Chuva total anual normal para os estados da região Nordeste

Figura 20 – Chuva total anual normal para os estados de Goiás e Tocantins

Figura 21 – Chuva total anual normal para o estado de Minas Gerais

4.3.2 Evapotranspiração Potencial (ETP) e Real (ETR)

A evapotranspiração potencial (ETP) é variável fundamental para a determinação do balanço hídrico e, portanto, sua estimativa deve ser feita de modo a quantificar a demanda hídrica da atmosfera. Além da ETP, a evapotranspiração real (ETR), também necessita ser determinada, sendo uma das saídas do modelo de estimativa do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). A diferença entre a ETP e a ETR é definida como deficiência hídrica (DEF), a qual é a variável mais importante para o zoneamento de culturas perenes e semi-perenes, como a jatropa.

Os modelos lineares empregados para a estimativa da ETP e ETR para a região de estudo são apresentados a seguir, valendo ressaltar que para o desenvolvimento dos modelos de ETR se levou em consideração também como variável independente a chuva, já que a ETR é oriunda do balanço hídrico, ou seja, do compute entre a Prec e a ETP.

a) Região Nordeste:

$$ETP = 1170,9677 + 18,76525 LAT - 12,89848 LONG - 0,557348 ALT \quad (r = 0,97) \quad (25)$$

$$ETR = 221,19 - 12,615 LAT - 2,699 LONG - 0,181 ALT + 0,4464 Prec \quad (r = 0,93) \quad (26)$$

b) Estados de Goiás e Tocantins:

$$ETP = 1365,3173 + 31,6129 LAT - 12,64835 LONG - 0,457545 ALT \quad (r = 0,95) \quad (27)$$

$$ETR = 219,18 + 10,134 LAT - 18,006 LONG - 0,216 ALT + 0,095 Prec \quad (r = 0,92) \quad (28)$$

c) Estado de Minas Gerais:

$$ETP = 1237,4959 + 33,4322 LAT - 16,0268 LONG - 0,389042 ALT \quad (r = 0,98) \quad (29)$$

$$ETR = 280,74 - 5,3616 LAT - 12,552 LONG - 0,276 ALT + 0,0945 Prec \quad (r = 0,93) \quad (30)$$

Os mapas finais de ETP, após o emprego da álgebra de mapas utilizando os modelos lineares de estimativa e a interpolação dos erros, podem ser observados nas Figuras 22 a 24.

Devido à relação de dependência da evapotranspiração potencial com a temperatura média anual do ar, existe uma grande similaridade entre os mapas dessas duas variáveis.

Na região NE, os municípios que se localizam no litoral e no centro-norte da região apresentam as maiores taxas de ETP, com valores anuais maiores que 1300 mm. Por outro lado na região central do estado da Bahia, nas áreas de altitude, os valores ETP encontram-se abaixo de 900 mm por ano (Figura 22).

Para os estados de Goiás e Tocantins, a ETP anual segue o padrão da temperatura do ar, com os maiores valores, acima de 1500 mm, ocorrendo no centro-

norte do estado do TO, e os menores, abaixo de 1200 mm, no centro-sul de GO e nas áreas de maiores altitudes (Figura 23).

Já para o estado de Minas Gerais (Figura 24), os maiores valores de ETP são observados no Triângulo Mineiro e nas regiões norte e leste do estado, com valores acima de 1200 mm anuais. Já para os menores valores, abaixo de 800 mm anuais, coincidem com a região mais ao sul do estado, onde o efeito combinado das maiores latitudes e altitudes condicionam menores temperaturas e, conseqüentemente, as menores demandas hídricas.

As Figuras 25 a 27 apresentam os mapas gerados para ETR na região selecionada. Como se pode observar nesses mapas, a ETR obedece ao padrão de variação das variáveis que a condicionam, ou seja, a chuva e a ETP.

Na região NE (Figura 25), os menores valores de ETR ocorrem no semi-árido nordestino, já que nessa região ocorrem os menores índices de chuva e valores moderados de ETP. Nessa área, a ETR oscila entre 500 e 700 mm, valores bem abaixo da ETP, que corresponde a uma faixa de 1000 a 1500 mm. No extremo leste (faixa litorânea) e no estado do Maranhão os valores de ETR são maiores, em decorrência dos maiores valores de ETP e também de chuva.

Figura 22 – Evapotranspiração potencial anual normal para os estados da região Nordeste

Figura 23 – Evapotranspiração potencial anual normal para os estados de Goiás e Tocantins

Figura 24 – Evapotranspiração potencial anual normal para o estado de Minas Gerais

Nos estados de Goiás e Tocantins (Figura 26), as áreas de maiores taxas de ETR se encontram no extremo noroeste do Tocantins, onde são observados valores de ETR anual da ordem de mais de 1100 mm. Valores intermediários de ETR ocorrem no oeste de GO e em grande parte do TO, enquanto que os menores valores, associados aos índices pluviométricos menos intensos, ocorrem no centro-leste de GO e no extremo sudeste do TO, com valores menores do que 980 mm anuais.

No estado de Minas Gerais (Figura 27), assim como nas demais áreas analisadas, há grande variação de ETR, com os valores anuais oscilando entre 700 mm no extremo norte do estado, na divisa com a Bahia, e mais de 1000 mm em áreas do leste e no extremo oeste do Triângulo Mineiro. Tal variação é função da combinação dos fatores determinantes do clima nessa região, dentre os quais os efeitos mais pronunciados são latitude, altitude, oceanidade e as massas de ar, incluindo as frentes frias (PEREIRA et al., 2002).

Figura 25 – Evapotranspiração real anual normal para os estados da região Nordeste

Figura 26 – Evapotranspiração real anual normal para os estados de Goiás e Tocantins

Figura 27 – Evapotranspiração real anual normal para o estado de Minas Gerais

4.3.3 Deficiência hídrica (DEF) e Excedente hídrico (EXC)

A deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC) são variáveis oriundas do balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). Essas variáveis são dependentes diretamente da Prec e da ETP. A DEF é determinada pela diferença entre ETP e ETR, ao passo que o EXC é sempre oriundo do balanço entre Prec e ETP, porém ocorrendo somente quando o solo estiver com seu armazenamento máximo, ou seja, em condições de capacidade de campo.

Para se estabelecer a espacialização dos valores de DEF e EXC foram desenvolvidos modelos lineares, tendo-se como variáveis independentes as coordenadas geográficas e a altitude, condicionantes da temperatura do ar e, conseqüentemente, da ETP, e a Prec.

Os modelos lineares empregados para a estimativa da DEF e EXC para a região de estudo são apresentados a seguir:

a) Região Nordeste:

$$DEF = 969,77 + 31,473 \text{ LAT} - 9,670 \text{ LONG} - 0,374 \text{ ALT} - 0,4451 \text{ Prec} \quad (r = 0,92) \quad (31)$$

$$EXC = -221,65 + 12,58 \text{ LAT} + 2,69 \text{ LONG} - 0,181 \text{ ALT} - 0,5536 \text{ Prec} \quad (r = 0,94) \quad (32)$$

b) Estados de Goiás e Tocantins:

$$DEF = 1146,14 + 21,478 \text{ LAT} + 5,357 \text{ LONG} - 0,242 \text{ ALT} - 0,1019 \text{ Prec} \quad (r = 0,91) \quad (33)$$

$$EXC = -219,18 - 10,13 \text{ LAT} + 18,01 \text{ LONG} - 0,216 \text{ ALT} - 0,9051 \text{ Prec} \quad (r = 0,97) \quad (34)$$

c) Estado de Minas Gerais:

$$DEF = -333,88 + 3,033 \text{ LAT} + 511,724 \text{ LONG} + 0,291 \text{ ALT} + 0,8769 \text{ Prec} \quad (r = 0,99) \quad (35)$$

$$EXC = 956,76 + 38,793 \text{ LAT} - 3,474 \text{ LONG} - 0,112 \text{ ALT} - 0,096034 \text{ Prec} \quad (r = 0,92) \quad (36)$$

As Figuras 28 e 29 apresentam os mapas de DEF e EXC, gerados com base nos modelos lineares e nos erros das estimativas, para os estados da região NE.

Essa região apresenta na faixa litorânea leste e no sul áreas com menores valores de DEF, com totais médios anuais inferiores a 360 mm. Nas áreas centrais, divisa da Bahia com o Pernambuco e ao norte, nos estados de Rio Grande do Norte e Ceará, os valores de DEF são mais acentuados, superando 600 mm anuais (Figura 28). Para o EXC (Figura 29), as variações são igualmente amplas, sendo menores que 100 mm no sertão nordestino e maiores que 900 mm no extremo noroeste do Estado do Maranhão.

A Figura 30 ilustra as variações temporais, na escala mensal, da DEF e do EXC em diferentes áreas da região NE, mostrando as diferenças climáticas, em termos da disponibilidade hídrica regional, nessa região.

Figura 28 – Deficiência hídrica anual normal para os estados da região Nordeste

Figura 29 – Excedente hídrico anual normal para os estados da região Nordeste

Figura 30 – Extrato do balanço hídrico climatológico normal para as localidades de Barreiras, BA, Serra Talhada, PE, e Aldeias Altas, MA, para uma CAD = 100 mm. DEF(-1) representa a deficiência hídrica e EXC o excedente hídrico

Observa-se na Figura 30 que tanto em Barreiras, BA, como em Aldeias Altas, MA, a estação úmida apresenta EXC ao contrário do que ocorre em Serra Talhada, PE, onde, apesar das chuvas superarem a ETP durante os meses de março e abril, não há ocorrência de EXC. Em Barreiras e Aldeias Altas a estação seca, com ocorrência de DEF, dura de seis a sete meses, enquanto que em Serra Talhada o período com DEF é de 10 meses.

Nos estados de GO e TO, as DEF hídricas (Figura 31) aumentam com a diminuição da latitude, em decorrência das maiores temperaturas e das chuvas mais escassas durante a estação seca no estado do TO. A DEF no sul de GO é sempre inferior a 200 mm, ao passo que no norte desse estado e no sul do TO a DEF já oscila entre 260 e 425 mm. No restante do estado do TO, a DEF aumenta substancialmente, chegando a superar 470 mm em grande parte do estado.

Em relação os valores de EXC (Figura 32), observam-se poucas diferenças entre as diferentes áreas dos estados de GO e TO. Isso se deve ao fato de que nos locais mais chuvosos, como na região centro-norte do TO, a ETP é maior fazendo com que não haja diferença no EXC em relação ao sul de GO, onde chove menos ao longo do ano, porém também evapotranspira menos. Apenas nas áreas de maior altitude, facilmente identificadas na Figura 32, é que ocorrem valores de EXC maiores, superando os 700 mm, ao passo que na grande maioria das áreas desses dois estados esses valores ficam entre 400 e 600 mm.

Figura 31 – Deficiência hídrica anual normal para os estados de Goiás e Tocantins

Figura 32– Excedente hídrico anual normal para os estados de Goiás e Tocantins

A Figura 33 ilustra as variações temporais, na escala mensal, da DEF e do EXC em diferentes áreas dos estados de GO e TO, mostrando as diferenças climáticas, em termos da disponibilidade hídrica regional, nessa região.

Observa-se na Figura 33 que em todas as localidades há ocorrência de DEF, que, no entanto, variam em duração e intensidade. No estado de GO, representado por Serranópolis, a DEF ocorre durante quatro meses, não passando de 50 mm em cada mês. Por outro lado, no estado de TO, nas localidades de Peixe e Araguatins, o período com DEF é de seis meses, havendo meses em que o valor dessa variável chega a mais de 100 mm. Quanto ao EXC, as localidades de Serranópolis e Peixe se assemelham, com os EXC se iniciando no final do ano, entre novembro e dezembro, e seguindo até março/abril. Já em Araguatins, TO, os EXC se concentram no começo do ano, de janeiro a abril.

Figura 33 – Extrato do balanço hídrico climatológico normal para as localidades de Serranópolis, GO, Peixe, TO, e Araguatins, TO, para uma CAD = 100 mm. DEF(-1) representa a deficiência hídrica e EXC o excedente hídrico

No estado de MG, as DEF hídricas (Figura 34) apresentam o mesmo padrão observado nos estados de GO e TO, ou seja, aumentam com a diminuição da latitude. Esse fato é explicado pelas maiores temperaturas e menores índices pluviométricos na região norte do estado em comparação à região sul, onde predominam temperaturas mais amenas e chuvas de maior intensidade. Já o EXC (Figura 35) tem relação direta com a latitude, ou seja, quanto maior a latitude, maior o EXC. Esse fato é explicado pelos mesmos motivos usados para a DEF. Áreas com mais Prec e menor ETP, resultarão em maiores EXC, como é o caso do sul do estado de MG em que os valores chegam a superar os 1200 mm, enquanto que no norte do estado, esses valores não passam de 200 mm.

Figura 34 – Deficiência hídrica anual normal para o estado de Minas Gerais

Figura 35 – Excedente hídrico anual normal para o estado de Minas Gerais

A Figura 36 ilustra as variações temporais, na escala mensal, da DEF e do EXC em diferentes áreas do estado de MG, mostrando as diferenças climáticas, em termos da disponibilidade hídrica regional, nessa região.

Observa-se na Figura 36 que em todas as localidades há a ocorrência de DEF, porém com intensidades muito diferentes, o que mostra a grande variação dos climas do estado. Em Alto da Boa Vista, a DEF é muito baixa ao longo de toda a estação seca, com os DEF mensais não passando de 30 mm. Em Buritizeiros, a estação seca é mais prolongada e intensa, com os DEF mensais superando os 30 mm por seis meses. Já em Montezuma, o clima passa a ser semi-árido, com a DEF predominando em praticamente todo o ano. Quanto ao EXC, este ocorre somente nas localidades de Alto da Boa Vista e de Buritizeiros, porém com intensidades e duração variáveis. Em Alto da Boa Vista, a estação úmida dura de outubro a abril, com os valores de EXC chegando a superar os 200 mm em dezembro e janeiro. Já em Buritizeiro, a estação úmida é mais curta, de novembro a março, e com os valores de EXC mensais não passando dos 100 mm. Em Montezuma não há ocorrência de EXC.

Figura 36 – Extrato do balanço hídrico climatológico normal para as localidades de Alto da Boa Vista, Buritizeiro e Montezuma, no estado de MG, para uma CAD = 100 mm. DEF(-1) representa a deficiência hídrica e EXC o excedente hídrico

4.4 Zoneamento Agroclimático de *Jatropha curcas* L. para a região selecionada

De acordo com as classes de aptidão definidas na caracterização do Centro de Origem e com os mapas dos atributos do clima (Ta, DEF e EXC), foram elaborados os mapas do grau de aptidão das diferentes áreas para cada variável. Esses mapas serviram para subsidiar a elaboração do mapa final de zoneamento agroclimático para cada bloco da região selecionada.

4.4.1 Grau de aptidão da *Jatropha curcas* L. quanto ao critério temperatura média anual

As Figuras 37 a 39 apresentam os mapas temáticos de aptidão agroclimática de *Jatropha curcas* L. na região selecionada para a variável temperatura média. Nesses mapas vemos que as altas temperaturas é um fator que limita o cultivo da *jatropha* especialmente no norte da região NE e no estado do TO. Por outro lado, no sul do estado de MG, na região da Serra da Mantiqueira, a limitação térmica ocorre devido ao risco de geadas, fenômeno prejudicial às plantas de *jatropha* (SATURNINO et. al., 2005; ANDRADE et al., 2007).

A região nordeste na sua grande maioria é considerada apta para o plantio de *jatropha* quanto à temperatura média. Dos 9 estados, 4 apresentam aptidão em toda a sua extensão quanto à temperatura adequada ao cultivo de *jatropha*. Ao norte a região se torna marginal e no litoral do Ceará e Piauí e norte do Maranhão a classificação é de inaptidão quanto à temperatura, por excesso térmico (Figura 37).

Nos estados de Goiás e Tocantins, há a presença de áreas inaptas ao norte de Tocantins. O centro desse estado é tido como marginal, enquanto que o sul do TO e todo o estado de GO têm toda a sua extensão apta ao cultivo de *jatropha* com relação à temperatura média (Figura 38).

No estado de Minas Gerais, somente algumas poucas localidades do sul do estado, na divisa com o estado de São Paulo e Rio de Janeiro, são classificadas como inaptas. O restante do estado se divide em zonas marginais no centro-sul do estado e zonas aptas nas regiões norte e nordeste e no Triângulo Mineiro (Figura 39).

Figura 37– Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para temperatura média anual nos estados da região Nordeste

Figura 38 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para temperatura média anual nos estados de Goiás e Tocantins

Figura 39 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para temperatura média anual no estado de Minas Gerais

4.4.2 Grau de aptidão da *Jatropha curcas* L. quanto ao critério deficiência hídrica

As Figuras 40 a 42 apresentam os mapas temáticos de aptidão agroclimática de *Jatropha curcas* L. na região selecionada para a variável deficiência hídrica. De um modo geral, grande parte da região total analisada apresenta-se como marginal com relação à essa variável.

Nos estados da região NE (Figura 40), a jatropha somente encontra condição de aptidão quanto ao DEF no sul, litoral e oeste da BA, regiões notadamente com maiores índices pluviométricos. Por outro lado, na divisa entre BA e PE e no centro-norte dos estados do RN e CE, as condições são de inaptidão, já que a DEF supera os limites suportados pelas plantas de jatropha em condições de sequeiro. Nas demais áreas, que englobam os estados do MA, PI e boas parte dos demais estados nordestinos, a condição é de marginalidade.

Figura 40 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para a deficiência hídrica anual nos estados da região Nordeste

Nos estados de Goiás e Tocantins não há ocorrência de áreas consideradas inaptas para o critério de DEF. No entanto, o estado do TO apresenta em quase toda sua extensão condição de marginalidade para o plantio de jatropha, exceto ao leste do estado que apresenta áreas aptas quanto ao critério da deficiência hídrica. O estado de GO apresenta áreas aptas, exceto na região noroeste do estado, na divida com TO e MT, onde a condição é de marginalidade (Figura 41).

O estado de Minas Gerais também não apresenta áreas inaptas ao cultivo de jatropha quanto ao critério de deficiência hídrica (Figura 42). Porém, ao norte o estado apresenta uma ampla área marginal, que engloba os municípios onde chove menos e há maiores níveis de DEF. Por outro lado, na região centro-sul do estado e no Triângulo Mineiro, a condição é de plena aptidão, já que a DEF anual não ultrapassa o limite de 360 mm.

Figura 41 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para a deficiência hídrica anual nos estados de Goiás e Tocantins

Figura 42 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para a deficiência hídrica anual no estado de Minas Gerais

4.4.3 Grau de aptidão da *Jatropha curcas* L. quanto ao critério excedente hídrico

As Figuras 43 a 45 apresentam os mapas temáticos de aptidão agroclimática de *Jatropha curcas* L. na região selecionada para a variável excedente hídrico.

De um modo geral, nenhuma das regiões analisadas na região NE (Figura 43) e nos estados de GO e TO (Figura 44) apresenta restrições quanto ao excesso hídrico. Apenas algumas poucas localidades situadas no sul do estado de MG, na divisa com SP e RJ, e em pequenas áreas isoladas no centro-sul de MG há condição de marginalidade quanto ao EXC (Figura 45).

Figura 43 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para o excedente hídrico anual nos estados da região Nordeste

Figura 44 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para o excedente hídrico anual nos estados de Goiás e Tocantins

Figura 45 – Aptidão agroclimática da *Jatropha curcas* L. para o excedente hídrico anual no estado de Minas Gerais

4.4.4 Zoneamento agroclimático da *Jatropha curcas* L.

Os mapas do grau de aptidão para cada um dos atributos do clima sobrepostos de forma a gerar o mapa de zoneamento agroclimático para implantação de *Jatropha curcas* L. na região selecionada. As Figuras 46 a 48 apresentam os mapas temáticos do zoneamento agroclimático conforme os critérios de aptidão definidos junto ao Centro de Origem, considerando-os como as exigências climáticas da cultura.

4.4.4.1 Região Nordeste

Conforme indicado na Figura 46 as áreas aptas ao plantio de jatropha na região nordeste encontram-se a leste, sul e centro do estado da Bahia; no litoral de Sergipe, Pernambuco e Paraíba; ao sudoeste de Piauí e sul do Maranhão.

A região central da região caracteriza-se como restrita quanto à disponibilidade de água. Nessa região as chuvas anuais são menores que 800 mm por ano, representando altos índices de deficiência hídrica, acima de 480 mm anuais, o que restringe a produtividade como cultura de sequeiro.

No centro do Maranhão até Piauí e nas divisas entre Ceará e Rio Grande do Norte situam-se áreas restritas quanto ao excesso de temperatura e deficiência hídrica, uma vez que a temperatura média anual está acima do limite definido junto ao Centro de Origem e o regime pluviométrico não é satisfatório de acordo com a demanda hídrica exigida.

Na Bahia, algumas pequenas manchas na região do município de Piatã são caracterizadas como restrita quanto à deficiência térmica, assim como a região de Carolina no sul maranhense. Essas regiões apresentam temperaturas menores que 23°C, o que foi considerada como marginal pela caracterização do Centro de Origem da jatropha.

Na divisa entre Bahia e Pernambuco, no norte dos estados Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte e Ceará ocorrem regiões inaptas ao cultivo de sequeiro de jatropha, uma vez que não apresentam temperatura e chuva necessárias ao desenvolvimento da cultura.

Considerando-se apenas o estado da Bahia, o zoneamento para a jatropha obtido no presente estudo difere parcialmente do elaborado por Gonçalves e Sentelhas (2008),

que consideraram uma faixa de temperatura mais ampla (18,0 a 28,5°C) para aptidão e limiares de chuva de 600 e 1000 mm para a definição de zonas aptas ($Prec > 1000$ mm), marginais ($Prec$ entre 600 e 1000 mm) e inaptas ($Prec < 600$ mm), informações essas compiladas da literatura. O presente estudo, por outro lado, usou informações climáticas obtidas junto ao Centro de Origem da *Jatropha*, definindo de forma racional os limites favoráveis para a cultura em função da temperatura, deficiência hídrica e excedente hídrico.

Figura 46 – Zoneamento agroclimático para o cultivo da *Jatropha curcas* L. nos estados da região nordeste

De acordo com a Tabela 12, as zonas aptas ao cultivo de sequeiro de *Jatropha curcas* L. na região NE representam 22,65% da área total, valor menor do que as áreas consideradas marginais por deficiência hídrica, com cerca de 50% da área. As zonas marginais por excesso térmico e deficiência hídrica representam 11,79% da área da

região, enquanto que as marginais por deficiência térmica 0,49%. As zonas inaptas representam 14,73% da área total da região.

Tabela 12 – Classes de aptidão agroclimática para *Jatropha curcas* L. nos estados da região nordeste

Classes	Área (km²)	%
Apta	352.103,58	22,6541
Marginal por deficiência hídrica	781.995,41	50,3131
Marginal por excesso térmico e deficiência hídrica	183.360,25	11,7973
Marginal por excesso térmico	7.723,29	0,4969
Inapta	229.074,47	14,7385
Total	1.554.257,00	100,00

4.4.4.2 Estados de Goiás e Tocantins

A Figura 47 apresenta o zoneamento agroclimático de jatropha para os estados de Goiás e Tocantins. As áreas aptas ao cultivo de jatropha no bloco estão localizadas na região sul, central e norte do estado de Goiás até o sul de Tocantins. Ainda no Tocantins, uma faixa ao leste, na divisa com o estado da BA, também é apta para o cultivo de jatropha. A restrição por deficiência hídrica atinge o noroeste de GO até o centro do TO. O estado do TO apresenta as maiores áreas marginais por excesso térmico e deficiência hídrica. Nessas áreas, a temperatura média é maior que 27°C e a demanda evaporativa é superior aos índices pluviométricos.

No estado de Goiás, na região de Alto Paraíso de Goiás, e de Tocantins, na região de Monte Santo de Tocantins, ocorrem áreas marginais por excesso térmico. A temperatura média é da ordem de 27,5°C, acima do limite da classe de aptidão para temperatura.

A região centro-norte do estado do Tocantins é classificada como inapta para o cultivo de jatropha como cultura de sequeiro, uma vez que a região apresenta as maiores temperaturas, em torno de 29°C, alta demanda evaporativa e deficiência hídrica acentuada, acima de 470 mm anuais.

Conforme a Tabela 13 as zonas aptas ao cultivo de sequeiro de *Jatropha curcas* L. nos estados de Goiás e Tocantins representam 47,78% da área da região. As zonas

marginais por excesso térmico e deficiência hídrica representam 28,08%, as marginais por excesso térmico 0,33% e as marginais por deficiência hídrica 14,43%. As zonas inaptas representam menos de 9,4% da área da região.

Tabela 13 – Classes de aptidão agroclimática para *Jatropha curcas* L. nos estados de Goiás e Tocantins

Classe	Área (km ²)	%
Apta	297.923,52	47,7817
Marginal por deficiência hídrica	89.980,38	14,4313
Marginal por excesso térmico e deficiência hídrica	175.126,94	28,0873
Marginal por excesso térmico	2.035,95	0,3265
Inapta	58.442,75	9,3732
Total	623.509,55	100,00

Figura 47 – Zoneamento agroclimático para o cultivo da *Jatropha curcas* L. nos estados de Goiás e do Tocantins

4.4.4.3 Estado de Minas Gerais

A Figura 48 ilustra o zoneamento agroclimático de *jatropha* para o estado de Minas Gerais. O estado de Minas Gerais apresenta no Vale do Mucuri, região Noroeste e Triângulo Mineiro aptidão ao cultivo de sequeiro da *jatropha*, uma vez que apresentam temperatura e chuva necessárias ao cultivo de sequeiro.

No norte de Minas Gerais e em parte da região de Jequitinhonha há restrições ao cultivo de sequeiro de *jatropha* por deficiência hídrica, já que o regime pluviométrico é menor que 1200 mm anuais e a demanda evaporativa é expressiva, acima de 1100 mm anuais. No centro de Minas Gerais, região metropolitana de Belo Horizonte, Alto do Paranaíba, sul e sudoeste e Zona da Mata predomina a restrição da cultura por deficiência térmica. Essas regiões apresentam temperaturas médias mais baixas, em torno de 19°C.

A região sudeste do estado, onde se encontram os municípios de Bom Repouso e Bocaina de Minas, apresenta restrição por excedente hídrico. Nessa região, o excedente hídrico ultrapassa 1400 mm anuais, o que de acordo com os critérios definidos junto ao Centro de Origem representa uma área marginal, por haver riscos de inundação e problemas fitossanitários.

A região serrana de Itamonte e Bocaina de Minas foi classificada como área inapta. Essa classificação se deve ao fato de que a região apresenta as menores temperaturas médias do estado, abaixo de 15°C.

Conforme a Tabela 14, as zonas aptas ao cultivo de sequeiro de *Jatropha curcas* L. no estado de Minas Gerais representam 33,91% da área do estado. As áreas marginais por deficiência térmica representam 32,61% e as marginais por deficiência hídrica 32,14%. As zonas inaptas, marginais por excedente hídrico e deficiência térmica e hídrica representam menos de 2% da área total do estado.

Tabela 14 – Classes de aptidão agroclimática para *Jatropha curcas* L. no estado de Minas Gerais

Classe	Área km²	%
Apta	198.935,58	33,9175
Marginal por deficiência hídrica	188.513,38	32,1405
Marginal por deficiência térmica e hídrica	5,15	0,0009
Marginal por deficiência térmica	191.299,55	32,6156
Marginal por excedente hídrico	6.347,06	1,0821
Inapta	1.427,57	0,2434
Total	586.528,29	100,00

A Figura 49 apresenta a comparação entre as porcentagens de áreas para cada condições de aptidão para o cultivo da jatropha nos três blocos analisados. O bloco dos estados de Goiás e Tocantins apresenta a maior porcentagem de áreas aptas ao cultivo de sequeiro da jatropha, seguido pelo estado de Minas Gerais. O estado de Minas Gerais tem a menor porcentagem de áreas inaptas, seguido pelos estados de GO e TO. Finalmente, a região Nordeste é a que apresenta as maiores áreas em situação marginal por deficiência hídrica, seguido pelo estado de Minas Gerais.

Figura 48 – Zoneamento agroclimático para o cultivo da *Jatropha curcas* L. no estado de Minas Gerais

Figura 49 – Comparação da porcentagem de áreas para cada condição de aptidão do zoneamento agroclimático de *Jatropha curcas* L. para os blocos da região Nordeste, dos estados de Goiás e Tocantins e do estado de Minas Gerais

4.5 Risco climático para o cultivo de *Jatropha curcas* L. – Estudo de caso

Para a avaliação do risco climático para o cultivo da jatropha foi selecionado o estado do Tocantins, como estudo de caso. Para tanto, procedeu-se as análises dos balanços hídricos normais e seqüenciais das localidades disponíveis.

4.5.1 Balanço Hídrico Seqüencial (BHSeqüencial)

O balanço hídrico seqüencial foi elaborado para 26 localidades do estado de Tocantins. A Tabela 15 apresenta as localidades e os valores de DEF e EXC obtidos pelos balanços hídricos normal e seqüencial. Observa-se que tanto os valores de DEF_n como de EXC_n são menores, respectivamente, do que DEF_m e EXC_m, sendo essa diferença maior para a DEF do que para o EXC. Como exemplo, se pode citar a localidade de Goiatins, onde a DEF_m é 298,9 mm ou 72,8% maior que a DEF_n, enquanto que o EXC_m é 116,8 mm ou 21,4% maior que EXC_n.

Tabela 15 – Coordenadas geográficas, altitude e valores das deficiências hídricas e dos excedentes hídricos provenientes dos balanços hídricos normal e sequencial para 26 municípios do estado de Tocantins

Município	Lat	Long	Alt	Normal		Sequencial	
	(Graus e décimos)		(m)	DEF (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Almas	-11,5789	-47,1739	427	353,3	547,4	660,5	640,3
Alvorada	-12,4808	-49,1242	298	349,6	491,8	670,0	581,4
Ananás	-6,3639	-48,0714	202	331,7	480,7	703,8	612,0
Araguaçu	-7,6550	-49,0647	216	282,8	623,4	596,4	767,1
Araguatins	-5,6483	-48,2078	137	390,5	542,1	751,0	647,3
Campos Lindos	-7,8597	-47,8619	186	388,6	450,1	711,5	514,1
Caseara	-9,2700	-49,9589	175	313,6	606,0	625,0	694,1
Conceição do Tocantins	-12,2325	-47,3244	417	420,2	358,3	710,0	492,8
Dianópolis	-11,6252	-46,8106	681	270,9	577,5	580,3	686,0
Dois Irmãos do Tocantins	-9,9606	-47,6747	216	344,7	508,9	680,8	643,0
Fátima	-10,7636	-48,9022	358	308,6	902,2	602,2	929,4
Goiatins	-10,7508	-47,5361	316	410,6	545,3	709,5	662,1
Gurupi	-8,3981	-48,1303	200	343,2	608,2	657,3	698,2
Itacajá	-9,4575	-47,3269	332	332,4	646,4	664,1	750,2
Itaguatins	-5,2583	-48,2008	112	431,3	649,6	761,3	726,8
Lizarda	-6,6717	-48,4697	154	302,9	648,6	659,1	736,1
Miracema do Tocantins	-9,5642	-48,3875	196	350,0	632,2	666,1	694,3
Natividade	-11,6969	-47,7283	313	354,0	606,7	666,9	711,0
Palmas	-10,3133	-48,1594	408	291,7	796,1	603,5	836,5
Palmeirópolis	-13,0419	-48,4069	438	346,9	634,2	640,1	721,1
Paraíso do Tocantins	-10,1653	-48,8906	392	271,8	1010,6	564,4	1108,2
Peixe	-12,3878	-48,7114	250	431,1	389,7	721,4	495,6
Ponte Alta do Bom Jesus	-12,0908	-46,4794	519	281,2	1190,4	595,3	1280,1
Porto Alegre do Tocantins	-11,6125	-47,045	373	332,9	588,5	636,8	666,7
Tocantinópolis	-6,2872	-47,3919	148	458,9	373,1	774,0	478,9
Xambioá	-6,4131	-48,5356	135	328,9	489,3	676,1	603,2

4.5.2 Estabelecimento dos critérios de aptidão para a análise do risco climático para o cultivo da *Jatropha curcas* L.

Os valores dos critérios do zoneamento agroclimático, relativos aos valores de DEF e EXC, foram corrigidos a partir das relações entre os valores normais (DEFn e EXCn),

obtidos com o balanço hídrico normal, e os valores médios (DEFm e EXCm), obtidos com os resultados do balanço hídrico seqüencial, com dados de séries históricas superiores a 20 anos. Os resultados dessas relações são apresentados na Figura 50. Para a DEF, a relação entre DEFn e DEFm resultou em um $R^2 = 0,84$, enquanto que para a relação entre EXCn e EXCm o coeficiente de determinação foi de 0,98. Isso mostra que a DEFm e o EXCm podem ser estimados a partir dos valores normais. As regressões obtidas mostram que DEFm e EXCm são normalmente maiores do que os valores normais dessas variáveis (Figura 50).

Figura 50 – Relação entre (a) déficit hídrico normal (DEFn) e déficit hídrico médio (DEFm) e (b) excedente hídrico normal (EXCn) e excedente hídrico médio (EXCm) para 26 localidades do estado do Tocantins

A partir das equações apresentadas na Figura 50 foram obtidos os valores de DEFm e EXCm correspondentes aos valores de DEFn e EXCn adotados como limiares para as condições de aptidão e marginalidade, ou seja, DEFn = 360 mm (limiar entre apto e marginal) e DEFn = 720 mm (limiar entre marginal e inapto) e EXCn = 1200 mm (limiar entre apto e marginal) e 2400 mm (limiar entre marginal e inapto). Os valores de DEFm e EXCm correspondentes aos valores mencionados acima são apresentados na Tabela 16, sendo que para a DEFm os limiares passaram a ser iguais a 447 mm e 816 mm e para o EXCm iguais a 1289 mm e 2471 mm. Esses novos valores foram empregados na determinação da aptidão agroclimática para o cultivo da jatropha a cada ano das séries históricas analisadas.

Tabela 16 – Valores de DEFm e EXCm correspondentes aos de DEFn e EXCn para os limiares de aptidão e marginalidade no zoneamento de risco agroclimático para a cultura da *Jatropha curcas* L.

Classe	DEFn	DEFm	EXCn	EXCm
	(mm)			
Apto	360	447	1200	1289
Marginal	720	816	2400	2471

Para o estudo de caso, foram selecionadas seis localidades, sendo três consideradas aptas e três marginais, de acordo com o zoneamento agroclimático. A essas localidades foram aplicados os novos critérios para definição do grau de aptidão para cada ano da série, sendo então determinada a porcentagem de anos aptos, marginais e inaptos e posteriormente calculado o índice de risco climático.

4.5.3 Seleção das localidades e Cálculo do Índice de Risco Climático (IR_{Clima})

A Tabela 17 apresenta condições de aptidão de cada ano da série histórica de 30 anos para as localidades classificadas como aptas pelo zoneamento agroclimático. Enquanto a Tabela 18 apresenta as condições de aptidão de cada ano para as localidades classificadas como marginais.

As localidades classificadas como aptas pelo zoneamento agroclimático normal, Aurora do Tocantins e Porto Alegre do Tocantins apresentaram entre os anos de 1978 e 2007, 22 anos aptos e 8 anos marginais, enquanto que em Dianópolis houveram 28 anos aptos e 2 marginais, quando aplicados os critérios de DEF e EXC ajustados. Para as localidades classificadas como marginais, Cariri do Tocantins apresentou 14 anos aptos e 16 marginais, ao passo que em Campos Lindos houveram 7 anos aptos e 17 marginais e em Lizarda 13 anos aptos e 17 marginais.

Os resultados obtidos com a análise de risco climático possibilitaram classificar os municípios estudados em classe de risco para o cultivo da *Jatropha curcas* L., considerando-se a variabilidade climática inter-anual. A Tabela 19 apresenta os resultados das análises pontuais. Das seis localidades analisadas, todas aquelas classificadas como aptas pelo zoneamento agroclimático apresentaram risco “muito baixo”. Isso se deveu ao fato de que todas elas tiveram alta porcentagem de anos aptos

(%AA), acima de 73%. Nas localidades classificadas como marginais pelo zoneamento agroclimático, todas foram classificadas como de risco “baixo” a “moderado”. Nessas localidades houve uma predominância da porcentagem de anos marginais (%AM), porém, com certa ocorrência de anos aptos, entre 29 e 47%. Isso indica que mesmo nessas áreas a cultura da *jatropha* poderá ser indicada, porém com expectativas de menores níveis de produtividade, especialmente nos anos classificados como marginais.

Tabela 17 – Aptidão agroclimática para cada ano nas localidades de Aurora do Tocantins, Dianópolis e Porto Alegre do Tocantins, no Estado do Tocantins

Ano	Aurora do Tocantins					Dianópolis					Pto Alegre do Tocantins				
	DEFm	EXCm	Aptidão Anual			DEFm	EXCm	Aptidão Anual			DEFm	EXCm	Aptidão Anual		
	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final
1978	662	805	A	A	A	456	819	A	A	A	611	467	A	A	A
1979	358	1087	A	A	A	463	638	A	A	A	531	914	A	A	A
1980	654	1227	A	A	A	509	1113	A	A	A	571	790	A	A	A
1981	769	842	M	A	M	674	882	A	A	A	621	1014	A	A	A
1982	542	543	A	A	A	582	846	A	A	A	616	751	A	A	A
1983	779	605	M	A	M	630	387	A	A	A	669	419	A	A	A
1984	595	660	A	A	A	652	934	A	A	A	732	635	M	A	M
1985	503	1732	A	M	M	584	192	A	A	A	571	317	A	A	A
1986	673	564	A	A	A	455	1101	A	A	A	588	904	A	A	A
1987	593	1522	A	M	M	526	456	A	A	A	614	699	A	A	A
1988	628	722	A	A	A	645	738	A	A	A	627	1065	A	A	A
1989	517	940	A	A	A	663	415	A	A	A	662	711	A	A	A
1990	666	380	A	A	A	588	682	A	A	A	618	688	A	A	A
1991	579	923	A	A	A	605	493	A	A	A	699	451	M	A	M
1992	723	1739	M	M	M	578	723	A	A	A	647	490	A	A	A
1993	515	1162	A	A	A	655	1374	A	M	M	751	1156	M	A	M
1994	672	745	A	A	A	660	116	A	A	A	587	66	A	A	A
1995	633	764	A	A	A	663	701	A	A	A	775	667	M	A	A
1996	623	530	A	A	A	492	868	A	A	A	529	735	A	A	A
1997	768	623	M	A	M	500	616	A	A	A	622	457	A	A	A
1998	767	494	M	A	M	527	574	A	A	A	679	696	M	A	M
1999	686	726	M	A	M	604	662	A	A	A	760	523	M	A	M
2000	591	886	A	A	A	631	757	A	A	A	625	828	A	A	A
2001	529	768	A	A	A	639	962	A	A	A	572	848	A	A	A
2002	618	877	A	A	A	501	333	A	A	A	555	339	A	A	A
2003	644	781	A	A	A	620	554	A	A	A	696	272	M	A	M
2004	631	775	A	A	A	538	699	A	A	A	645	675	A	A	A
2005	571	655	A	A	A	611	633	A	A	A	707	927	M	A	M
2006	562	1166	A	A	A	743	771	M	A	M	714	886	M	A	M
2007	652	586	A	A	A	413	538	A	A	A	509	609	A	A	A

Tabela 18 - Aptidão agroclimática para cada ano nas localidades de Cariri do Tocantins, Campos Lindos e Lizarda, no Estado do Tocantins

Ano	Cariri do Tocantins					Campos Lindos					Lizarda				
	DEFm	EXCm	Aptidão Anual			DEFm	EXCm	Aptidão Anual			DEFm	EXCm	Aptidão Anual		
	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final	(mm ano ⁻¹)		DEF	EXC	Final
1978	597	1111	A	A	A						871	320	M	A	M
1979	618	897	A	A	A						641	576	A	A	A
1980	822	1186	M	A	M						665	713	A	A	A
1981	701	530	M	A	M						768	555	M	A	M
1982	625	619	A	A	A						664	844	A	A	A
1983	638	1010	A	A	A						784	455	M	A	M
1984	624	306	A	A	A	569	397	A	A	A	621	529	A	A	A
1985	603	1079	A	A	A	565	1412	A	M	M	443	1397	A	M	M
1986	623	570	A	A	A	663	649	A	A	A	610	747	A	A	A
1987	708	1082	M	A	M	765	373	M	A	M	723	553	M	A	M
1988	612	957	A	A	A	664	491	A	A	A	604	787	A	A	A
1989	524	1167	A	A	A	651	466	A	A	A	260	1276	A	M	M
1990	746	192	M	A	M	860	272	M	A	M	712	329	M	A	M
1991	700	359	M	A	M	931	222	M	A	M	756	553	M	A	M
1992	603	679	A	A	A	614	261	A	A	A	566	515	A	A	A
1993	656	542	A	A	A	725	121	M	A	M	698	269	M	A	M
1994	742	510	M	A	M	707	944	M	A	M	716	843	M	A	M
1995	656	732	A	A	A	708	383	M	A	M	747	1296	M	M	M
1996	666	499	A	A	A	764	436	M	A	M	664	1775	A	M	A
1997	689	753	M	A	M	753	889	M	A	M	713	1117	M	A	M
1998	890	311	M	A	M	820	374	M	A	M	729	252	M	A	M
1999	822	171	M	A	M	687	645	M	A	M	602	478	A	A	A
2000	683	476	M	A	M	695	553	M	A	M	616	727	A	A	A
2001	780	295	M	A	M	665	180	A	A	A	640	566	A	A	A
2002	717	429	M	A	M	685	313	M	A	M	683	427	M	A	M
2003	887	297	M	A	M	797	379	M	A	M	679	600	M	A	M
2004	712	783	M	A	M	704	574	M	A	M	681	1021	M	A	M
2005	698	993	M	A	M	773	712	M	A	M	666	732	A	A	A
2006	610	529	A	A	A	554	708	A	A	A	547	1255	A	A	A
2007	813	478	M	A	M	757	585	M	A	M	704	576	M	A	M

Tabela 19 – Porcentagem de anos aptos (%AA), marginais (%AM) e inaptos (%AI) e índice de risco climático (IR_{Clima}) para o cultivo da *Jatropha curcas* L. para seis localidades do estado do Tocantins

Locais	Classe	%AA	%AM	%AI	IR_{Clima}	Classificação IR_{Clima}
Aurora do Tocantins	Apto	73,3	26,7	0,0	4,2	Muito Baixo
Dianópolis		93,3	6,7	0,0	4,8	Muito Baixo
Pto Alegre do Tocantins		73,3	26,7	0,0	4,2	Muito Baixo
Campos Lindos	Marginal	29,2	70,8	0,0	2,9	Moderado
Cariri do Tocantins		46,7	53,3	0,0	3,4	Baixo
Lizarda		43,3	56,7	0,0	3,3	Baixo

Os resultados apresentados neste estudo de caso mostram uma nova forma de se avaliar a aptidão de áreas para culturas perenes e semi-perenes, como a jatropha, permitindo aos usuários dessa informação ter mais detalhes a respeito das chances de sucesso da cultura em diferentes regiões. Além disso, mostra também, que o zoneamento agroclimático, apesar de empregar apenas dados normais, indica com confiabilidade as zonas de maior favorabilidade para cultivo da jatropha nas diferentes regiões.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitiram concluir que:

- a) a partir da caracterização agroclimática do Centro de Origem da *jatropha*, no México e na Guatemala, foi possível se estabelecer as variáveis e os critérios para o zoneamento da cultura. Dentre as variáveis agroclimáticas, as mais importantes para definir a aptidão da *jatropha* foram: temperatura média anual; deficiência hídrica e excedente hídrico;
- b) os critérios definidos para que a cultura seja apta foram: temperatura média anual entre 23,0 e 27,0°C; deficiência hídrica menor que 360 mm e excedente hídrico menor que 1200 mm;
- c) a região selecionada contém áreas onde a *jatropha* apresenta-se apta, marginal por deficiência hídrica, marginal por deficiência térmica, marginal por excedente hídrico, marginal por deficiência térmica e hídrica e marginal por deficiência hídrica e excedente térmico, marginal por excesso térmico e inapta, sendo que as zonas aptas predominaram na região NE, com 33,92% da área, e nos estados de GO e TO, com 47,78% da área. No estado de MG, o predomínio foi de zonas marginais por deficiência hídrica. Essas informações contrastam com a divulgação que é feita sobre a cultura a respeito de seu potencial para cultivo em todo o país, especialmente em áreas semi-áridas, como o nordeste brasileiro, onde seria amplamente apta;
- d) a análise de risco climático é uma ferramenta que fornece mais detalhes a respeito da aptidão de uma região para o cultivo da *jatropha*, indicando as chances de sucesso da cultura ao longo de uma série de anos. Apesar disso, esse tipo de análise permitiu também confirmar que o zoneamento agroclimático para *jatropha*, mesmo empregando dados normais, foi viável para estabelecer as áreas de maior favorabilidade ao cultivo dessa espécie, já que as localidades aptas apresentaram risco climático muito baixo, enquanto que as marginais tiveram riscos de moderado a baixo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE PINHÃO MANSO. **Boletim informativo**, Disponível em:<<http://www.abppm.com.br/>>. Acesso em: 29 set. 2010.

AB'SÁBER, A.N. Problemática **da desertificação e da savanização no brasil intertropical**. São Paulo:IGEOG, USP, 1977. 1v. (Geomorfologia, 53.)

ACOSTA, V.H. **Classificação ecológica do território brasileiro situado ao sul do paralelo 24° S - uma abordagem climática**. Viçosa: UFV, 1997. 86 p. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

ALFONSI, R.R.; PEDRO JÚNIOR.,M.J.; CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O.; CHIAVEGATTO, O.M.D.P. Zoneamento agroclimático e probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão no Estado de São Paulo. **Boletim Científico do IAC**, Campinas, v.37, n.1, p.1-37, 1995.

AMBIENTE BRASIL. **Pinhão manso: *Jatropha curcas***. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 21 ago. 2007.

ANDRADE, G.A. CARAMORI, P.H.; CAVIGLIONE, J.H.; OLIVEIRA, D.; RIBEIRO, A.M.A Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas*) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.5, n.2, p.178-183, 2007.

ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A.; SILVA, F.A.M da; CUNHA, S.A.R. da; ALVES, E.R.; LOPES, T.S.S.; PINTO, H.S.; ZULLO JR., J. Zoneamento agroclimático para a cultura do café (*Coffea arábica* L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 510-518, 2001.

ASTOLPHO, F. **Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas à agricultura paulista**. 2003. 99 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônômico de Campinas , Campinas, 2003.

BASTOS T.X.; MÜLLER, A.A.; PACHECO, N.A.; SAMPAIO, M.N.; ASSAD, E.D.; MARQUES, A.F.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 510-518, 2001.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

BICUDO, T.C.; FREIRE, L.M.S.; ALBUQUERQUE, A.R.; DANTAS, M.B.; VASCONCELOS, A.F.F.; ROSENHAIM, R.; SANTOS, I.M.G.; SOUZA, A.G. Estabilidade e tempo de indução oxidativa do óleo de pinhão manso para produção de biodiesel. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: ABIPTI/SETEC-MCT, 2007. p.23-57.

BRAGA JÚNIOR.; B.P.F.; CONEJO, J.G.L.; PALOS,J.C.F. **Balanço hídrico do Estado de São Paulo**. Montevideo: Unesco 1991. 87 p.

BRAGA, H.J.; SILVA JR., V.P.; PANDOLFO, C.; PEREIRA, E.S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura da maçã no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 439-445, 2001

BRASIL EM RELEVO. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005-2006. Imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Resolução 90 m. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>>. Acesso em 14jan.2010.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília, 1985. 364 p.

BRUNINI, O. ZULLO JÚNIOR, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E,D.; SAWAZAKI, E.; DUARTE,A.P.; PATTERNIANI, E.Z. **Riscos climáticos para a cultura do milho no estado de São Paulo**. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 519-528, 2001.

CÂMARA, N.G. CASANOVA, M.A.; HERMELY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B **Anatomia de sistemas de informações geográficas**. IV Escola de Computação de Campinas: UNICAMP, 1996. 193 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS J.S. de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de Informações Geográficas**. Aplicações na Agricultura, Brasília: EMBRAPA- CPA, 1998. p. 1-11.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, n.21, p.163-213, 1962.

CAMARGO, A.P. PINTO, H.S.; PEDRO JUNIOR., M.J. Aptidão climática de culturas agrícolas. São Paulo: Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo, São Paulo, **CATI**, Campinas, v. 1, p 109-149, 1974.

CAMARGO, E.C.G. **Desenvolvimento, implementação e testes de procedimentos geoestatísticos (Krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (Spring)**. São José dos Campos, 1997. 106 p. Dissertação (Mestrado em geoestatística) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Instituto acional de pesquisas Espaciais, 1997.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro. 2003**. Disponível em: <www.ufmg.br/boletim/bul1413>. Acesso em: 19 ago. 2007.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. p. 588

CASTRO, F.S.; **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinus no Estado do Espírito Santo**. 2008. 123 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

CONTI, J.B. A questão climática no nordeste brasileiro e os processos de desertificação. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 1, n. 1, 2005. Disponível em: <[www.fflch.usp.br/abclima.publicacoes.html](http://www.fflch.usp.br/abclima/publicacoes.html)>. Acesso em: 19 ago. 2007.

CARAMORI, P.H. Zoneamento de riscos climáticos e definição de datas de semeadura para o feijão no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p.477-485, 2001.

CECÍLIO, R.A. Zoneamento climático associado ao potencial de cultivo das culturas de café, cana de açúcar e amendoim nas sub-bacias do alto e médio São Francisco em Minas Gerais. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 2003. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003 p.39-45.

COELHO, D. SEDIYAMA, G.; VIEIRA, M. Estimativa das temperaturas médias mensais e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 20, p. 455-459, 1973.

CORDERO, J.; BOSHIER, D.H. **Árboles de Centro-America**. Turrialba: CATIE, p. 621-624, 2004. Disponível em<www.herbaria.plants.ox.ac.uk/ad>. Acesso em 14 ago. 2007.

CORRÊA. M.P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, v.3, 1952. 646 p.

CORTESÃO, M. **culturas tropicais. Plantas oleaginosas, coqueiro, rícino, purgueira e aleurites**. Lisboa: Livraria Clássica Editora, 1957. p. 163-180.

CUNHA, G.R.; ASSAD, E.D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 377-385, 2001.

DIAS, L.A.S. LEME, L. P.; LAVIOLA, B.G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O.L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.E.; SANTOS, A.S.; SOUSA, L C.A.; OLIVEIRA, T.S.; DIAS, D.C.F.S **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, v.1. 2007. 40 p.

DRUMMOND, O.A. PURCINO, A.A.C.; CUNHA, L.H.S.; VELOSO, J.M **Cultura do pinhão manso**. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, EPAMIG, Janaúba, n.131, 1984.

DRUMOND, M.A. SANTOS, C.A.F.; OLIVEIRA, V.R. de; ANJOS, J.B. dos; EVANGELISTA, M.R.V Desempenho agrônômico de genótipos de pinhão manso **irrigado** no Semiárido pernambucano aos 12 e 24 meses de idade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA EM PINHÃO MANSO, 1., 2009, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2009.

DUKE, J.A. **Handbook of energy crops.1983**. Não publicado. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Jatropha_curcas.html>. Acesso em: 14 abr.2008.

DURÃES, F.O.M. Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em pinhão manso para produção de biocombustíveis. **Documentos Embrapa Agroenergia**, Brasília.2009. 29 p.

EMPRESA BAIANA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA. **Informações técnicas para o cultivo do pinhão manso no Estado da Bahia**, Salvador, 2009. 1v.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pinhão Manso**: Matéria-prima potencial para produção de biodiesel no Brasil. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpae.embrapa.br/artigos-de-divulgacao/pinhao-manso-materia-prima-potencial-para-producao-de-biodiesel-no-brasil.pdf/view>>. Acesso em:1 de maio 2010.

FAOCLIM2. **A Compilation of Monthly Word-Wide Agriclimatic Data. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**. Rome. Disponível em: <<http://freegeographytools.com/2007/fao-world-climate-data>>. Acesso em 19 ago. 2008.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 415-422, 2001.

FEITOZA, L.R. SCÁRDUA, J.A.; SEDIYAMA, G.C.; OLIVEIRA, L.M.; VALLE, S.S. Estimativas das temperaturas médias mensal e anual do Estado do Espírito Santo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 9, p. 279-291, jul, 1979.

FERRARI, R. A.; CASARINI, M.B.; MARQUES, D.A.; SIQUEIRA, W.J Avaliação da composição química e de constituinte tóxico em acessos de pinhão manso de diferentes origens. *Brazil Journal Food Technology*, Campinas, v. 12, n. 4, p. 309-314, 2009.

FERREIRA, C.C.M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos, em Minas Gerais**. 1997. 158 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

FERREIRA, W.P.M.; VALLADARES, G.S.; HOTT, M.C. **Estimativa da temperatura média mensal do a para os estados de Minas Gerais e do Pará, utilizando-se modelos digitais de elevação. Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.4, p. 293-303, 2006.

GHERARDI, B.; DOURADO NETO, D. SENTELHAS, P.C. Caracterização espacial e temporal da temperatura média do ar, em escala diária e mensal, no Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.16, n.2, p.133-141, 2008.

GONÇALVES, M.B.; SENTELHAS, P.C. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso no estado da Bahia, objetivando a produção de biocombustível**. Brasília 2008. p. 121-140. (Prêmio Mercosul de Ciência e Tecnologia).

HELLER, J. **Physic nut: *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected**. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatterleben / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1992. 66 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#geociencias>. Acesso em; 10 mar. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas** 1961-1990 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 1992. 1v.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA Y HIDROLOGIA – INSIVUMEH. Disponível em: <<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTADISTICAS.htm>>. Acesso em 10 mar. 2009.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 02, 20 pp. 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 12 abril 2010.

LANDIM, P.M.B; STURARO, J.R. **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 06, 19 p. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 12 abril 2010.

LIANG, Y. CHEN, H.; TANG, M.J.; YANG, P.F.; SHEN, S.H. Responses of Jatropha curcas seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, n. 131, p. 508–517, 2007.

MARQUINEZ J. LASTRA, J. GARCÍA, P. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. **Journal of Hidrology**, v.1, p. -11, 2003.

MARQUES, D.A. **Pinhão manso para produção de biodiesel: um promissor negócio ou um grande desastre**, 2007. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 de mar. 2009.

MARTINS, J.C. Experiência com pinhão manso no submédio do São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4., ; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2009.

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

OLIVEIRA NETO, S.N.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J.M.N. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, Viosa, v.10, n.1-4, p.57-61, 2002.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 435 p.

PEDRO JR. M. Estimativas das temperaturas médias mensais, das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo, **Boletim Técnico IAC**, Campinas, n.142, p.1-11, 1991.

PEIXOTO, A.R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 282p.

PENHA, M.N.C.; SILVA, M.D.P.; MENDONÇA, K.K.M.; BRANDÃO, K.S.R.; MACIEAL, A.D.P.; SILVA, F.C. Extração e caracterização físico-química do óleo de pinhão manso (*Jatropha curcas*). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 60., 2008. Campinas - SP. **Resumos...** São Paulo: SBPC, 2008 1 CD-ROM.

PEREIRA, A.R.; ANGELLOCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

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

PILAU, F.G.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.P.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; BARBARISI, B.F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, p.23, 2007.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. Estimativa das temperaturas médias mensais do estado de São Paulo, em função da altitude e latitude. São Paulo, Caderno de Ciências da Terra, 1972. 1v.

PINTO, H.S.; ALFONSI, R.R. Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais no estado do Paraná, em função da altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, n.52, p. 29, 1974.

RANGEL, S. **Experiência de Cuba sobre a cultura do pinhão manso**. In: Potencial do pinhão manso para o Programa Nacional do Biodiesel. Fundação de Estudos e Pesquisas em Administração e Desenvolvimento – FEPAD. Disponível em: <http://www.fepad.org.br/novosite/%5Fdinamico/?link=seminario>. Acesso em: 22 ago. 2007.

RODRÍGUEZ-LADO, L.; SPAVOREK, G.; VIDAL-TORRADO, P.; DOURADO NETO, D.; MACIAS-VÁZQUEZ, F. Modelling air temperature for the state of São Paulo. Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.5, p.460-467, 2007.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6. p. 133-137, 1998.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C. **Balanço hídrico normal por Thornthwaite & Mather** (1955). Departamento de Ciências Exatas, Área de Física e Meteorologia, ESALQ/USP. V.6.1, 2005. Disponível em: <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/lce306.html>. Acesso em: 03 mar. 2009.

SATURNINO, H.M. PACHECO, D.D.; KAHIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). In: Produção de oleaginosas para biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n.229, p.44-78, 2005.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Rev. Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p.57-61, 1998.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 501-509, 2001.

SILVA, C.S.; ASSAD, E.D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p. 536-543, 2001.

SILVA, A.F.S. **Pinhão manso: *Jatropha curcas***. Centro de apoio ao desenvolvimento tecnológico CDT/UnB Campus UnB-Faculdade de Tecnologia. Disponível em: <http://www.cdt.unb.br>. Acesso em: 21 ago. 2007.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL – SMN. Normales climatológicas. Disponível em: <<http://smn.cna.gob.mx/>>

SOUZA FILHO, C.R. O relevo das Américas como nunca antes visto. **Infogeo**, Curitiba, n. 30, p. 54-58, 2003.

THORNTHWAITE, C.W. **An approach toward a rational classification of climate**. *Geogr. Review*, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Nova Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.104 p.

TOLEDO J.L.; MARTINS, L.D.; KLIPPEL, V.H.; PEZZOPANE, J.E.MACEDO; TOMAZ, M.A.; AMARAL, J.F.T. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e da mamona (*Ricinus communis* L.) no estado do Espírito Santo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v.5, p. 41-45, 2009.

TOMINAGA, N. **Cálculo de produtividade de pinhão manso**, 2006. (não publicado)

VALERIANO, M.M.; PICINI, A.G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.

VAREJÃO-SILVA, M.A.; BARROS, A.H.C. **Zoneamento de aptidão do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos**. Recife, 2001. Disponível em: <<http://itep.br/meteorologia/lamaepe/zoneamento>>. Acesso em: 27 ago. 2007.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F. de; ALVARES V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, v. 1, p. 1-54, 2000.

WALDHEIM, P.V.; CARVALHO, V. S. B.; CORREA, RE.; FRANÇA, J. R. de A. Zoneamento climático da cana de açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v.29, n. 2,p. 28-41, 2006.

XAVIER, A.C.; CECÍLIO, R.A.; LIMA,J.S.S. Módulo em matlab para interpolação espacial pelo método de krigagem ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira Cartografia**, v.62, n.01, p.67-76, 2010.

ANEXOS

Tabela 8 - Coordenadas geográficas, latitude e dados das estações climatológicas do Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. e do BHC Normal

(continua)

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Ta °C	P mm	ETP mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	T+frio °C	Série anos
CATARINITAS	15,90	92,48	650	25	1556,9	1399,52	954,65	444,87	602,25	23,70	1971- 2009
EL PROGRESO	17,05	93,31	170	24	1569,3	1301,03	1224,6 5	76,38	344,65	22,40	1971- 2009
LA LIBERTAD	16,56	93,66	520	24	975,40	1258,92	800,34	458,58	175,06	21,80	1971- 2009
LA PROVIDENCIA	16,52	93,96	670	25	743,4	1345,34	743,40	601,94	0,00	22,80	1971- 2009
LA UNION	16,67	93,80	580	23	614,3	1173,30	614,37	558,93	0,00	21,10	1971- 2009
LAS PEÑITAS	17,40	93,45	95	26	3319,3 0	1298,33	1283,3 0	15,04	2036,0 0	22,60	1971- 2009
LUIS ESPINOSA	17,15	93,42	400	26	2119,1	1308,93	1243,2 6	65,67	875,84	22,70	1971- 2009
MALPASO II, PLATANAR DE ARRIBA	17,21 17,58	93,58 93,39	398 39	27 26	2292,9 2896,0 0	1398,12 1291,30	1303,9 8 1220,5 3	94,15 70,77	988,92 1675,4 7	23,70 22,10	1971- 2009 1971- 2009
SANTA MARIA	16,94	93,82	200	25	1805,9	1262,18	1170,5 0	91,69	635,40	21,90	1971- 2009
VERTEDOR	17,22	93,73	199	25	2767,3	1234,27	1211,3 0	22,97	1556,0 0	21,70	1971- 2009
YAMONHO	17,12	93,33	280	24	1699,9 0	1256,56	1170,1 9	86,37	529,71	21,20	1971- 2009
BETHANIA CHICAPA DE CASTRO	17,97 16,58	96,03 94,80	300 35	26 27	2403,5 0 995,90 1919,6	1303,39 1404,66	1158,7 7 787,39 1104,3	144,62 108,88	1244,7 3 208,51	22,10 23,90	1971- 2009 1971- 2009
COFRADIA GUEVEA DE HUMBOLDT	16,75 16,79	94,75 95,37	345 600	24 24	1239,0 0 1690,9 0	1213,19 1269,91	1 852,73 1028,4 9	108,88 417,18	815,29 386,27 1387,6 6	20,50 21,70 23,40	1971- 2009 1971- 2009
MATIAS ROMERO	16,88	95,03	201	27	1193,9 0	1387,66	9	359,17	6	23,40	1971- 2009
NILTEPEC	16,56	94,61	50	29	1344,1 0	1796,03	847,69	948,34	346,21	26,90	1971- 2009
OSTUTA	16,50	94,44	35	28	2408,2 0	1581,62	890,08 1244,8	691,54	454,02 1163,3	25,70	1971- 2009
SAN JUAN SAN FELIPE	17,47	95,82	122	25	2123,0 0	1314,83	9 1131,3	69,94	1	22,40	1971- 2009
ZIHUALTEPEC SAN MIGUEL	17,45	95,38	35	25	1031,9 0	1270,76	5	139,40	991,65	21,20	1971- 2009
CHIMALAPA	16,71	94,75	280	23	0	1117,36	819,41	297,95	212,49	22,50	1971- 2009
STA. MA. CHILAPA	17,45	97,62	2304	27	995,90 1135,5 0	1404,66	787,39	617,27	208,51	16,10	1971- 2009
SANTIAGO CHIVELA	16,72	95,00	180	25	2956,5 0	1303,42	898,46 1245,0 4	404,96	237,04 1711,4 6	22,00	1971- 2009
ZAPOTE ADOLFO LOPEZ	17,73	95,92	60	26	1326,1 0	1318,82	1100,8 0	73,78	6	22,40	1971- 2009
MATEOS,JOSE AGUA	19,63	88,69	48	25	0	1202,10	0	101,29	225,30	21,70	1971- 2009
BLANCA,OTHON P. BLA	18,01	88,82	94	25	1354,5 0 1352,0	1322,75	1195,2 4 1081,3	127,51	159,26	22,30	1971- 2009
ALVARO OBREGON CHACCHOBEN	18,29	88,64	52	25	1527,3 0	1241,48	9 1163,6	160,10	270,61	21,90	1971- 2009
LAZARO CARDENAS	18,98	88,21	29	26	1327,4 0	1277,72	6 1195,3	114,06	363,64	22,90	1971- 2009
CHETUMAL CHETUMAL	18,50	88,33	26	27	1348,9 0	1398,58	9 1179,7	203,19	132,01	23,80	1971- 2009
TECNOLOGICO	18,52	88,30	17	26	0	1329,08	1	149,37	169,19	23,10	1971- 2009

Tabela 8 - Coordenadas geográficas, latitude e dados das estações climatológicas do Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. e do BHC Normal

(continuação)											
Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Ta °C	P mm	ETP mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	T+frio °C	Série anos
COBA,SOLIDARIDA					1196,7		1042,2				1971-
D	20,49	87,74	23	25	0	1156,06	7	113,79	154,43	21,70	2009
DZIUCHE,JOSE MA.					1189,5		1039,7				1971-
MORELOS	19,90	88,81	55	26	0	1289,23	0	249,53	149,80	23,10	2009
FELIPE CARRILLO					1385,7		1176,6				1971-
PUERTO,F	19,58	88,05	22	26	0	1328,45	5	151,80	209,05	23,30	2009
INIA-CAECHET,OTHON					1367,2		1153,6				1971-
P. BL	18,57	88,46	41	26	0	1301,55	6	147,89	213,54	23,00	2009
ISLA											
HOLBOX,LAZARO											1971-
CARDE	21,53	87,28	20	26	913,80	1404,19	913,80	490,39	0,00	24,90	2009
KANTUNILKIN,LAZA					1295,8		1214,6				1971-
RO CARDE	21,10	87,49	33	24	0	1339,29	0	124,68	81,20	21,00	2009
LA											
PRESUMIDA,JOSE					1383,8		1118,1				1971-
MA. MO	19,80	88,75	46	26	0	1297,54	7	179,37	265,63	22,50	2009
LEONA											
VICARIO,BENITO					1104,6		1057,1				1971-
JUA	20,99	87,20	22	25	0	1210,88	6	153,72	47,44	21,90	2009
					1542,8		1179,3				1971-
LIMONES	19,02	88,11	12	26	0	1301,77	0	122,47	363,50	23,10	2009
					1241,0		1088,4				1971-
LOS POZOS	18,55	88,48	20	26	0	1288,45	1	200,04	152,59	23,20	2009
					1250,8		1073,9				1971-
NICOLAS BRAVO	18,46	88,93	123	26	0	1294,60	1	220,69	176,89	23,30	2009
					1213,9		1091,0				1971-
PALMAS	19,23	88,12	20	25	0	1241,05	9	149,96	122,81	22,40	2009
PEDRO ANTONIO					1420,8		1228,8				1971-
SANTOS	18,95	88,16	30	26	0	1371,32	9	142,43	191,91	24,20	2009
					1392,6		1142,9				1971-
PUCTE	18,23	88,67	65	26	0	1327,02	6	184,06	249,64	22,90	2009
					1264,8		1186,3				1971-
PUERTO MORELOS	20,83	86,90	20	26	0	1270,48	7	84,11	78,43	22,90	2009
					1246,8		1100,0				1971-
SEÑOR	19,85	88,14	37	26	0	1302,76	6	202,71	146,74	24,00	2009
SERGIO BUTRON					1369,5		1091,9				1971-
CASAS	18,51	88,57	49	26	0	1311,16	7	219,19	277,53	23,30	2009
					1270,7		1067,0				1971-
SOLFERINO	21,35	87,43	23	25	0	1144,68	9	77,59	203,61	21,50	2009
					1092,8		1034,6				1971-
TAMPAK	19,57	88,70	100	25	0	1236,48	1	201,87	58,19	21,90	2009
					1209,9		1089,2				1971-
TIHOSUCO	20,19	88,37	62	26	0	1286,37	4	197,13	120,66	23,30	2009
					1150,3		1100,8				1971-
TULUM	20,23	87,46	25	26	0	1277,14	7	176,26	49,43	23,70	2009
					1101,0		1052,9				1971-
VALLEHERMOSO	19,19	88,52	48	26	0	1300,91	3	247,99	48,07	23,90	2009
					1365,8		1116,3				1971-
VICTORIA	20,79	87,28	32	25	0	1159,31	8	42,94	249,42	21,60	2009
					1046,2		1041,8				1971-
X-PICHIL	19,69	88,38	34	26	0	1341,81	0	300,00	4,40	23,60	2009
					1291,4		1002,8				1971-
CARDON	21,41	98,48	60	24	0	1091,38	2	88,56	288,58	18,00	2009
					2283,9		1011,5		1272,3		1971-
CATEMACO	18,42	95,12	254	23	0	1171,32	9	159,73	1	19,80	2009
					3382,4		1174,9		2207,4		1971-
CEDILLO	17,25	94,61	100	25	0	1211,26	2	36,34	8	20,90	2009
					1036,7						1971-
CHICAYAN	21,63	98,12	35	24	0	1079,87	911,62	168,25	125,08	17,60	2009
					2028,3		1086,9				1971-
CHINAMECA	18,04	94,66	40	26	0	1280,82	9	193,83	941,31	22,00	2009

Tabela 8 - Coordenadas geográficas, latitude e dados das estações climatológicas do Centro de Origem da *Jatropha curcas* L. e do BHC Normal

Estação	LAT (N)	LONG (W)	ALT (m)	Ta °C	P mm	ETP mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm	T+frio °C	(conclusão)
											Série anos
TRES ZAPOTES	18,47	95,44	140	25	2058,9 0	1297,56	1167,1 1	130,45	891,79	21,20	1971- 2009
VILLA AZUETA	18,08	95,70	14	27	1641,7 0	1367,07	1062,4 1	304,66	579,29	23,00	1971- 2009
SAN MARCOS	14,95	91,81	2420	14	1376,9 8	682,58	593,23	89,35	783,75	12,74	1990- 2008
CATARINA	14,86	92,08	233	27	3682,0 5	1526,48	1213,5 8	312,90	2468,4 7	25,40	1990- 2008
CAMANTULUL	14,33	91,05	280	26	3749,2 8	1461,05	1219,9 0	241,15	2529,3 8	24,74	1990- 2006
PORTO SAN JOSE	13,94	90,83	6	27	1664,0 3	1631,69	1037,0 0	594,69	627,03	25,98	1990- 2006
SABANA GRANDE	14,37	90,83	730	25	3131,2 7	1334,32	1070,6 4	263,69	2060,6 3	23,86	1990- 2008
LABOR OVALLE	14,87	91,51	2380	15	864,85 3015,1	702,54	569,28 1210,9	133,26	295,57 1804,1	12,96	1953- 1995
RETALHULEU	14,52	91,70	205	27	7 1298,7	1613,35	9 883,57	402,35	8 415,21	25,20	1990- 2008
AYUTLA (TECUN-U)	14,65	92,12	20	25	8 3741,2	1377,86	883,57	494,29	415,21 2843,5	23,84	1934- 1969
ACULTZINGO	14,72	91,63	1439	20	5 1216,0	932,72	897,72	35,00	4 19,44	19,44	1934- 1969
AEROPUERTO	14,90	90,52	1489	22	8 4727,5	1062,04	660,12 1188,4	401,92	555,96 3539,0	20,33	1931- 1985
ALABAMA-GRANDE	14,82	91,92	884	24	0 2867,4	1198,57	4 1142,6	10,14	6 1724,7	22,46	1934- 1970
FRANCISCO	14,48	91,18	810	24	7 4173,1	1272,66	9 1173,0	129,97	7 3000,1	23,59	1934- 1969
FRANCISCO-MI	14,65	91,77	760	24	8 2200,9	1260,74	3 1034,7	87,71	4 1166,2	23,64	1934- 1969
SANTA-MARIA	14,18	90,82	125	28	6 4595,1	1749,92	0 1212,7	715,21	6 3382,3	27,24	1934- 1980
SANTA-SOFIA	14,38	90,95	780	25	0 4052,9	1305,34	5 1166,4	92,59	5 2886,4	24,27	1932- 1963
CADELARIA-XOLHU	14,65	91,68	762	24	2 1274,85	1274,85	6 108,39	108,39	6 23,18	23,18	1935- 1951
LA FRAGUA	14,93	89,53	19	15	829,58	713,44	562,00	151,44	267,58	14,20	1971- 1985
CHAMPERICO	14,30	91,90	4	28	936,75 3189,8	1628,37	849,90 1173,1	778,47	86,85 2016,6	25,21	1935- 1951
COATEPEQUE	14,68	91,85	489	26	0 3762,4	1451,95	6 1202,8	278,79	4 2559,5	24,45	1934- 1971
DOLORES	14,63	91,70	639	25	1 1364,77	1364,77	5 161,92	161,92	6 23,77	23,77	1934- 1971
EL-POTRERO	14,50	90,75	1518	21	951,47 4088,0	945,35	630,95 1236,8	314,40	320,51 2851,1	19,96	1941- 1971
EL-TAMBOR	14,63	91,60	640	25	0 1293,8	1384,48	4 1020,39	147,64	6 634,18	24,14	1971- 1941
EL-ZAPOTE	14,67	90,48	1480	22	8 1198,6	1020,39	659,70	360,69	634,18	20,30	1971- 1933
FLORENCIA	14,55	90,67	1979	18	0 4273,1	813,75	583,99 1086,6	229,76	614,61 3186,4	17,55	1971- 1951
ROSARIO-BOLA-DE	14,67	91,70	910	23	6 1338,1	1173,89	8 1104,21	87,20	7 658,01	22,27	1971- 1945
VILLA-CANALES	14,47	90,52	1220	23	7 3269,4	1104,21	680,16 1029,6	424,05	658,01 2239,7	21,60	1971- 1936
LA-MOKA	14,75	91,75	1079	23	0 3818,4	1087,16	1 1220,4	57,54	8 2597,9	21,46	1996- 1935
LIRIA	14,62	91,70	620	25	2 3473,9	1377,85	3 1190,6	157,42	9 2283,3	23,84	1971- 1935
MONTEGRANDE	14,67	91,90	340	27	8 2626,6	1515,49	0 1118,1	324,89	8 1508,5	25,16	1971- 1954
LAS DELICIAS	14,62	91,62	640	25	6 1376,55	1376,55	4 258,41	258,41	2 24,01	24,01	1963