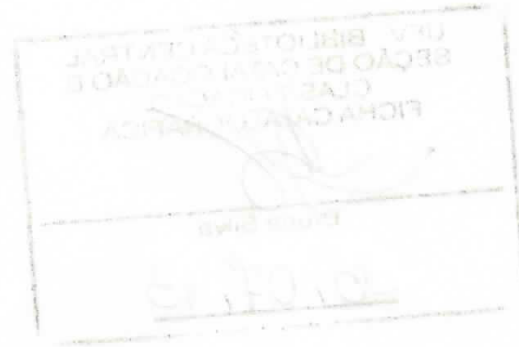


FLÁVIO BITTENCOURT

**FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA  
PRECIPITAÇÃO EFETIVA: ESTUDO DE CASO EM FAZENDAS  
DE ALGODÃO E SOJA DA REGIÃO OESTE DA BAHIA NAS  
SAFRAS 2008/09 E 2009/10**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2013



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

B624f  
2013

Bittencourt, Flávio, 1976-

Função de produção e espacialização da precipitação efetiva : estudo de caso em fazendas de algodão e soja da Região Oeste da Bahia nas safras 2008/09 e 2009/10 / Flávio Bittencourt. – Viçosa, MG, 2013.  
xiii, 103 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Everardo Chaturri Mantovani.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 93-103.

1. Irriplus (Software). 2. Produtividade. 3. Soja. 4. Algodão. 5. Precipitação (Meteorologia). I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

FLÁVIO BITTENCOURT

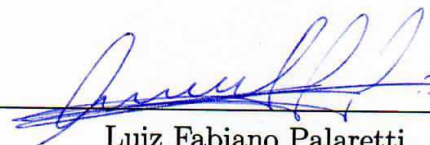
**FUNÇÃO DE PRODUÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DA  
PRECIPITAÇÃO EFETIVA: ESTUDO DE CASO EM FAZENDAS  
DE ALGODÃO E SOJA DA REGIÃO OESTE DA BAHIA NAS  
SAFRAS 2008/09 E 2009/10**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Doctor Scientiae*.

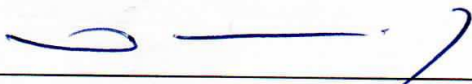
APROVADA: 29 de abril de 2013.



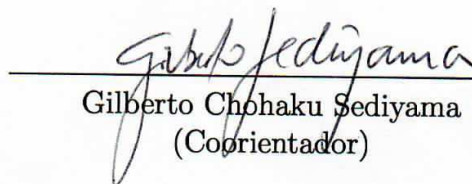
José Geraldo Ferreira da Silva



Luiz Fabiano Palaretti



Maurício Novaes Souza



Gilberto Chohaku Sedyama  
(Coorientador)



Everardo Chaturni Mantovani  
(Orientador)

Aos meus pais (*in memoriam*),  
Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados,  
Ao meu filho,  
À Adriana,  
Por serem meus maiores incentivadores,  
**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir que eu viesse neste momento para conhecer tantas pessoas e compartilhar com elas a minha felicidade, minhas decepções, meu crescimento e meu aprendizado.

Ao professor Everardo pela orientação, compreensão, companherismo e amizade.

Aos coorientadores pela orientação e confiança.

A todos do DEA-UFV, professores e funcionários, que fazem deste um departamento de referência.

À Adriana Dias, minha noiva, pela compreensão e incentivos.

Ao IFMG/Câmpus Bambuí, especialmente ao professor Flávio Godinho, por permitir que pudesse continuar os meus estudos.

À Capes pelo apoio financeiro.

Ao Rogerinho, professor do IFMG/Bambuí, pela atenção e organização dos documentos do programa DINTER.

Ao Gustavo Haddad pela recepção no GESAI, pelas dicas e amizade.

À IRRIGER pela cessão dos dados.

Ao Grupo MAEDA por permitir utilizar os seus dados.

Ao Hermes e Mauro da IRRIGER pela presteza e educação.

Ao grande amigo Toninho, pelas horas que estudamos juntos, pela ajuda no ArcGis e, principalmente pela boa vontade e amizade.

À Patrícia de Siqueira Ramos pelo *template* do  $\LaTeX$ .

À Elisângela Sudré pelos conselhos e apoio na terapia.

Aos colegas do GESAI pelo companherismo.

À minha irmã Sônia pela hospedagem, alimentação e bate-papo.

Aos anônimos da internet que disponibilizam suas experiências, principalmente em se tratando do  $\LaTeX$  e do programa R.

Aos criadores do programa R e seus colaboradores sempre dispostos a ajudar e a compartilhar os seus conhecimentos.

A todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS . . . . .	vi
LISTA DE FIGURAS . . . . .	vii
RESUMO . . . . .	viii
ABSTRACT . . . . .	x
1 INTRODUÇÃO . . . . .	1
2 OBJETIVOS . . . . .	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .	3
3.1 O Cerrado: área, histórico . . . . .	3
3.2 Região Oeste da Bahia . . . . .	7
3.3 São Desidério e Correntina . . . . .	15
3.4 Distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial do Oeste da Bahia . . . . .	17
3.5 Cultura da Soja . . . . .	27
3.6 Cultura do Algodão . . . . .	29
3.7 Função de produção . . . . .	32
3.8 IRRIPLUS® . . . . .	36
4 MATERIAL E MÉTODOS . . . . .	41
4.1 Material . . . . .	41
4.2 Métodos . . . . .	44
4.2.1 Regressão Múltipla . . . . .	44
4.2.2 Semivariograma e krigagem . . . . .	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .	63
5.1 Estudo das variáveis e modelos obtidos . . . . .	63
5.1.1 Cálculo das correlações múltiplas . . . . .	63
5.1.2 Cálculo do fator de inflação da variância e apresentação do possível modelo . . . . .	67
5.1.3 Busca do modelo de regressão múltipla, representação gráfica e análise dos resíduos . . . . .	69

5.1.4 Análise do balanço hídrico: comparação com os modelos de regressão obtidos . . . . .	74
5.2 Interpolação da precipitação efetiva . . . . .	85
6 CONCLUSÕES . . . . .	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .	93

## LISTA DE TABELAS

1	Estados brasileiros, porcentagens de cerrado e uso da terra, 2002 . . . . .	7
2	Características associadas às anomalias positivas e negativas da precipitação sobre o sul do nordeste . . . . .	21
3	Precipitação mensal e anual para o período 1997 a 2010, Oeste da Bahia . . . . .	26
4	Fator de inflação da variância ( <i>VIF</i> ) para as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla, segundo as culturas e safras . . . . .	68
5	Variáveis independentes candidatas que apresentaram fator de inflação da variância <i>VIF</i> menor que 5, segundo as culturas e safras . . . . .	68
6	Variáveis selecionadas para comporem o modelo, segundo método o <i>stepwise</i> . . . . .	69
7	Estimativas dos parâmetros dos modelos segundo culturas e safras . . . . .	69
8	Resultados dos testes estatísticos das pressuposições do modelo, Índice de Concordância de Willmott e Coeficiente de Determinação Ajustado . . . . .	74
9	Precipitação efetiva, em mm, segundo a safra e o mês . . . . .	85
10	Modelos de dependência espacial e estimativas dos parâmetros, segundo a safra e mês/ano . . . . .	87
11	Estatísticas dos erros padronizados para cada modelo de dependência espacial adotado . . . . .	88

## LISTA DE FIGURAS

1	Brasil e a área ocupada pelo cerrado . . . . .	4
2	Distribuição espacial do uso da terra do cerrado brasileiro . . . . .	6
3	Estado da Bahia . . . . .	10
4	Produção das principais culturas da Região Oeste da Bahia . . . . .	15
5	Zoneamento da distribuição espacial da precipitação no estado da Bahia . . . . .	22
6	Delimitação de áreas homogêneas quanto à precipitação pluvial . . . . .	23
7	Uma proposta de divisão da Bahia para efeito de previsão de tempo e clima . . . . .	24
8	Precipitação climatológica (mm) . . . . .	25
9	Estádios de desenvolvimento da soja . . . . .	28
10	Estádios de desenvolvimento do algodão . . . . .	31
11	Tela de saída do balanço hídrico fornecido pelo programa IRRIPLUS <sup>®</sup> , modelo geral . . . . .	40
12	Distribuição espacial dos pluviógrafos na área de estudo . . . . .	42
13	Modelo de semivariograma típico . . . . .	56
14	Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura do algodão na safra 2008/09 . . . . .	64
15	Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura do algodão na safra 2009/10 . . . . .	65
16	Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura da soja na safra 2008/09 . . . . .	66
17	Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura da soja na safra 2009/10 . . . . .	67
18	Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura do algodão na safra 2009/10 em duas perspectivas . . . . .	70
19	Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura da soja na safra 2008/09 em duas perspectivas . . . . .	71

20	Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura da soja na safra 2009/10 em duas perspectivas . . . . .	71
21	Gráficos dos resíduos dos modelos ajustados para análise das suas pressuposições . . . . .	73
22	Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: situação ótima . . . . .	75
23	Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: déficit hídrico no meio do terceiro estágio . . . . .	75
24	Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: déficit hídrico no início do terceiro estágio . . . . .	76
25	Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2009/10: situação ótima . . . . .	77
26	Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 200/10: déficit hídrico no quarto estágio . . . . .	77
27	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: situação ótima . . . . .	78
28	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no final do terceiro estágio . . . . .	79
29	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no quarto estágio . . . . .	79
30	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no início do terceiro estágio e no quarto estágio . . . . .	80
31	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no início e final do terceiro estágio e no quarto estágio . . . . .	80
32	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no final do terceiro estágio . . . . .	81
33	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no meio do terceiro estágio . . . . .	81
34	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: situação ótima . . . . .	82
35	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no final do terceiro estágio . . . . .	83
36	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no quarto estágio . . . . .	83
37	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no início do terceiro estágio e no quarto estágio . . . . .	84

38	Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no início e final do terceiro estágio e no quarto estágio . .	84
39	<i>Boxplot</i> das precipitações efetivas para o trimestre DJF nas safras 2008/09 e 2009/10 . . . . .	86
40	Espacialização da precipitação efetiva dos três meses mais chuvosos da safra 2008/09 . . . . .	89
41	Espacialização da precipitação efetiva dos três meses mais chuvosos da safra 2008/09 . . . . .	91

## RESUMO

BITTENCOURT, Flávio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2013. **Função de produção e espacialização da precipitação efetiva: estudo de caso em fazendas de algodão e soja da Região Oeste da Bahia nas safras 2008/09 e 2009/10.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Gilberto Chohaku Sedyama e Nerilson Terra Santos.

Em condições de sequeiro a produtividade das culturas é altamente dependente das interações entre os estádios de desenvolvimento da cultura e as variações climáticas. A intensidade, regularidade e distribuição da precipitação pluvial interferem significativamente neste tipo de cultivo. É necessário identificar a época mais propícia para o plantio para minimizar os efeitos das variáveis climáticas. Dados cedidos pela IRRIGER em parceria com o grupo MAEDA oriundos de 15 fazendas localizadas no oeste do estado da Bahia, nos municípios de São Desidério e Correntina, durante as safras 2008/09 e 2009/10 foram utilizados neste trabalho. A disponibilidade real de água nas profundidades de 0 a 30 cm, de 30 a 60 cm e de 60 a 90 cm, data do plantio, precipitação efetiva, evapotranspiração de referência e evapotranspiração das culturas de cada fazenda foram as variáveis adotadas. Como objetivo geral foram confeccionados modelos para representar as funções de produção para as lavouras de algodão e soja e, como objetivo específico, estudou-se a distribuição espacial da precipitação efetiva dos três meses mais chuvosos da Região Oeste da Bahia, dezembro, janeiro e fevereiro em cada safra. Para encontrar modelos que descrevessem a produtividade das duas culturas a regressão linear múltipla foi utilizada, tendo como variáveis candidatas ao modelo de regressão: disponibilidade real de água em três profundidades (0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm), data do plantio, precipitação efetiva, evapotranspiração de referência e evapotranspiração das culturas. Realizou-se um estudo descritivo, verificou-se a colinearidade das variáveis e, posteriormente, por meio do método *stepwise* e o critério *AIC* encontrou-se as variáveis que comporiam os modelos que melhor descreviam a produtividade para cada cultura e safra. Na safra 2008/09 para a cultura do algodão não foi possível a adoção de nenhum modelo para descrever a produtividade. Entretanto, para a safra 2009/10 da mesma cultura, encontrou-se um modelo com duas variáveis independentes: data do plantio e precipitação

efetiva. Para a soja na safra 2008/09 a data do plantio e a evapotranspiração da cultura foram as variáveis utilizadas para descrever a produtividade. Já na safra 2009/10 para a soja as variáveis foram a data de plantio e a disponibilidade real de água no solo na profundidade de 0 a 30 cm. Os Índices de Concordância de Willmott ficaram abaixo de 0,92. Para  $R_{aj}^2$  foram obtidos valores menores que 71%. Os dados da precipitação pluvial coletados pelos pluviógrafos georreferenciados foram úteis para modelar a precipitação efetiva espacialmente. Os modelos adotados foram o esférico e gaussiano por apresentarem melhores resultados para os erros e para a relação observados e estimados. O mês de janeiro de 2010 foi o que apresentou maior grau de dependência espacial, 60% e, o que apresentou menor correlação entre os valores observados e estimados. Geraram-se seis mapas correspondentes ao meses dezembro, janeiro e fevereiro de cada safra por meio da krigagem ordinária. Observaram-se diferentes comportamentos mensais e anuais, com acentuada variação temporal e espacial. A interrelação entre as variáveis estudadas em cada período e cultura indicam que a influência de determinado parâmetro na produtividade varia estatisticamente em cada situação.

## ABSTRACT

BITTENCOURT, Flávio, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2013. **Production function and spatial distribution of effective rainfall: Case study on cotton and soybean farms in the West Region of Bahia in the crops in 2008/09 and 2009/10.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-adviser: Gilberto Chohaku Sedyama and Nerilson Terra Santos.

Under rainfed crop productivity is highly dependent on the interactions between the stages of development of culture and climate variations. The intensity, regularity and distribution of rainfall significantly interfere with this type of cultivation. It is necessary to identify the most propitious time for planting to minimize the effects of climatic variables. Data provided by IRRIGER in partnership with the group MAEDA coming from 15 farms located in the Western State of Bahia, in the municipalities of San Desiderio and Correntina during the crops 2008/09 and 2009/10 were used in this work. The actual availability of water depths 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm, planting date, effective precipitation, evapotranspiration and crop evapotranspiration from each farm were the variables adopted. As a general objective were confeccionados models to represent the production functions for crops of cotton and soybeans and specific objective, we studied the spatial distribution of effective precipitation of the three wettest months of the Western Region of Bahia, December, January and February each crop. To find models that describe the productivity of the two crops linear regression was used, with the candidate variables to the regression model: actual availability of water at three depths (0-30, 30-60 and 60-90 cm), date planting, effective precipitation, evapotranspiration and crop evapotranspiration. We conducted a descriptive study, it was found collinearity of variables and, subsequently, by the method stepwise and AIC criterion met the variables that compose the models that best described the productivity for each crop and harvest. In 2008/09 for the cotton crop was not possible to adopt any model to describe productivity. However, for 2009/10 of the culture met a model with two independent variables: date of planting and effective precipitation. For soybeans in the 2008/09 planting date and crop evapotranspiration were the variables used to describe the productivity. In the crop 2009/10 for soybeans variables were the planting date and the actual availability

of water in the soil at the depth 0-30 cm. The Indices of Concordance Willmott were below 0.92. For  $R_{aj}^2$  values were obtained less than 71 %. The rainfall data collected by rain gauges were georeferenced useful for modeling spatially effective precipitation. The models were adopted by the spherical Gaussian with better performance for the errors and the relationship observed and estimated. The month of January 2010 showed the highest degree of spatial dependence, 60%, and presented the lowest correlation between the observed and predicted values. Six-generated maps corresponding to the months December, January and February of each crop by ordinary kriging. We observed different behaviors monthly and yearly, with marked spatial and temporal variation. The interrelation between variables in each period and culture indicate that the influence of a certain parameter on productivity varies statistically in every situation.

# 1 INTRODUÇÃO

A ocupação do cerrado teve seu início marcado pela procura de pedras preciosas e pela captura de índios para tralharem com a cana de açúcar. Na década de 1940 o governo de Getúlio de Vargas incentivava a ocupação deste bioma, mas a distância até os grandes centros consumidores era uma barreira que deveria ser rompida. Com a construção de Brasília, na década de 1950 e a construção de vias de acesso à capital federal, iniciou uma nova era para esta região central.

Inicialmente a principal atividade era a criação de gado de corte. O solo, antes visto como impróprio para o cultivo, por meio de estudos e implantação de tecnologias, tornou-se cultivável. Em termos percentuais os estados com maiores índices de ocupação deste bioma são: São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal e Goiás. O estado da Bahia possui 27% de seu território ocupado pelo cerrado, sendo apenas 26% deste valor usado para a atividade agrícola (SANO *et al.*, 2008).

No estado da Bahia a Região Oeste foi uma das últimas áreas de cerrado a ser ocupada pela economia agrícola. Entretanto, é uma das regiões que mais transformações sofreu. A produção agrícola é uma das mais modernas do Brasil, os aspectos físicos, climáticos e a disponibilidade de água são fatores que alavancam os grandes resultados de produtividade.

O algodão e a soja são as culturas mais cultivadas na Região Oeste. O algodão representa 90% da produção nacional, sendo São Desidério o responsável por 41% da produção do estado da Bahia. A soja produzida corresponde a 96% da produção estadual e 5% da produção brasileira (MENDONÇA, 2006).

O plantio em sistema sequeiro representa mais de 92% da área plantada na região oeste da Bahia. A produtividade alcançada pela soja é de 56 sacas por hectare superando a média brasileira e a norteamericana. O algodão com 270 arrobas por hectare só é ultrapassado pela Austrália, que tem todo o plantio irrigado (AIBA, 2012).

São Desidério e Correntina, dois municípios pertencentes à Região Oeste da Bahia, são muito importantes no cenário nacional. O primeiro, em 2012, atingiu o volume de 1,7 milhões de toneladas de produção agrícola, sendo o seu carro chefe o algodão, o município é principal produtor do Brasil. Já o segundo é um pouco mais modesto, na safra 2011 esteve entre os dez maiores municípios produtores do estado da Bahia. Em 2010 atingiu um montante de R\$ 335 milhões em termos de renda primária (AIBA, 2012).

Além das características geomorfológicas da região, embora apresente grande irregularidade da distribuição espacial e temporal das chuvas, a Região Oeste da Bahia apresenta bons índices pluviométricos entre os meses de outubro e março. As médias mensais em 13 anos variaram de 131,3 a 250,5 mm de precipitação. Tais informações são fundamentais para a agricultura de sequeiro.

Mesmo apresentando estas boas características, ainda sim, a atividade agrícola nesta região, ou em qualquer outro local, ainda é muito dependente das condições de tempo e clima. Conhecer os elementos que são responsáveis pela produção permite o planejamento do uso racional dos recursos naturais e das condições climáticas. Vários modelos têm sido estudados, principalmente aqueles que consideram a evapotranspiração como variável do modelo. Alguns pesquisadores acreditam que a água disponível no solo pode influenciar na redução da produção. Modelos que descrevem a produtividade das culturas baseando-se em variáveis climáticas e/ou de solo podem ser adotados para esta finalidade.

A precipitação efetiva, parcela da precipitação que realmente contribui para a água disponível no solo, é tão importante para a agricultura irrigada quanto para o cultivo em sequeiro. No primeiro caso sua quantificação é de grande utilidade nas irrigações suplementares, permitindo ao irrigante alcançar expressiva economia na condução da irrigação. Já para o cultivo em sequeiro permite ao produtor determinar o período mais favorável ao plantio, bem como verificar a necessidade da suplementação da água por irrigação quando verificar que só a precipitação efetiva não fornece a quantidade de água requerida pela planta. A distribuição espacial e temporal da precipitação efetiva permite ao produtor determinar as áreas com precipitação mais uniforme e, portanto, trabalhar de

forma a alcançar bom aproveitamento deste elemento meteorológico.

## 2 OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo determinar modelos de funções de produção, utilizando regressão múltipla, adequados para lavouras de algodão e soja, nas safras 2008/09 e 2009/10 situadas nos municípios Correntina e São Desidério, na Região Oeste da Bahia. Para tal estudo buscou-se trabalhar com dados fornecidos pela empresa IRRIGER e o grupo MAEDA como: data de plantio, evapotranspiração de referência total, evapotranspiração da cultura total, precipitação efetiva e, também, dados da disponibilidade real de água no solo em três profundidades e a data de plantio de cada cultura, utilizando da regressão linear múltipla para encontrar uma equação, com base nestas variáveis, que poderia ser usada para estimar a produtividade. Teve como objetivo específico modelar a precipitação efetiva para os três meses mais chuvosos da Região Oeste, dezembro, janeiro e fevereiro, nas mesmas duas safras.

## 3 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.1 O Cerrado: área, histórico

O cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, ocupa aproximadamente 21% do território nacional e abrange uma extensão de 204,7 milhões de hectares, distribuída numa área mais ao centro do território brasileiro que engloba o Estado de Goiás e o Distrito Federal, além de partes dos Estados da Bahia, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo, e Tocantins (KLINK; MACHADO, 2005; SANO; FERREIRA, 2005; GANEM *et al.*, 2008; SANO *et al.*, 2008; SANTOS, 2008).

Segundo Silva (2009) ainda há divergências sobre a extensão do cerrado, sendo que alguns autores nem sempre definem os limites da área central do bioma



construção de rodovias ligando a capital brasileira às principais cidades permitiu o desenvolvimento regional (KLINK; MOREIRA, 2002; GANEM *et al.*, 2008).

Até 40 anos atrás a criação extensiva de gado de corte era a principal atividade do cerrado. O solo era visto como impróprio para a agricultura: solos pobres e com elevada acidez. Uma série de esforços de pesquisas e iniciativas de programas governamentais permitiu o avanço da agricultura, desde a década de 1970. A pobreza do solo não foi um empecilho para o desenvolvimento da agricultura o uso de fertilizantes e calcário tornava-os produtivos. O nível topográfico, solos profundos e bem drenados propiciavam a mecanização. A introdução da tecnologia, investimento de capital, energia e o conhecimento promoveram a expansão da agricultura intensiva e as mudanças no uso da terra foram notadas (KLINK; MOREIRA, 2002; REZENDE, 2003; KLINK; MACHADO, 2005; SILVA, 2009; SANTANA, 2009; SANTOS *et al.*, 2010).

Obviamente os incentivos governamentais não foram os únicos responsáveis pela ocupação deste bioma. As condições ambientais favoráveis também ajudaram na transformação da região em potência agrícola. Embora a distribuição das chuvas durante o ano seja desigual, a média total anual de 1500 mm é considerada suficiente para a produção. O clima é estacional, um período chuvoso, de outubro a março, é seguido por um período seco, de abril a setembro. As temperaturas são amenas durante o ano, entre 22°C e 27°C em média (KLINK; MOREIRA, 2002; KLINK; MACHADO, 2005; SANTANA, 2009).

A distribuição da ocupação das terras do cerrado em cada estado segundo as classes de uso da terra pode ser vista na Figura 2. Foram identificados 80 milhões de hectares ocupados, o que corresponde a 39,5% da área total do cerrado, segundo Sano *et al.* (2008).

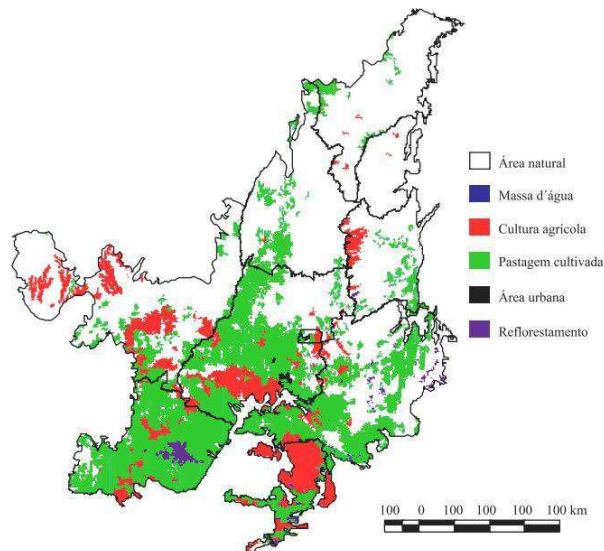


FIGURA 2: Distribuição espacial do uso da terra do cerrado brasileiro  
 Fonte: SANO *et al.* (2008)

As áreas com concentração de cultivo agrícola estão representadas pela cor vermelha. A maior área cultivada dos estados do nordeste brasileiro, está na Bahia, especificamente no extremo oeste baiano.

Os dados apresentados na Tabela 1 representam os percentuais de cerrado em cada estado e a porcentagem de uso da terra. Observa-se que os estados localizados mais ao sul do cerrado são os que apresentam maior área de ocupação da terra por atividades agropecuárias, enquanto que a porção norte se mostrou relativamente mais preservada, talvez por causa do acesso e pela maior distância dos grandes centros urbanos e consumidores. Os estados de São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul são os que apresentam maiores índices de ocupação da terra e os que apresentam menores índices de ocupação são os estados de Piauí, Maranhão e Tocantins.

TABELA 1: Estados brasileiros, porcentagens de cerrado e uso da terra, 2002

Estado	Cerrado (%)	Uso da terra (%)
PI	37	8
MA	65	11
TO	91	19
BA	27	26
MT	40	34
MG	57	46
GO	97	55
DF	100	62
MS	61	68
PR	2	68
SP	33	85

Fonte: SANO *et al.* (2008)

A expansão agrícola do cerrado é um fenômeno importante da agricultura brasileira por ter sido marcada pelo predomínio da produção em grande escala e ser intensamente mecanizada. Segundo Klink & Moreira (2002) de 1970 a 1985 compreende o período de maior expansão agrícola. O estoque de tratores cresceu 13,6% e a área cultivada expandiu 5,4%. A receita e os benefícios da agricultura comercial nos cerrados são claros, como por exemplo, a soja e seus produtos estão entre as maiores *commodities* de exportação no Brasil.

Quanto à agricultura, alguns municípios que se localizam na região do cerrado como: São Desidério (BA), Jataí e Rio Verde (GO), Lucas do Rio Verde e Sinop (MT) se destacam no cenário nacional pelos extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana de açúcar e, principalmente, à elevada produtividade de grãos e o intenso emprego da mecanização agrícola (SANO; FERREIRA, 2005; SANO *et al.*, 2007; SANO *et al.*, 2008).

### 3.2 Região Oeste da Bahia

A Região Oeste da Bahia também pertencente ao bioma Cerrado, apresentou uma ocupação tardia de seu território quanto à finalidade agrícola. Enquanto a região correspondente à área central do cerrado brasileiro já recebia apoio do governo para a sua ocupação na década de 1940, no governo de Getúlio

Vargas, a Região Oeste da Bahia teve seu início marcado em 1970. A ocupação foi incentivada pelo baixo preço das terras e por incentivos governamentais. Como benefício se destaca a modernização agrícola, que aconteceu em um momento em que a Bahia apresentava uma agricultura decadente. Essa modernização, sendo um dos poucos fatos econômicos importantes ocorridos no Estado nos últimos 50 anos, foi a responsável pela mudança do perfil econômico, político e geográfico da exploração agrícola devido à produção de grãos, consequência do expressivo volume alcançado desde as primeiras safras (SANTOS, 2008; PASSOS *et al.*, 2010; SANO *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2011).

Fernandes *et al.* (2009b) complementam que a região foi marcada por um novo ciclo de desenvolvimento, a partir de 1970, além de um vigoroso movimento populacional intra e interregional. Ainda reforçam que esta região é de grande importância para o estado da Bahia pela presença de latifúndios, agroindústrias e produção voltada à exportação.

Na década de 1970 o governo do Estado da Bahia percebendo a potencialidade da Região Oeste cria o Programa de Ocupação Econômica do Oeste. Mas, na década de 1980 ainda abrigava a pecuária extensiva e as terras tinham baixa cotação comercial, o que lhe rendia o apelido de “Além do São Francisco”, fazendo uma referência à falta de expressão econômica e ao isolamento da região com relação à capital do estado e a outros pontos importantes do país (SANTOS, 2008; SANTOS FILHO; RIOS FILHO, 2008; SOUZA *et al.*, 2010).

O Governo Estadual implantou: duas unidades do Departamento de Estrada e Rodagem da Bahia (DERBA), o Programa de Ocupação Econômica do Oeste e o Programa de Desenvolvimento Econômico e Social do Oeste Baiano. A melhoria na infraestrutura de transportes pode ser notada. Os programas tinham como finalidade conceder incentivos de acesso à terra e a créditos facilitados. Uma parceria entre o Governo Federal e o Governo Estadual, nas áreas de atuação da SUDENE, incentivava o investimento e custeio da produção (SANTOS FILHO; RIOS FILHO, 2008).

Associado aos investimentos públicos, os investimentos de capital privado também foram intensos por parte de empresas e produtores particulares, trazendo

para a região um meio de produção agrícola mecanizada até então não utilizado pelos produtores locais e o aumento do fluxo populacional dos vários segmentos que buscam o estabelecimento de diversas empresas agroindustriais de grande porte. A presença de uma importante agricultura mecanizada e expressivas mudanças nas estruturas produtiva, econômica, social e urbana principalmente, fez com que essa região recebesse o nome de Região Oeste da Bahia (SOUZA *et al.*, 2010; SANTOS FILHO; RIOS FILHO, 2008; SANTOS, 2008).

O PRODOCER II (1985-1993), Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para Desenvolvimento dos Cerrados, foi de grande importância para o desenvolvimento da região dando um considerável impulso à agricultura do cerrado. Era uma ação conjunta formada por uma parceria entre o governo brasileiro e investidores japoneses (SANTOS, 2008; SANTOS FILHO; RIOS FILHO, 2008; SANTOS *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

Esta região considerada rural passou por uma transformação tecnológica com o apoio do PRODOCER. O programa alavancou à agricultura da região, o agronegócio começou a acelerar, foi implantado um modelo agrícola que proporcionava mais de uma colheita por ano, viabilizada pela utilização de variedades mais adaptadas às condições climáticas e edáficas da região, aplicação de grandes quantidades de fertilizantes químicos, uso de máquinas agrícolas modernas e adoção de irrigação. Esta região adquiriu uma identidade nova em consequência dessas transformações na organização territorial (PASSOS *et al.*, 2010; SOUZA *et al.*, 2010).

Brandão (2009) relata que existe uma diferença conceitual entre Região Oeste da Bahia e Oeste Baiano. Segundo o autor o primeiro termo está relacionado aos 22 municípios mais economicamente desenvolvidos do Estado da Bahia, enquanto que o segundo é a designação de todo o território à esquerda do Rio São Francisco, onde se localizam 35 municípios baianos numa área de aproximadamente 183 mil quilômetros quadrados.

De acordo com isto, Souza *et al.* (2010) apresentam a localização da Região Oeste da Bahia conforme pode ser visto na Figura 3 (área mais escura). Esta região localiza-se no espaço mais a oeste do estado e tem como fronteiras:

ao norte o estado do Piauí, ao sul o estado de Minas Gerais, a leste a região econômica do Médio São Francisco e a oeste os estados de Tocantins e Goiás.

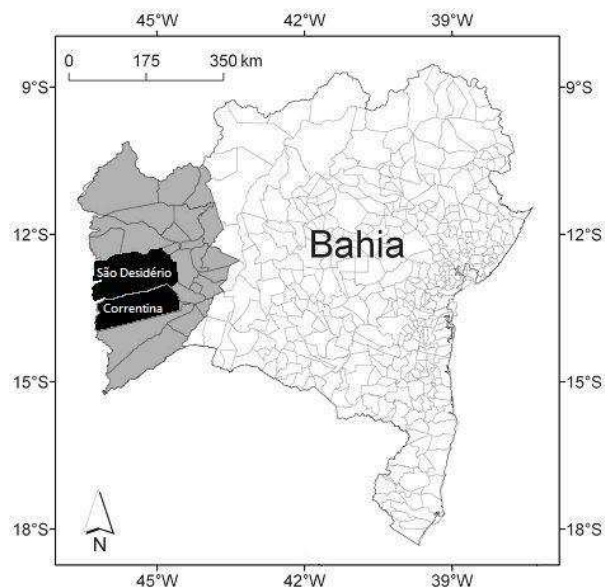


FIGURA 3: Estado da Bahia  
Região Oeste (cinza) e os municípios São Desidério e Correntina (destaque)  
Fonte: SANO *et al.* (2011) (modificada)

Iniciativas do Governo Federal permitiram estabelecer na região: o aeroporto internacional de Barreiras, agências do Banco do Brasil, o Instituto de Fomento Econômico, a usina hidrelétrica de Correntina, novas rodovias federais, a EMBRAPA e a CODEVASF que interferiram diretamente na dinâmica sócio-espacial da região. A terra foi valorizada por meio de ações governamentais que privilegiaram a melhoria de infraestrutura, principalmente de transportes, além de permitir, por meio de pesquisas, a implantação de uma agricultura moderna, altamente mecanizada (SANTOS FILHO; RIOS FILHO, 2008).

Souza *et al.* (2010) relatam que os municípios sofreram uma profunda transformação, adequaram-se às atividades voltadas a esse novo tipo de agricultura e tornaram-se, em poucas décadas, um espaço com grandes áreas produtoras de grãos, principalmente soja, nunca antes cultivada em terras baianas.

Cardoso & Almeida (2010) complementam que as formas modernas de produção agrícola têm modificado o cenário regional pela introdução de fertilizantes, tratores, sementes selecionadas e insumos, intervindo na paisagem natural

e cultural. A produção agrícola em destaque nos censos agropecuários, da EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola) e da AIBA (Associação de Irrigantes de Barreiras) demonstram que a Região Oeste continua obtendo uma elevada produção de carne bovina e, principalmente, de grãos e algodão.

Para Mendonça (2006) nas décadas de 1980 a 1990 foi o período em que a região conheceu uma expansão agropecuária sem precedentes, e devido à expansão das áreas ocupadas para plantio de grãos, cultivos perenes e à agricultura irrigada, importantes transformações ocorreram. A Região Oeste, com uma área de 14 milhões de hectares, principal fronteira agrícola do estado, possui 8 milhões de hectares aproximadamente, com água e clima favoráveis à agricultura e à pecuária, dos quais menos de 2 milhões estão efetivamente ocupados.

Outro fator importante, que associado aos altos investimentos públicos e privados permitiu o sucesso dos empreendimentos, são os aspectos físicos, principalmente o relevo, com uma topografia plana, com declividade entre 0 a 8%, aliada à disponibilidade de recursos hídricos superficiais (SILVA *et al.*, 2011). A estrutura geomorfológica: planaltos com topos aplainados, propícios à mecanização e a rede hidrográfica vasta propiciaram a mecanização agrícola (FERNANDES *et al.*, 2009b).

Todos os fatores já mencionados, investimento, relevo e recursos hídricos, permitiram o uso de uma agricultura moderna e a combinação deles promoveu o interesse para a ocupação do espaço da Região Oeste. A área plantada aumentou em 352% no período de 1985 a 2005, acompanhada por técnicas ambientalmente sustentáveis de manejo de solo e água, por boa parte dos produtores (CARDOSO; ALMEIDA, 2010; SANO *et al.*, 2011).

Para Santos (2008) além da topografia, a geração de cultivares, principalmente, soja e milho, mais adaptadas à deficiência hídrica e à toxicidade de alumínio e à presença de fontes próximas de calcário para correção da acidez dos solos foram outros fatores que incentivaram a ocupação das terras da Região Oeste da Bahia. Os solos da região se caracterizam por serem antigos, profundos e bem drenados, com baixa fertilidade natural e acidez elevada (FERNANDES *et al.*, 2009b).

Além disso, Passos *et al.* (2010) enfatizam que o clima também contribuiu com a implantação de atividades agrícolas intensas, sendo caracterizado por duas estações bem distintas, permitindo realizar um bom planejamento para o cultivo de grandes extensões de terra mesmo sem irrigação.

Souza *et al.* (2010) expõem que há uma variação entre úmido, úmido a subúmido e seco a subúmido, proporcionando duas estações bem definidas no decorrer do ano: uma úmida e quente, de novembro a abril, e outra seca e fria, de julho a setembro. Todas essas variações permitiram à região diversificar as atividades econômicas, da pecuária à introdução de cultivos de grãos, frutas, café e algodão.

Para Batistella *et al.* (2002) a posição geográfica assegura temperaturas elevadas durante boa parte do ano influenciada pela forte radiação solar. Nas áreas mais elevadas é uma exceção, pois as temperaturas são mais amenas. Segundo o autor as temperaturas médias anuais, máximas e mínimas, variam entre 26°C e 20°C, respectivamente. A região possui duas estações climáticas bem definidas: estação seca e fria (maio a setembro) e a estação chuvosa e quente (outubro a abril), a umidade média do ar é de 70%, sendo a máxima de 80% em dezembro e a mínima de 50% em agosto. A pluviosidade concentra-se entre os meses de novembro a março e varia no sentido leste-oeste de 800 a 1.600 mm.

Portanto, pode-se concluir que todo o desenvolvimento do Oeste teve como determinantes principais a disponibilidade de recursos naturais, solos planos de cerrado, precipitação regular, temperaturas amenas e intervenção governamental (FERNANDES *et al.*, 2009b).

A Região Oeste tem importância econômica tanto para a Bahia, quanto para o Brasil, sendo considerada uma das mais importantes regiões agroindustriais. Esta região não só se destaca na produção de grãos, como também na produção de carne e algodão, principalmente (BRANDÃO, 2009; FERNANDES *et al.*, 2009b; CARDOSO; ALMEIDA, 2010; SANO *et al.*, 2011).

A produção de grãos no Oeste Baiano tende a aumentar tanto em termos absolutos (ocupação de novas áreas) como em termos relativos (aumento da pro-

atividade): primeiro por ter área disponível e, segundo, pela elevada evolução dos índices de rendimento agrícola de cada cultura. Evidentemente estas duas variáveis estão condicionadas ao mercado, pois para garantir ganhos de rendimento agrícola e maior lucratividade dependem de estímulos de capital (MENDONÇA, 2006; SANTANA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011).

Sano *et al.* (2011) destacam um importante aspecto quanto à produção agrícola via trabalhos e resultados das pesquisas da EMBRAPA. Nos plantios são adotadas práticas de conservação de solo e redução de consumo de água de irrigação que permitem aos agricultores produzirem alimentos com sustentabilidade ambiental.

O escoamento da produção, para esta região, apresenta uma vantagem em relação às outras regiões do Brasil: o potencial de alternativas logísticas. Segundo Santana *et al.* (2010) a distância entre os portos é menor e outro aspecto está relacionado ao aproveitamento do retorno com cargas de insumos, maquinários e outros produtos para o Oeste. Segundo a Companhia de Desenvolvimento e Ação Regional - CAR (BA) (1997) a rodovia BR-135 e suas conexões com a rodovia BR-242 é uma importante rota para o escoamento da produção dos cerrados, principalmente nas regiões onde se concentram quase toda a produção de grãos do Oeste da Bahia (Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras e São Desidério). O trecho pavimentado que se inicia em São Desidério e prossegue até o município de Santa Rita de Cássia (Monte Alegre) tem sido utilizado também para o escoamento de calcário.

Sales & Sales (2010) dividem a Região Oeste em microrregiões: a de Barreiras, a qual congrega sete municípios; a de Cotegipe, com sete municípios e a de Santa Maria da Vitória com nove municípios, representando no estado da Bahia 20,51% de toda área, o que corresponde a 114.873 km<sup>2</sup>. Destacam que a microrregião de Barreiras é considerada a mais dinâmica do Oeste Baiano, composta pelos municípios: Barreiras, Luís Eduardo Magalhães, Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, São Desidério, Baianópolis e Catolândia. Destacam que foi a que sofreu maior modificação desde 1970, tanto nas ordens econômica, quanto na ordem social, cultural e ambiental. Sua população na época era de

67.964 habitantes e no ano 2000 alcança 225.088, representando um aumento de 231% em três décadas.

Já Santos (2008) considera que são 24 municípios, dentre os quais 6 foram os contemplados com a moderna agricultura: Barreiras, Correntina, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves e São Desidério devido ao apoio governamental e o crédito agrícola e que transformaram-se em um importante pólo de produção de grãos.

Mendonça (2006) complementa, ainda, que 96% da produção de soja do Estado estão concentrados nos seis municípios já mencionados; e que o algodão também ocupa um espaço em lavouras do cerrado baiano incentivado por programas do Governo Estadual (PROALBA), redução de ICMS para os produtores e o destino de verbas para financiar projetos de pesquisas voltados a elevar a competitividade do algodão produzido na região.

Dados do IBGE/PAM (2010) apontam taxas de crescimento anual da produção entre as décadas de 1980 a 1990 de 60,77%, já para o quinquênio 2005/2010 a taxa de crescimento é de 5,40%. Outras culturas como o milho e algodão também têm crescido e têm, também, nos últimos anos mostrado taxas de crescimento da produção próximas à soja. Por outro lado o feijão sofreu algumas oscilações, mas nos últimos anos a taxa de crescimento anual da produção está em 19,28%. Segundo Santos (2008) o surgimento e a incorporação de novas culturas, como café e algodão, não indica que as áreas plantadas com soja diminuirão, inclusive nos municípios de Barreiras, São Desidério, Correntina e Luís Eduardo Magalhães a produção é em uma maior escala. O arroz cultivado na região Oeste da Bahia é o arroz sequeiro, a produção em queda é reflexo do crescimento da produção do arroz irrigado e a disseminação de variedades híbridas que alcançam produtividade acima da média (CONAB, 2012). Estas informações podem ser observadas na Figura 4.

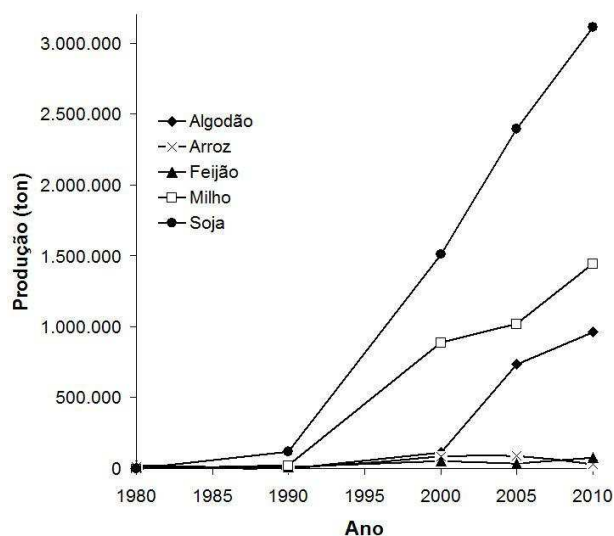


FIGURA 4: Produção das principais culturas da Região Oeste da Bahia  
 Fonte: IBGE/PAM - Produção Agrícola Municipal

Como se pode observar na figura acima a soja já alcança cerca de 3 milhões de toneladas, o milho está em segundo lugar. O algodão já atingiu cerca de 1 milhão de toneladas em 2010.

### 3.3 São Desidério e Correntina

São Desidério e Correntina, localizados no extremo oeste do estado da Bahia, como mostra a Figura 3, são também dois importantes municípios produtores de soja e algodão. Estes municípios da Região Oeste estão entre os de maior exportação na safra 2010/11 (AIBA, 2011).

Segundo Mendonça (2006) a produção de soja se concentra em seis municípios do Oeste da Bahia, representando 96% da produção estadual. Dentre esses municípios pode-se citar São Desidério e Correntina, os outros são Luís Eduardo Magalhães, Barreiras, Formosa do Rio Preto e Riachão das Neves.

A safra de algodão também é destaque no estado da Bahia, o qual representa a segunda maior produção do Brasil, com 704 mil toneladas, em 2004, sendo que 90% da produção é oriunda da Região Oeste. São Desidério foi responsável por 41% desta produção (MENDONÇA, 2006).

São Desidério está situado na mesorregião do extremo Oeste Baiano, nas coordenadas 46°19'29" e 44°34'32"W e 12°17'20" e 13°20'55"S, fazendo fronteira ao norte com Barreiras, ao nordeste com Catolândia, a leste com Baianópolis, a sul com Correntina, a sudeste com Santa Maria da Vitória, a noroeste com Luiz Eduardo Magalhães e a oeste com os estados de Goiás e Tocantins (PASSOS *et al.*, 2010).

Albuquerque (2009) classifica o clima do município, baseado na classificação climática de Köppen, como do tipo Aw, tropical com chuvas de verão, com índice de pluviosidade atingindo 1.700 mm ano<sup>-1</sup>, com temperatura variando entre 17 e 37°C e a estação seca compreendida entre maio e outubro.

Para o IBGE/PAM (2010) o clima do município apresenta índices pluviométricos entre 1300 e 1700 mm/ano o que, dentre outros fatores, garante a boa produtividade de suas lavouras.

Segundo Sano *et al.* (2011) o município de São Desidério se destaca pela área utilizada para a produção de grãos. Dos 1,45 milhões de hectares do município, 60 mil são ocupados por pastagens cultivadas (4%) e 475 mil ocupados por culturas agrícolas (32%). Segundo o IBGE/PAM (2010) a grande disponibilidade de terras com topografia ideal para mecanização, índice pluviométrico ideal e a alta tecnologia utilizada garantem a boa produtividade. Os dados mostram que São Desidério é o maior produtor de algodão herbáceo do Brasil, sendo responsável por 15,7% da produção brasileira e 46,5% da produção baiana. A produção de soja, na safra de 2010 apresentou crescimento de 26,0%, o município foi responsável pela produção de 738.990 toneladas desse grão.

Segundo a AIBA (2012), São Desidério figura na liderança do estado da Bahia por atingir volume total de 1,7 milhão de toneladas, com destaque para o algodão, sendo o principal produtor do Brasil. O valor bruto da produção (VBP) está à frente no Brasil com renda superior a R\$ 1 bilhão.

Correntina abrange cerca de 1,2 milhão de hectares de área, dista-se de Brasília 500 km e de Salvador, 980 km. Localiza-se entre as coordenadas 12°59'24" e 13°58'44" de Latitude Sul e 44°19'39" e 46°16'54" de Longitude Oeste

(LIMA *et al.*, 2010). Faz fronteira ao norte com São Desidério, a leste com Santa Maria da Vitória, ao sul com Jaborandi e a oeste com o estado de Goiás.

O clima predominante no município de Correntina é do tipo Aw tropical de savana, inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média das máximas é de 34°C e a média das mínimas de é 14°C. A umidade relativa média do ar é de 64%, sendo a máxima de 76% e a mínima de 16%. O período chuvoso está compreendido entre os meses de novembro a abril, período em que ocorre, em média, quase toda a precipitação total anual (94%), restando apenas 6% para a estação seca, que vai de maio a setembro (MORAES, 2003; LIMA *et al.*, 2010).

Correntina, na safra 2011, está entre os dez municípios do estado da Bahia de maior de renda primária. Em 2010 atingiu o montante de R\$ 335,025 milhões (AIBA, 2012).

Os dois municípios, São Desidério e Correntina, fazem parte de uma região da Bahia em que a produção de algodão já atinge 30% da produção nacional e a soja, 5%. Em termos estaduais alcança 98% e 100%, respectivamente. Os dois municípios estão entre aqueles com maior exportação da Bahia (AIBA, 2011).

### **3.4 Distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial do Oeste da Bahia**

Considerando o nordeste brasileiro, Araújo *et al.* (2008) comentam que a grande irregularidade da distribuição espacial e temporal das chuvas é decorrente de um conjunto de fatores, tais como: as características fisiográficas e a influência de vários sistemas atmosféricos.

Molion & Bernardo (2002) classificam os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas no nordeste brasileiro em três categorias: macroescala, mesoescala e microescala. Os mecanismos de macroescala são os responsáveis por cerca de 30 a 80% da precipitação pluvial, dependendo do local, os demais mecanismos completam esse total. Dentre os mecanismos de macroescala os autores citam os sistemas frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Para os de

meso e microescala são citadas, respectivamente, as perturbações ondulatórias no campo dos ventos alísios, complexos convectivos e brisas marítima e terrestre e, circulações orográficas e pequenas células convectivas.

Quanto à variabilidade climática do nordeste brasileiro há associação de padrões de escala planetária vinculados às oscilações termais dos oceanos Pacífico e Atlântico. Ao Oceano Pacífico o fenômeno climático *El Niño* causa variações e flutuações periódicas em escalas sazonal e interanual que são resultantes da interação entre o oceano e a atmosfera. Já para o Oceano Atlântico as variações são principalmente devidas à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O período e características da evolução sazonal da ZCIT e da temperatura do mar (TSM) dependem do acoplamento dinâmico entre eles e dos contrastes entre terra-mar que ainda não são completamente entendidos (ARAÚJO; BRITO, 2011).

Nobre & Molion (1988) comentam que a variabilidade climática do nordeste é o resultado da combinação da ação de diversos sistemas meteorológicos e das variações na intensidade e posição das circulações *Hadley* e *Walker* associados às características locais de topografia. Os ramos ascendentes dessas circulações, a circulação de *Hadley* cujo ramo ascendente está associado à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a circulação *Walker* com ramo ascendente sobre a bacia Amazônica, associada à convecção intensa sobre esta, produzem ramos descendentes sobre o Nordeste brasileiro e adjacências e sobre a Alta Subtropical do Atlântico Sul. Estando presente sobre o nordeste este ramo descendente impede a formação de nuvens e precipitação provocando um grande contraste climático com a Amazônia e o leste do nordeste na mesma faixa de latitudes (CHAVES, 1999; VASQUES, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2010; TANAJURA *et al.*, 2010).

Em termos sinóticos o tempo e o clima são influenciados pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Sistemas frontais (SF) e Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS) (ARAÚJO; RODRIGUES, 2000; CORREIA *et al.*, 2000; VAREJÃO-SILVA, 2006; SANTOS *et al.*, 2010).

A ZCIT é o principal sistema meteorológico indutor de chuvas no semi-

árido nordestino, observando-se máximos entre os meses de fevereiro e abril, segundo Ramos (2000), de março a abril segundo Correia *et al.* (2000) e de fevereiro a maio segundo Araújo & Rodrigues (2000), quando a ZCIT atinge posição mais ao sul (ARAÚJO; RODRIGUES, 2000; CORREIA *et al.*, 2000; RAMOS, 2000; MOLION; BERNARDO, 2002; VAREJÃO-SILVA, 2006; REBOITA *et al.*, 2010).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é formada ao sul do Oceano Atlântico correspondendo à faixa de encontro entre os polares do leste que são ventos frios e os predominantes de oeste, ventos quentes. É definida como uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste. Estende-se por milhares de quilômetros desde o sul da Amazônia até o setor centro-sul do Oceano Atlântico (ARAÚJO; RODRIGUES, 2000; CORREIA *et al.*, 2000).

Os Sistemas Frontais (SF) correspondem à interseção entre duas massas de ar de diferentes características, massa fria e seca que se deslocam das regiões polares em direção ao Equador e a massa de ar quente e úmido das latitudes tropicais. Essas duas massas não se misturam imediatamente. A massa de ar menos densa sobrepõe à massa mais densa e à medida que o ar quente sobe e se resfria, ocorre a condensação formando nuvens e, conseqüentemente precipitação abundante. Embora penetrem o ano todo no nordeste, são mais frequentes durante os meses de novembro a fevereiro e apresentam grande variabilidade (ARAÚJO; RODRIGUES, 2000).

Os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS), também conhecido como baixa fria, é um sistema formado na alta troposfera e aparece, principalmente, nos meses de verão, de novembro a fevereiro, com maior frequência no mês de janeiro, a vida média varia de algumas horas até mais de duas semanas. Eles produzem tanto chuva quanto estiagem e seu aparecimento está relacionado com a circulação geral da atmosfera, com a Alta da Bolívia (AB), com a posição da Zona de Convergência Intertropical do Atlântico Sul (ZCAS) e a penetração de Frentes Frias do sul (ARAÚJO; RODRIGUES, 2000; ARAÚJO *et al.*, 2008).

Mais especificamente no estado da Bahia, um território que compreende uma área de 600.000 km<sup>2</sup>, sendo o maior estado da região nordeste, correspondendo a 36,41% da área total da região, cujo relevo é constituído por planícies,

vales, serras e montanhas com altitude entre 800 e 1.200 m, a climatologia do estado é uma das mais complexas do mundo e isto influencia diretamente numa vasta variedade climática do ponto de vista da precipitação, variando de climas úmidos a semi-áridos. Tal característica é devida à conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica (BRAGA *et al.*, 1998; LIMA *et al.*, 2011).

Espacialmente há um comportamento crescente do interior para leste e oeste do estado. No interior índices inferiores a 600 mm são encontrados em áreas que constituem o semi-árido; no litoral (leste) os índices são superiores a 1200 mm e a precipitação pluvial é bastante regular no decorrer do ano. Já no leste do estado os índices são superiores a 1000 mm, mas a distribuição temporal não é regular (BRAGA *et al.*, 1998; CHAVES, 1999; SOUZA *et al.*, 2010).

Segundo Tanajura (1996), citado por Chaves (1999), durante os meses de verão, os sistemas meteorológicos, em sua maioria, que atuam sobre a América do Sul influenciam sobre a precipitação do Estado da Bahia. Um desses é a Alta da Bolívia, caracterizada por um centro de alta pressão em altos níveis e a circulação anticiclônica, situada climatologicamente em 15°S e 65°W.

Para Silva *et al.* (2011) a estação chuvosa no nordeste é definida pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) quando está mais ao sul, durante os meses de março, abril e maio, e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul durante os meses de outubro, novembro e dezembro. Já para o Estado da Bahia foi observado uma variação do número de dias de chuva entre 4 a 9 dias associado à ZCAS.

Chaves (1999) apresentou as características associadas às anomalias positivas e negativas da precipitação para o Estado da Bahia. Estas características são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2: Características associadas às anomalias positivas e negativas da precipitação sobre o sul do nordeste

Padrão Chuvoso	Padrão Seco
Fase positiva do fenômeno ENSO, ou <i>La-Niña</i>	Fase negativa do fenômeno ENSO, ou <i>El-Niño</i>
Posicionamento da ZCAS sobre a Bahia	Posicionamento da ZCAS sobre a região Sudeste
Intensa convecção no leste da Amazônia e conseqüentemente AB deslocada para o leste e o cavado do Nordeste sobre o Atlântico	Cavado do Nordeste sobre ou próximo ao continente e AB deslocada para oeste
Desintensificação e/ou posicionamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul para leste e desintensificação dos alísios de sudeste	Intensificação e/ou deslocamento da Alta Subtropical do Atlântico Sul para oeste e intensificação dos alísios de sudeste
Escoamento da Amazônia direcionado para o sul do Nordeste	Escoamento da Amazônia direcionado para latitudes ao sul
Deslocamento da Alta subtropical do Atlântico Norte para sudoeste e intensificação dos alísios de nordeste na costa setentrional da América do Sul	Alta Subtropical do Atlântico Norte deslocada para norte e enfraquecimento dos alísios de nordeste na costa norte da América do Sul
Intensificação do escoamento em altos níveis sobre latitudes subtropicais da América do Sul e bifurcação do escoamento sobre o Pacífico Leste	Escoamento zonal em altos níveis e com menor intensidade sobre a América do Sul
Anomalias positivas de TSM sobre a região da ZCPS e do Atlântico Tropical Norte e anomalias negativas de TSM sobre o Pacífico Equatorial Leste e leste do Atlântico Sul	Anomalias negativas de TSM sobre a região da ZCPS e do Atlântico Tropical Norte e anomalias positivas de TSM sobre o Pacífico Equatorial Leste e leste do Atlântico Sul

Fonte: Chaves (1999)

Pode-se concluir que a Bahia sofre influência de praticamente todos os sistemas meteorológicos, tropicais e extratropicais que atuam sobre a América do Sul.

Sobre a precipitação espacial do Estado da Bahia podem ser citados os trabalhos de Braga *et al.* (1998), Chaves (1999), Araújo & Rodrigues (2000) e Tanajura *et al.* (2010).

Para Braga *et al.* (1998) o estado da Bahia pode ser dividido em nove partes quanto às chuvas decendiais (FIGURA 5). Foi encontrada uma alta variabilidade espacial da precipitação pluvial no estado da Bahia, apresentando no estado áreas com índices de precipitação, como no litoral, superiores a 1200 mm

anuais. No oeste do estado também verificou-se índices de precipitação, superiores a 1000 mm. Embora a distribuição não seja regular durante o ano, a Região Oeste apresenta uma configuração quanto ao regime de chuvas: uma estação seca de abril a setembro e uma estação chuvosa no restante do ano. Nas demais regiões como a encosta da chapada Diamantina os índices pluviométricos ultrapassam 1000 mm anuais. Já na região do semiárido os índices são os mais baixos, obtendo-se valores inferiores a 600 mm.

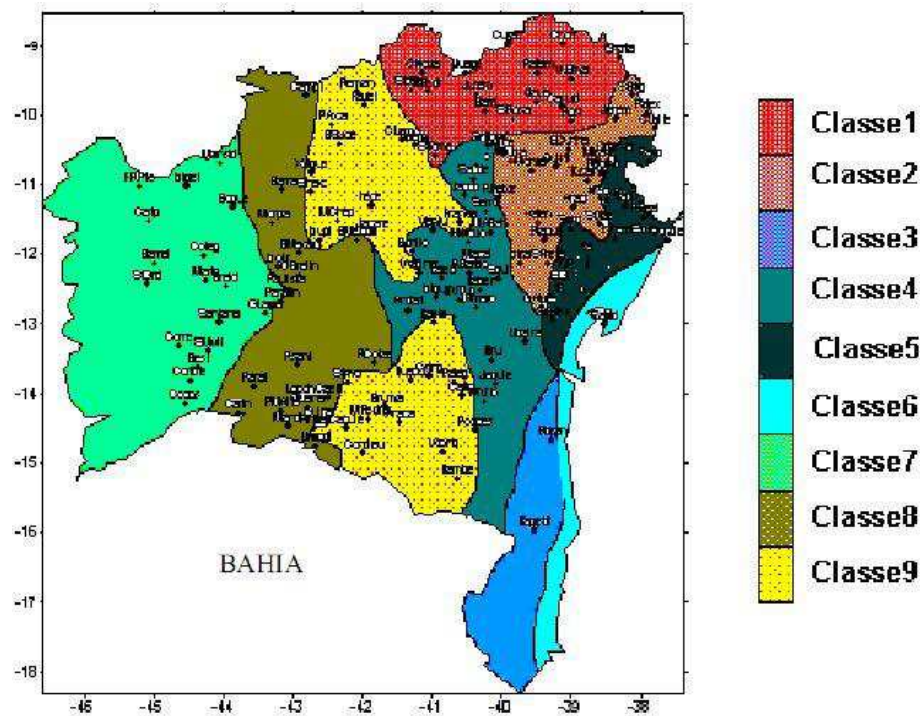


FIGURA 5: Zoneamento da distribuição espacial da precipitação no estado da Bahia

Fonte: Braga *et al.* (1998)

Por outro lado, Chaves (1999) identificou sete áreas homogêneas quanto à precipitação no estado da Bahia. Estas áreas são apresentadas na Figura 6. Observa-se que as regiões A, B, E e G apresentam máximo de precipitação no mês de dezembro, além de apresentarem distribuição da precipitação média mensal semelhantes e ciclo anual bem definido. A região A, situada no oeste da Bahia e a G no norte de Minas Gerais apresentaram precipitação média anual em torno de 1000 mm. Possivelmente a precipitação nestas regiões seja influenciada pela atividade convectiva associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). As regiões B e E apresentaram precipitação média anual típica das regiões se-

miáridas com valores inferiores a 800 mm. A região C apresentou precipitação inferior a 600 mm como média anual. As regiões D e F são regiões litorâneas e apresentaram maiores valores de precipitação média anual com valores em torno de 1300 e 1200 mm, respectivamente.

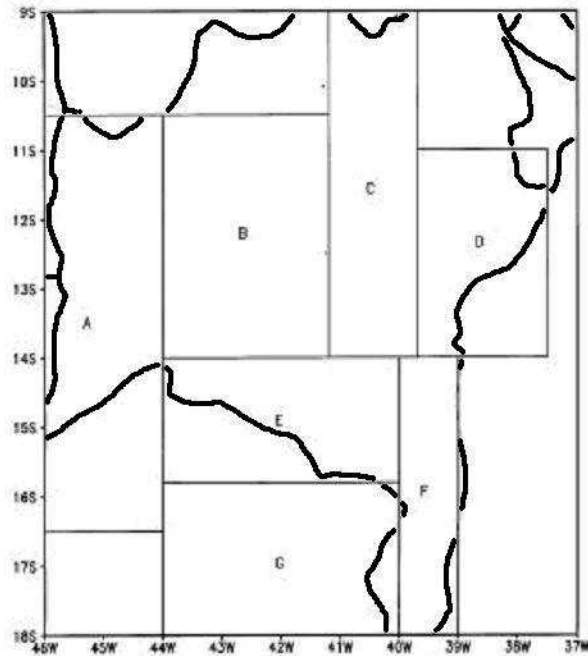


FIGURA 6: Delimitação de áreas homogêneas quanto à precipitação pluvial  
Fonte: Chaves (1999)

Araújo & Rodrigues (2000) consideram que o estado da Bahia pode ser seccionado em 8 regiões com características homogêneas, I - Região Oeste, II - São Francisco, III - Norte, IV - Chapada Diamantina, V - Sudoeste, VI - Sul, VII - Recôncavo e VIII - Nordeste, conforme é esquematizada na Figura 7. Nas regiões Oeste (I), São Francisco (II), Sudoeste (V), centro-sul do Recôncavo (VII) e Chapada Diamantina (IV), o período de maior ocorrência de chuvas é de novembro a março, com máximo em dezembro. Para as regiões da faixa leste do estado compreendida pelas regiões Sul (VI), Recôncavo (VII) e leste da Nordeste (VIII), o período chuvoso predominante ocorre entre os meses de abril a julho, com máximo em junho. Nas demais regiões, Norte (III) e Nordeste (VIII), dois máximos podem ser percebidos durante o ano, o primeiro em dezembro e o segundo entre os meses de outubro e janeiro.

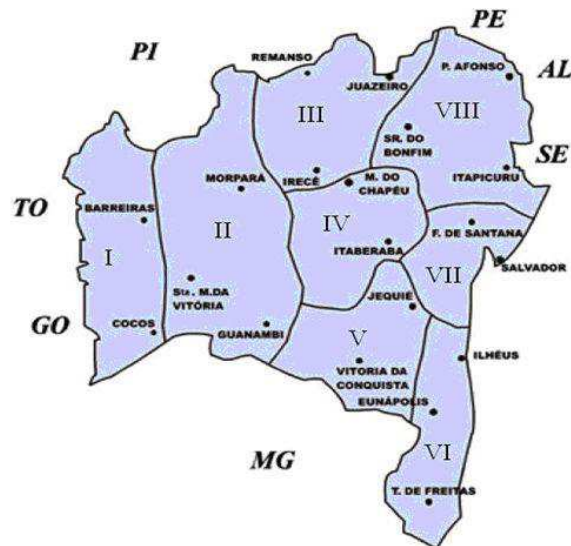


FIGURA 7: Uma proposta de divisão da Bahia para efeito de previsão de tempo e clima

Fonte: Araújo & Rodrigues (2000)

Tanaajura *et al.* (2010) trabalharam com a normal climatológica de 1960-1990 com dados oriundos de 29 estações meteorológicas do INMET. Depreenderam que nos meses dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) o máximo de precipitação está no oeste do estado da Bahia, sendo este máximo associado à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e com vestígios de frentes frias que penetram em baixas latitudes. Nos meses mais secos, junho, julho e agosto (JJA) foram notadas ausências ou quase ausência de chuvas, encontrando no semiárido valores de 25 mm. Por outro lado, nos meses setembro, outubro e novembro (SON) os valores encontrados para a precipitação variaram de 100 a 200 mm, com máximos no extremo sul e extremo oeste da Bahia. Calcularam-se para esta normal precipitação média mensal de 89,0 mm, máxima de 174,9 mm e mínima de 48,6 mm. Na Figura 8 são apresentadas as distribuições anual e trimestrais da precipitação climatológica normal para o Estado da Bahia. Pode-se visualizar, além da variação espacial, a variação temporal por trimestres da precipitação pluvial no decorrer do ano.

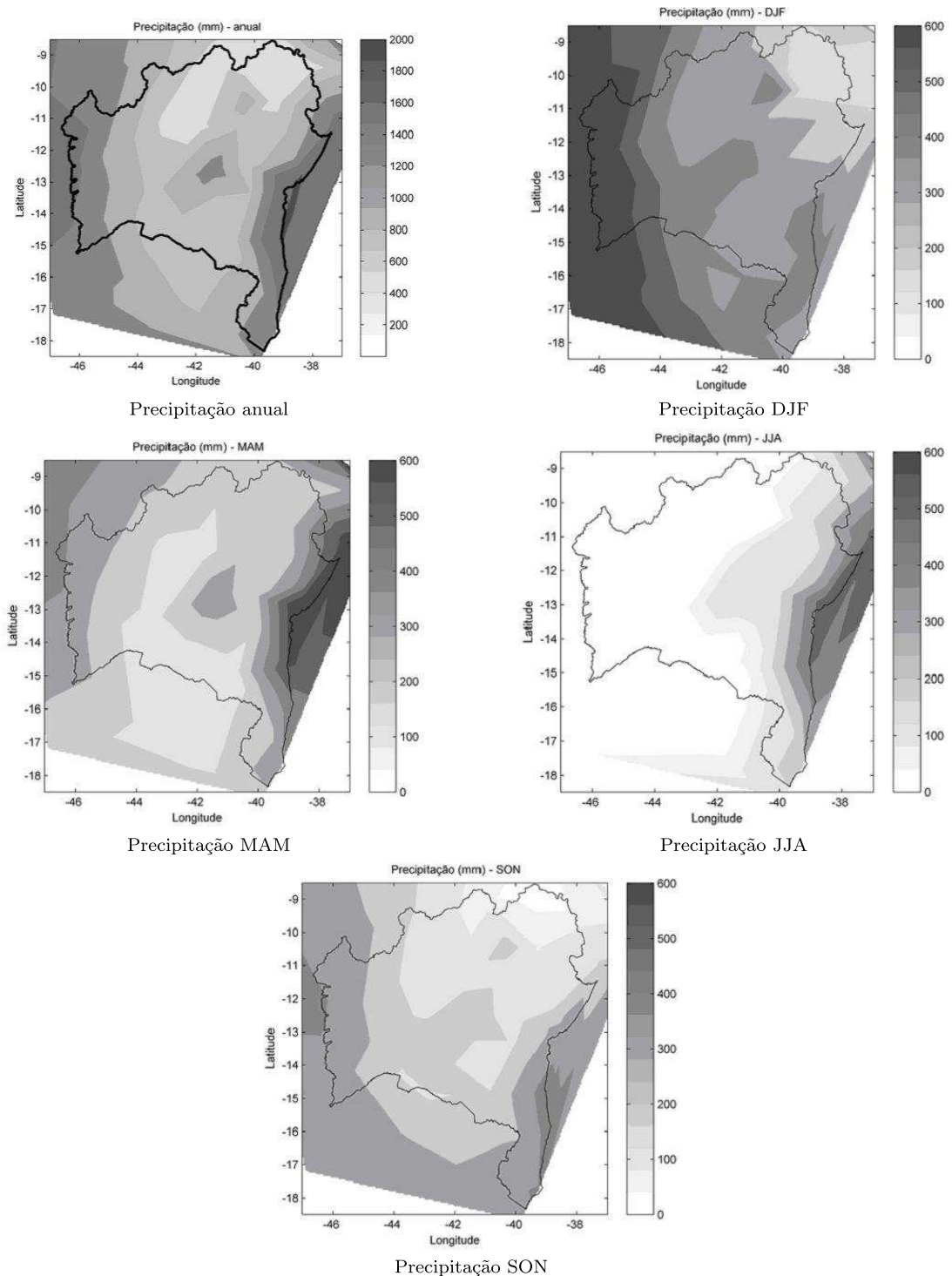


FIGURA 8: Precipitação climatológica (mm)  
 Fonte: Tanajura *et al.* (2010)

Observando a Figura 8 pode se verificar que em DJF, período mais chuvoso, a precipitação pluvial está mais concentrada a oeste do Estado. Características similares entre o oeste e litoral do Estado de precipitação total pode ser observada. Há também a variação temporal da precipitação pluvial no Estado, a

precipitação vai diminuindo a partir do trimestre DJF até JJA, depois torna-se a aumentar a partir de SON até DJF.

Considerando a variabilidade temporal, nota-se que o período que apresenta maior volume de chuva compreende os meses de outubro a março, a pluviometria de janeiro de 1997 a março de 2010, segundo AIBA (2010), são as apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3: Precipitação mensal e anual para o período 1997 a 2010, Oeste da Bahia

Ano	Mês												Total Anual
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1997	105,0	235,0	240,0	101,0	36,0	2,0	1,0	2,0	2,0	125,0	256,0	256,0	1.361,0
1998	235,0	253,0	205,0	95,0	32,0	4,0	-	-	68,0	123,0	256,0	235,0	1.506,0
1999	280,0	231,0	201,0	94,0	25,0	2,0	-	6,0	15,0	125,0	235,0	245,0	1.459,0
2000	268,0	236,0	214,0	92,0	39,0	3,0	-	8,0	55,0	169,0	256,0	234,0	1.574,0
2001	240,0	214,0	211,0	93,0	45,0	5,0	-	5,0	15,0	189,0	298,0	256,0	1.571,0
2002	250,0	236,0	205,0	95,0	54,0	5,0	-	9,0	55,0	157,0	210,0	263,0	1.539,0
2003	250,0	235,0	206,0	90,0	29,0	4,0	-	7,0	10,0	101,0	251,0	235,0	1.418,0
2004	260,0	269,0	210,0	85,0	23,0	3,0	-	6,0	10,0	68,0	297,0	200,0	1.431,0
2005	230,0	108,0	210,0	85,0	25,0	5,0	-	-	19,0	56,0	298,0	134,0	1.170,0
2006	21,0	289,0	323,5	254,5	31,5	-	-	-	44,5	235,0	307,5	127,5	1.634,0
2007	105,0	285,0	281,0	60,0	-	-	-	-	-	-	181,0	188,0	1.100,0
2008	151,3	151,0	198,1	187,4	19,6	-	-	-	58,5	13,8	309,3	196,6	1.285,6
2009	154,0	105,4	288,8	148,1	44,6	32,0	-	-	13,8	345,4	101,4	397,5	1.631,0
2010	172,5	153,2	308,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	194,4	214,3	235,9	105,7	31,1	5,0	0,1	3,3	28,1	131,3	250,5	228,3	1.428,0

Fonte: AIBA (2010)

O estado da Bahia possui diferentes comportamentos climatológicos. A distribuição sazonal da precipitação pluvial, bem como a sua distribuição espacial, é bastante variável. As médias pluviométricas apresentadas durante o verão são valores favoráveis ao cultivo tanto do algodão como da soja. Estas informações são de caráter essencial, principalmente para as atividades agrícolas. Por ser um fator climático limitante devido ao seu alto grau de variabilidade, as incertezas e riscos de programação são aumentados. A determinação de um padrão de distribuição espacial da precipitação pluvial é muito complexa devido à influência de vários fatores, tais como a topografia, a distância dos grandes corpos hídricos, a direção e caráter das massas de ar predominantes, entre outros.

### 3.5 Cultura da Soja

A soja (*Glycine max*) é uma planta de origem chinesa e atualmente, uma das principais plantas cultivadas em todo o mundo. No Brasil é uma cultura muito cultivada nas extensas áreas do cerrado. Segundo o sítio eletrônico do IBGE<sup>2</sup>, em 2012, a produção nacional diminuiu mais de 9,2 milhões de toneladas em relação ao ano anterior. Em contrapartida a previsão para 2013 é de aumento na produção, pois houve uma expansão da área plantada na ordem de 8,9%, superior a 2 milhões ha. Na região Nordeste do país, Piauí, Maranhão e Bahia, espera-se um total de 7 milhões de toneladas de soja.

É uma planta herbácea anual em que seu ciclo de vida pode variar de 70 a 180 dias, dependendo da variedade ser precoce ou tardia, contados desde a emergência até a maturação (ALMEIDA, 2005).

Os elementos climáticos que mais influenciam o crescimento e a produção da soja são: a precipitação pluvial, temperatura do ar e fotoperíodo. Muito sensível ao comprimento do dia que regula a indução floral e o crescimento das plantas (OLIVEIRA, 2010).

Para a semeadura a temperatura do ar adequada varia de 20°C a 30°C, sendo que 25°C é considerada uma temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme (FARIAS *et al.*, 2007).

O fotoperíodo e a temperatura são importantes no desenvolvimento da cultura da soja por provocarem mudanças qualitativas ao longo do seu ciclo vegetativo. Segundo Rodrigues *et al.* (2001) sabe-se que o intervalo de tempo, em número de dias entre a emergência e o florescimento, depende da influência da temperatura e do fotoperíodo. Existe um fotoperíodo curto capaz de induzir a floração e suficientemente longo para impedi-la, sendo denominado de fotoperíodo crítico. O fotoperíodo determina o rendimento da soja, pois controla os processos de floração e desenvolvimento vegetativo, e é o responsável pela transformação dos meristemas vegetativos em meristemas reprodutivos (flores).

<sup>2</sup> <http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2304>. Acesso em: 02 jul. 2013

A disponibilidade de água durante o estágio de crescimento constitui a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da cultura e na maior causa de variabilidade na produção, principalmente de um ano para outro. Aproximadamente 90% do peso da planta é água. A água age como solvente, meio ao qual os gases, minerais e outros solutos movem-se através da planta; também exerce a função de regulação térmica, agindo tanto no resfriamento como na manutenção e na distribuição do calor (FARIAS *et al.*, 2007).

Excesso ou déficit de água no solo podem interferir na produtividade da cultura, especialmente em certas fases em que a água é um fator importante. De acordo com Doorenbos & Kassam (1994) a soja apresenta cinco períodos vegetativos (FIGURA 9) e comentam que para cada período existem problemas causados pelo excesso ou falta de água.

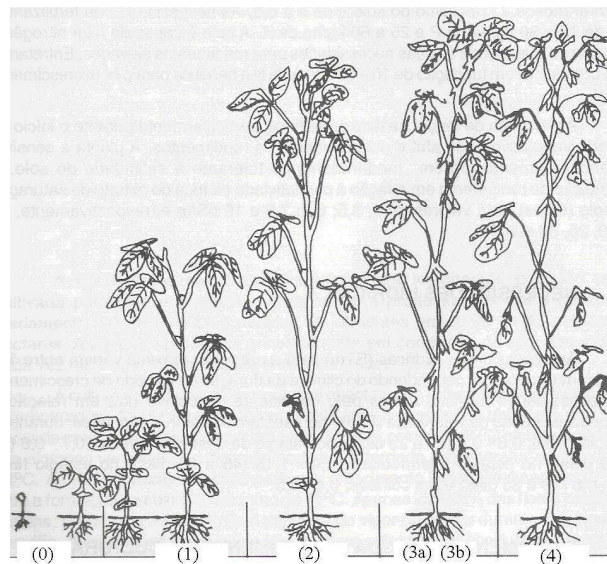


FIGURA 9: Estádios de desenvolvimento da soja

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

Para germinação, período de 0 a 10 dias, a quantidade de água disponível e suficiente deve estar entre 15 e 50% de esgotamento da água do solo, após o estabelecimento a cultura poderá suportar períodos de seca. No período vegetativo (1), que dura de 30 a 40 dias, o excesso ou deficiência retarda o crescimento. Os períodos (2) e (3), floração e formação da colheita, respectivamente, são os mais críticos quanto à falta de água, nestas fases o déficit pode causar queda das flores e abortamento das vagens (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Para Farias *et al.* (2007) a disponibilidade de água é importante, principalmente em dois períodos: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. No primeiro período tanto o excesso hídrico como o déficit, é prejudicial ao estabelecimento e à obtenção de uma boa uniformidade na cultura, sendo o excesso é mais limitante do que o déficit. Como a semente necessita absorver no mínimo 50% de seu peso em água para assegurar uma boa germinação, nessa etapa a quantidade de água no solo não deve exceder a 85% e nem ser inferior a 50%.

As necessidades hídricas dadas pelo coeficiente de cultura ( $kc$ ) em relação à evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), apresentam os seguintes valores segundo Doorenbos & Kassam (1994):

- durante o estágio inicial: 0,3 - 0,4 (20 a 25 dias)
- no estágio de desenvolvimento: 0,7 - 0,8 (25 a 30 dias)
- no estágio intermediário: 1,0 - 1,15 (45 a 60 dias)
- no estágio final: 0,7 - 0,8 (20 a 30 dias)
- colheita: 0,4 - 0,5.

Durante o período de floração e enchimento de grãos o consumo de água atinge cerca de 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup>, decrescendo após este período. O consumo mais elevado de água coincide com o período em que a cultura apresenta, geralmente, maiores altura e índice de área foliar. Para a obtenção do máximo rendimento a necessidade total de água apresenta uma variação entre 450 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup> (FARIAS *et al.*, 2007).

### 3.6 Cultura do Algodão

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é cultivado para a produção de fibras e sementes. Para Araújo *et al.* (2006) o clima influencia na produção do algodoeiro nos aspectos quantitativo e qualitativo. Em equilíbrio e em condições naturais, as

plantas respondem bem e externam seu potencial produtivo. Fatores climáticos como precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e intensidade de luz, interferem na cultura do algodão, portanto o plantio deve ser feito no período mais propício, quando os fatores forem mais favoráveis. Destes fatores citados o que mais interfere no crescimento e desenvolvimento da cultura é a temperatura do ar. Ela afeta significativamente a fenologia, expansão foliar, alongação dos internos, produção de biomassa e a partição de assimilados em diferentes partes da planta, segundo Reddy *et al.* (1991) e Larcher (2000), citados por Antonini (2009).

A temperatura ótima para a germinação é de 18°C a 30°C, aceitando mínima de 14°C e máxima de 40°C. Se ocorrer atraso na germinação as sementes podem ficar expostas à infestações por fungos no solo. Para seu desenvolvimento vegetativo inicial, a temperatura deve ser maior que 20°C, sendo 30°C a temperatura ideal. Para a formação apropriada dos botões, temperaturas diurna acima de 20°C e noturna superior a 12°C é desejável. Para o desenvolvimento e manutenção das maçãs temperaturas entre 27°C e 32°C são consideradas ótimas (ARAÚJO *et al.*, 2006; RICHETTI *et al.*, 2003).

Na semeadura, a umidade do solo deve ser adequada para a germinação e o estabelecimento do algodoeiro. No início do período vegetativo, as necessidades hídricas da cultura são baixas, aproximadamente 10% do total de área foliar, elevando-se, porém, durante o período de floração, quando a área foliar atinge seu máximo, entre 50 e 60% do total. Em etapas posteriores ao período de crescimento, essas necessidades diminuem. O algodoeiro necessita de suprimento adequado de água, particularmente, um pouco antes e durante a formação dos botões. Déficits hídricos severos durante a floração podem prejudicar o crescimento, porém, com subsequente suprimento de água o crescimento da planta é recuperado e a formação de flores é retomada. Os déficits hídricos iniciais e até a floração plena podem provocar efeito mais pronunciado sobre o rendimento em comparação com aqueles que ocorrem após essa fase (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Doorenbos & Kassam (1994) apresentam os períodos de crescimento (FI-

GURA 10) do algodão dispostos em cinco fases. Fase (0) representa o estabelecimento da cultura, durando cerca de 15 a 25 dias; o período vegetativo (1) dura cerca de 25 a 35 dias; o período (2) compreende a formação das gemas e abertura da flores, cerca de 60 a 70 dias; a formação da colheita é um período de 30 a 40 dias (3) e por último o período (4), maturação com duração de 15 a 20 dias. Em cada estágio de desenvolvimento da cultura o coeficiente de cultivo é:

- estágio inicial: 0,4 - 0,5 (20 a 30 dias)
- estágio de desenvolvimento: 0,7 - 0,8 (40 a 50 dias)
- estágio intermediário: 1,05 - 1,25 (50 a 60 dias)
- no estágio final: 0,8 - 0,9 (40 a 55 dias)
- na colheita: 0,65 - 0,7.

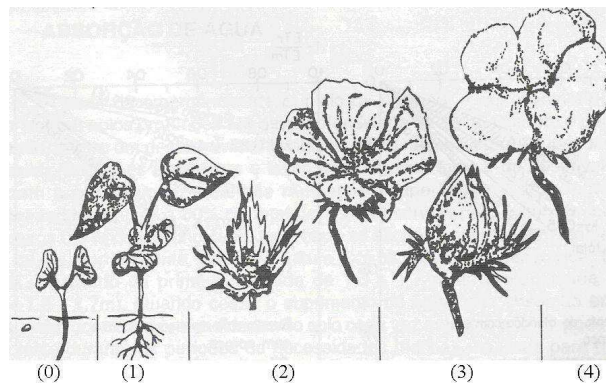


FIGURA 10: Estádios de desenvolvimento do algodão  
Fonte: Doorenbos e Kassam (1994)

O algodão é uma cultura não muito exigente de grande volumes de água durante seu ciclo. A época de plantio deve ser programada de forma que a colheita ocorra no período seco, evitando-se o comprometimento da qualidade da fibra colhida. A época de plantio no nordeste compreende os meses de novembro a maio (ARAÚJO *et al.*, 2003).

De acordo com Borges (2002), mesmo a cultura sendo resistente a curtos períodos de encharcamento, chuvas intensas podem causar acamamento das plantas. A chuva no período de floração e na abertura das maçãs comprometem a

polinização e a qualidade da fibra, além do mais, chuvas intensas podem provocar a queda dos botões florais e das maçãs jovens.

Segundo Souza *et al.* (2009) o algodão é uma das poucas opções de cultura para o semi-árido nordestino por esta região do Brasil possuir temperaturas do ar na faixa de 20 a 30°C, e disponibilidade lumínica favorável. O peso do capulho pode apresentar comportamento diferente, mesmo com a cultura não sofrendo estresse hídrico, por depender de fatores como as condições climáticas ou de solo, cultivar ou época do ano. Embora a cultura seja tolerante à seca, sua produção poderá apresentar redução devido à deficiência de umidade no solo.

Borges (2002) relata que o algodão é, também, extensivamente cultivado em condições de sequeiro e que o clima semi-árido do nordeste brasileiro apresenta aspectos favoráveis à cultura pela disponibilidade de energia, por exemplo. Por outro lado, a disponibilidade hídrica pluvial, devido à sua grande variabilidade espacial e temporal é um fator relevante devido às restrições.

### **3.7 Função de produção**

A atividade agrícola é a que apresenta maior dependência das condições do tempo e clima. As condições atmosféricas afetam todas as etapas da cadeia produtiva da atividade agrícola, compreendendo desde a semeadura até a colheita e, também, podendo afetar o transporte e armazenamento. Com o aumento da demanda por alimentos não é suficiente a ampliação das fronteiras agrícolas, é necessário aumentar a produtividade com a implantação de novas técnicas de cultivo, cultivares adaptadas e altamente produtivas e o uso racional dos recursos naturais e das condições meteorológicas (CORAL *et al.*, 2005).

A produtividade das culturas agrícolas é resultado da interação de vários fatores referentes ao solo, à planta e à atmosfera. São relações complexas as quais envolvem processos biológicos, fisiológicos, físicos e químicos. Esta relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas é denominada de função de produção (MAÑAS; VALERO, 1993; DOORENBOS; KASSAM, 1994; LEAL, 2000; FACCIOLI, 2002; FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

Segundo Frizzone & Andrade Júnior (2005) e Leal *et al.* (2003), o termo função de produção representa qualquer relação que caracteriza a resposta da cultura a um determinado fator, como água, fertilizante e energia. As funções de produção água-cultura desempenham um papel importante para análises da produção agrícola, principalmente quando a água é um fator limitante, permitindo tomadas de decisão sobre a adoção de estratégias de cultivo, como melhor planejamento do uso do solo, adaptação de culturas, monitoramento e previsão de safras, controle de pragas e doenças. As funções de produção água-cultura, genericamente, analisam a produção total de matéria seca ou matéria comercial das culturas, frente à transpiração, evapotranspiração ou lâmina de água aplicada na irrigação.

Os modelos agrometeorológicos desempenham uma excelente função na tomada de decisão a respeito da escolha correta da época de plantio, evitando que a cultura fique exposta a déficits hídricos nos estádios mais cruciais. Estes modelos consideram a influência de fatores climáticos sobre a produtividade da cultura, funcionando como medidores de eficiência. Apresentam dois aspectos negativos: o de serem específicos a uma localidade e de serem incompletos, no sentido de omitir efeitos de outros fatores e suas interações com a água (ARAÚJO *et al.*, 2011).

A precipitação pluvial é uma variável que pode ser quantificada e é um elemento meteorológico fundamental para as plantas, sendo essencial para o crescimento, desempenhando um papel importante na fotossíntese e, portanto, na produção. Segundo Doorenbos e Kassam (1979), citado por Frizzone & Andrade Júnior (2005), se o suprimento de água atende em sua totalidade às necessidades hídricas da cultura, a produtividade dependerá, principalmente, das características genéticas da planta e do grau de adaptação ao ambiente. Portanto, como os demais fatores de produção são considerados fixos, em nível ótimo, a produtividade depende exclusivamente da água, seja pela precipitação, seja pela irrigação.

Devido à facilidade em se obter valores para a evapotranspiração e devido à sustentação da hipótese de relação linear entre produção de matéria seca e transpiração, muitos modelos são baseados nesta variável. A relação entre a

produção e o efeito da quantidade de água fornecida para a planta pode ser determinada quando se puder quantificar as necessidades hídricas da cultura e os efeitos de déficits hídricos, juntamente com os rendimentos máximo e real da cultura (DOORENBOS; KASSAM, 1994; FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

O estresse hídrico tem efeito direto sobre a evapotranspiração e o rendimento da cultura. Considerando que as necessidades hídricas de uma cultura sejam atendidas plenamente mediante o suprimento de água disponível, a evapotranspiração real é igual à evapotranspiração máxima,  $ETr = ETm$ , indicando que a cultura em um estágio ou durante o ciclo não desenvolveu estresse hídrico. O estresse hídrico ocorre quando a evapotranspiração real é menor que a evapotranspiração máxima,  $ETr < ETm$ , afetando o rendimento da cultura. A determinação da  $ETr$  baseia-se no nível de água disponível no solo, definida como a lâmina de água entre os teores de água do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. Assim, a  $ETr = ETm$  quando a água disponível no solo for suficiente para a cultura. As culturas apresentam variações tanto no crescimento quanto no rendimento devido ao efeito do déficit hídrico (DOORENBOS; KASSAM, 1994; FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

Segundo Araújo *et al.* (2011) a inserção de modelos meteorológicos em programas de simulação de produtividade permite prever o impacto de mudanças climáticas sobre o comportamento da cultura e, verificando que os eventos meteorológicos se comportam igual à média dos anos anteriores, serve para indicar a melhor época de plantio para cada região, possibilitando a escolha correta da época de plantio que não exponha a cultura a déficits hídricos em momentos delicados à obtenção de uma boa produção.

Muitas pesquisas foram realizadas para se relacionarem a produção e quantidade de água consumida pela cultura e foram estes trabalhos que contribuíram para os estudos atuais sobre as relações água-cultura (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). As funções de produção são classificadas em dois grandes grupos: funções fisiológicas e funções empíricas e semi-empíricas. As funções fisiológicas, geralmente, são mais complexas e por outro lado, as funções empíricas e semi-empíricas não dependem das condições de solo, planta e clima, mas

são importantes por trabalhar com os efeitos do déficit hídrico das plantas. Já Mantovani (1993), citado por Faccioli (2002), destaca que o inconveniente dos modelos empíricos é a sua não transferibilidade para condições distintas em que foram ajustados, ou seja, estes modelos só são indicados para região a qual se está trabalhando.

Frizzone & Andrade Júnior (2005) comentam que alguns pesquisadores postularam a hipótese de que a água é igualmente disponível às plantas desde a capacidade de campo até o ponto de murcha permanente. Entretanto, outros pesquisadores, observaram redução na produção devido à quantidade de água disponível no solo. E, por conseguinte, foi demonstrado que a demanda evaporativa da atmosfera é o fator determinante das relações entre umidade do solo e evapotranspiração.

Sugawara *et al.* (2007) trabalharam com a técnica de análise de regressão múltipla para estimar a produtividade de cana-de-açúcar. Adotaram variáveis meteorológicas, espectrais e agronômicas, concluíram que é possível estimar a produtividade de cana-de-açúcar por meio destas variáveis.

Para estudar a previsão de produtividade de café para o estado de Minas Gerais, Carvalho *et al.* (2004), utilizaram um modelo de regressão linear múltipla. Consideraram como variáveis independentes (preditoras) variáveis climáticas, sendo selecionadas as que apresentaram melhores estatísticas por meio de componentes principais.

Scarpari (2002) destaca que modelos de previsão de produtividade e qualidade da matéria-prima são ferramentas importantes na lavoura canavieira. O uso desses modelos aumenta a eficácia das decisões gerenciais. Como os fatores ambientais são muito importantes na produtividade foi adotado pelo autor um modelo cujas variáveis preditoras eram compostas por variáveis climáticas, dentre elas a precipitação.

Dias *et al.* (1999) para estimar a produtividade da cana-de-açúcar utilizaram como variáveis independentes os fatores de solos em duas profundidades (pH, matéria orgânica, P disponível, etc) e clima (graus-dias, ETR/ETp, déficit

hídrico) e por meio da regressão múltipla foram gerados vários modelos os quais permitiram concluir que fatores climáticos como graus-dia e deficiência hídrica não apresentaram correlações significativas com o rendimento.

Anjos & Nery (2005) ajustaram equações lineares de regressão múltipla para estudarem o rendimento de grãos, para soja, trigo e milho, no Estado do Paraná considerando várias cidades produtoras. As variáveis independentes que foram adotadas no modelo: temperatura do ar, precipitação pluvial e umidade relativa representaram significativamente o rendimento das culturas. Comentaram, ainda, que modelos de regressão múltipla podem ser úteis para este fim.

### **3.8 IRRIPLUS®**

O IRRIPLUS®, programa de gerenciamento da irrigação, foi desenvolvido para atender o planejamento da exploração racional e auto-sustentável da propriedade agrícola, permitindo um manejo integrado das culturas agrícolas. Considera o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, planta e sistema de irrigação.

O sistema é dividido em duas partes: manejo e simulação. No módulo manejo o usuário fornece ao programa informações sobre solo, planta e dados locais e o sistema calcula a disponibilidade atual de água para a cultura em questão, fornecendo relatórios e gráficos. No módulo simulação o usuário define as condições climáticas e o programa, a partir das informações da cultura como época de plantio e local, gera uma base de dados correspondente ao consumo de água, ao déficit hídrico, à probabilidade de ocorrência de doenças e à duração da cultura.

Dispõe de um banco de dados climáticos oriundos da rede de estações do INMET, informações sobre a planta e o solo e os diversos sistemas de irrigação. O programa determina, diariamente, o balanço hídrico com base nos dados de solo, água, planta, equipamento e clima, gerando as necessidades hídricas das culturas (lâmina de irrigação).

O IRRIPLUS<sup>®</sup> realiza o balanço hídrico diário considerando as características do equipamento de irrigação, da cultura, do solo e do clima. As características do equipamento de irrigação incluem a forma de molhamento, o tamanho das gotas, a uniformidade de aplicação, etc. Para a cultura as características consideradas são as fases fenológicas, e as respectivas duração da fase, coeficientes de cultura, profundidade radicular, área sombreada, etc. No solo são consideradas as características físico-hídricas, como a capacidade de campo, ponto de murcha permanente, densidade, granulometria, etc. Quanto ao clima, consideram-se os dados de temperaturas do ar máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação.

O IRRIPLUS<sup>®</sup> calcula a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) por meio do modelo de Penman-Monteith, sendo representado segundo Hamakawa (2002), por:

$$ET_o = \frac{\delta}{(\delta + \gamma^*)} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(\delta + \gamma^*)} \frac{900}{(t + 273)} U_2 (e_s - e_d) \quad (1)$$

Em que:

- $ET_o$ : evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );
- $R_n$ : saldo da radiação ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ );
- $G$ : fluxo de calor no solo ( $\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$ );
- $t$ : temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $U_2$ : velocidade média do vento, medida a 2 metros de altura no período de 24 horas ( $\text{m s}^{-1}$ );
- $e_s$ : pressão de vapor de saturação à temperatura média (kPa);
- $e_d$ : pressão de vapor média diária (kPa);
- $\delta$ : declividade da curva de pressão de vapor de saturação na temperatura  $t$  ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );
- $\gamma$ : coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );

- $\gamma^*$ : coeficiente psicrométrico modificado ( $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$ );
- $\lambda$ : calor latente de evapotranspiração da cultura à temperatura  $t$  ( $\text{MJkg}^{-1}$  - vapor de água).

Para o cálculo da evapotranspiração da cultura o programa considera o modelo formulado por Mantovani & Costa (1998), conforme Equação 2:

$$ET_c = ET_o \cdot K_c \cdot K_s \cdot K_l \quad (2)$$

Em que:

- $ET_c$ : evapotranspiração da cultura, em  $\text{mm d}^{-1}$ ;
- $ET_o$ : evapotranspiração de referência, em  $\text{mm d}^{-1}$ ;
- $K_c$ : coeficiente de cultura, adimensional;
- $K_s$ : coeficiente de estresse hídrico, adimensional;
- $K_l$ : coeficiente de localização, adimensional.

O valor do coeficiente de estresse ( $K_s$ ) é calculado utilizando-se o modelo logarítmico proposto por Bernardo *et al.* (2006):

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CTA + 1)} \quad (3)$$

Em que:

- $K_s$ : coeficiente de estresse;
- $LAA$ : lâmina atual de água no solo, em mm;
- $CTA$ : capacidade total de água no solo, em mm.

No caso de utilização de sistemas irrigados, utiliza-se o valor do coeficiente de localização de irrigação ( $K_l$ ) que é calculado em função da porcentagem de

área molhada ou sombreada, existindo diversos modelos (MANTOVANI *et al.*, 2009) sendo que o modelo desenvolvido por Keller & Bliesner (1990) é o mais utilizado:

$$Kl = 0,1\sqrt{P} \quad (4)$$

Em que:

- $Kl$ : coeficiente de localização de irrigação, adimensional;
- $P$  porcentagem de área molhada ou sombreada, %.

As entradas no modelo do balanço hídrico são as variáveis precipitação e irrigação. O IRRIPLUS<sup>®</sup> gera relatórios e gráficos correspondentes ao consumo de água, ao déficit hídrico, à probabilidade de ocorrência de doença e a duração do ciclo da cultura. Todas estas características o torna uma ferramenta muito útil para o monitoramento da disponibilidade de água no solo durante cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Paiva *et al.* (2011) utilizaram o programa IRRIPLUS<sup>®</sup> para acompanhar o balanço hídrico de um experimento para verificar se o manejo da irrigação influenciava no progresso da ferrugem do cafeeiro.

Costa *et al.* (2010) trabalharam com IRRIPLUS<sup>®</sup> para realizar o manejo da irrigação inserindo informações da Estação Climatológica da Universidade Estadual de Maringá ao banco de dados. O trabalho foi desenvolvido avaliando duas cultivares de café em diferentes cultivos: não irrigado, irrigado e fertirrigado.

Fernandes *et al.* (2009a) avaliaram os efeitos das variáveis ambientais, de lâminas de irrigação via gotejamento e da predação por vespas na densidade populacional do bicho-mineiro do café *Leucoptera coffeella*. Para a realização do experimento adotaram uma lâmina de irrigação tomando como referência a lâmina diária requerida pelo programa IRRIPLUS<sup>®</sup> e mais outras quatro, sendo duas abaixo e duas acima da referência.

Palaretti (2009) para estudar os efeitos do déficit hídrico na produção da laranjeira no Norte do Estado de São Paulo utilizou dados meteorológicos diários

locais e o programa IRRIPLUS<sup>®</sup> para realização do balanço hídrico. Durante o experimento o balanço hídrico gerado pelo IRRIPLUS<sup>®</sup> foi adotado para tomada de decisões com relação ao momento e quantidade de água a ser aplicada.

A saída padrão do balanço hídrico do programa IRRIPLUS<sup>®</sup> é uma tela como a apresentada na Figura 11. Nesta tela estão apresentadas as informações: local, limite da capacidade de campo, curva do balanço hídrico (umidade do solo), fator de segurança ( $f$ ), ponto de murcha permanente, início e fim de cada estágio da cultura, segundo Doorenbos & Kassam (1994), precipitação pluviométrica diária, excesso de precipitação pluviométrica diária e a data das observações.

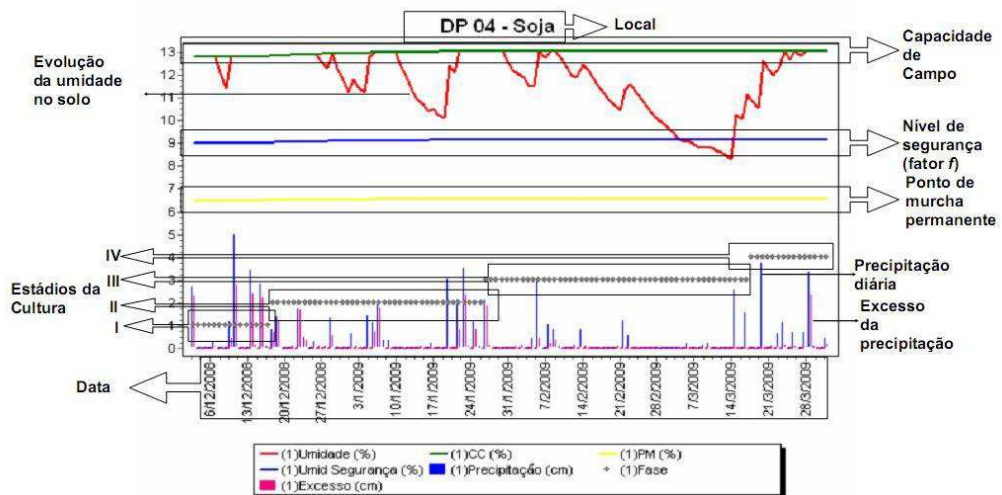


FIGURA 11: Tela de saída do balanço hídrico fornecido pelo programa IRRIPLUS<sup>®</sup>, modelo geral

A evolução da umidade no solo, representada pela cor vermelha, oscila entre os valores de capacidade de campo, ponto de murcha permanente e umidade de segurança. Os estádios de desenvolvimento da cultura adotados pelo IRRIPLUS<sup>®</sup>, I, II, III e IV são os apresentados por Doorenbos & Kassam (1994).

Estas informações apresentadas na Figura 11 são consideradas ao analisar o balanço hídrico e os modelos de regressão ajustados para cada cultura e safra.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Material

Este trabalho foi conduzido em 15 fazendas do Grupo MAEDA S/A, localizadas nos municípios de São Desidério e Correntina, extremo oeste baiano, somando um total de mais de 30 mil hectares de área. Os dados coletados são referentes às safras 2008/09 e 2009/10 das culturas algodão e soja. As datas de plantio foram para a cultura do algodão de 06/12/2008 a 09/01/2009 e 30/11/2009 a 21/12/2009 e para a cultura da soja foram 05/11/2008 a 22/12/2008 e 22/10/2009 a 16/12/2009, respectivamente para a primeira e segunda safra.

Tais informações foram coletadas pela empresa IRRIGER, que se dedica à prestação de serviços relacionados à gestão da irrigação e da precipitação pluviométrica em área de produção agrícola extensiva, utilizando critérios técnicos adequados e ferramentas de análise comprovadas cientificamente (MANTOVANI; MOREIRA, 2010).

Foram instalados um total de 58 pluviógrafos para acompanhar a precipitação pluvial nessas fazendas, distanciados entre si por no mínimo por aproximadamente 2 mil metros, podendo ter uma fazenda mais de um pluviógrafo dependendo do número de gleba cultivada. Destes 58, foram utilizados 56, da safra 2008/09 e 42 da safra 2009/10, podendo ser visualizada a distribuição espacial dos mesmos na área em estudo na Figura 12.

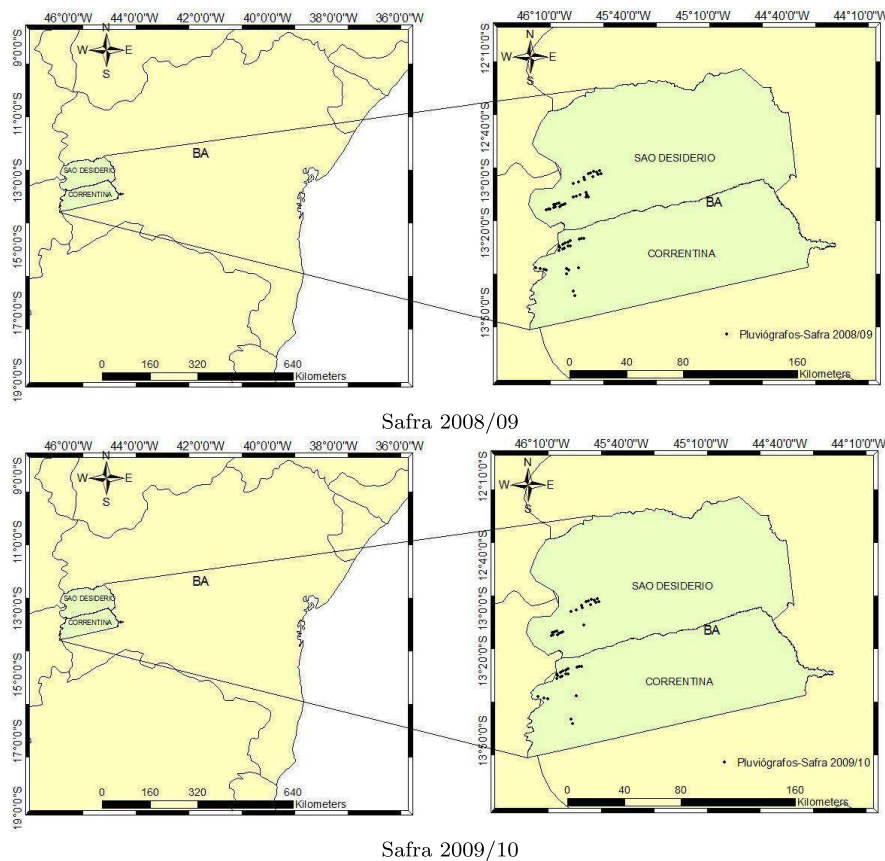


FIGURA 12: Distribuição espacial dos pluviógrafos na área de estudo

Nestas fazendas também foram levantadas as curvas de retenção de água do solo para determinação da capacidade de campo e ponto de murcha permanente e a densidade aparente em três profundidades (0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm). Para cada cultura e cultivar foi adotado um fator  $f$ , fator de disponibilidade de água no solo, que é um parâmetro que limita a parte da água que está disponível no solo para a planta e funciona como um fator de segurança abaixo do qual a cultura sofre pelo déficit hídrico, ou seja, é um parâmetro entre a capacidade de campo ( $cc$ ) e ponto de murcha permanente ( $pm$ ). Acompanhou-se o balanço hídrico de cada cultura usando o programa IRRIPLUS<sup>®</sup>, desde o plantio até a colheita de cada cultura utilizando-se destas informações.

Com os valores de  $f$ ,  $cc$  e  $pm$  foram calculadas, para cada gleba onde foram instalados os pluviógrafos, a disponibilidade real de água no solo ( $DRA$ ), que é definida como a fração da disponibilidade total de água no solo que a cultura poderá utilizar sem afetar significativamente a sua produtividade, dada

pela Equação 5 (BERNARDO *et al.*, 2006):

$$DRA = DTA \times f \quad (5)$$

Em que:

- *DRA*: disponibilidade real de água no solo (mm cm<sup>-1</sup> de solo);
- *DTA*: disponibilidade total de água no solo (mm cm<sup>-1</sup> de solo);
- *f*: fator de disponibilidade de água no solo.

A disponibilidade total de água no solo (*DTA*), calculada pela Equação 6, é uma característica do solo que corresponde à água armazenada no intervalo entre as umidades correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha permanente. Pode ser expressa em altura de lâmina de água por profundidade do solo, geralmente em mm de água por cm de solo ou em volume de água por unidade de área de solo (BERNARDO *et al.*, 2006).

$$DTA = \frac{cc - pm}{10} da \quad (6)$$

Em que:

- *DTA*: disponibilidade total de água no solo (mm cm<sup>-1</sup> de solo);
- *cc*: capacidade de campo (% em peso);
- *pm*: ponto de murcha permanente (% em peso);
- *da*: densidade aparente do solo (g cm<sup>-3</sup>).

Utilizando o programa IRRIPLUS<sup>®</sup> acompanhou-se, desde o plantio até a colheita, os dados da precipitação efetiva, a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração da cultura, sendo os dados da precipitação oriundos dos pluviógrafos.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Regressão Múltipla

Quando a intenção é avaliar a relação de uma variável de interesse  $Y$  (variável dependente ou variável resposta) em relação a  $k$  variáveis  $X_j$  (variável independente ou covariável),  $j = 1, 2, \dots, k$ , um modelo do tipo apresentado na Equação 7, permite avaliar essa relação (CHARNET *et al.*, 2008; COELHO-BARROS *et al.*, 2008; CHATTERJEE; HADI, 2006; WEISBERG, 2005; MONTGOMERY; RUNGER, 2002):

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Em que:

- $y_i$ : é a  $i$ -ésima observação da variável dependente ( $Y$ );
- $x_{ij}$ : são os valores da variável preditora na  $i$ -ésima observação;
- $\beta_0$  e  $\beta_j$ : são os coeficientes de regressão que serão estimados;
- $\varepsilon_i$ : é o erro aleatório assumido como independente com distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

A Equação 7 é chamada de equação de regressão linear múltipla. Pode-se pensar que a regressão linear múltipla é uma generalização da regressão linear simples ou similarmente que a regressão linear simples é um caso particular da regressão múltipla. Sendo que qualquer regressão simples pode ser obtida de uma regressão linear múltipla quando o número de variáveis predictoras (independentes) for igual a 1,  $k = 1$ .

Para estimar os coeficientes de regressão,  $\beta_0$  e  $\beta_j$ , com  $j = 1, 2, \dots, k$ , o método dos mínimos quadrados (MMQ) pode ser utilizado (CHARNET *et al.*, 2008; COELHO-BARROS *et al.*, 2008; MONTGOMERY; RUNGER, 2002; DRAPER; SMITH,



variáveis independentes ou regressores a ser usado. Nesta situação o interesse do pesquisador é o de filtrar as variáveis candidatas para obter um modelo de regressão que contenha um subconjunto de regressores os quais desempenhariam satisfatoriamente o uso pretendido do modelo.

Ao trabalhar com regressão múltipla espera-se encontrar associação entre a variável dependente e as variáveis independentes. Entretanto, há situações em que as variáveis independentes podem apresentar dependência entre si, sendo necessário detectar quais variáveis possuem tal característica para serem tomadas ações corretivas antes de se definir um modelo.

Ao tratar-se de duas variáveis independentes, a associação, medida como a correlação, é denominada colinearidade. A partir de três variáveis esta associação recebe o nome de multicolinearidade. Para Hair Jr. *et al.* (2009) é comum usar os termos colinearidade e multicolinearidade para representar a mesma coisa, embora tenham significado estatístico distinto. Segundo Chatterjee & Hadi (2006) a multicolinearidade é um problema extremamente difícil de se detectar, não se trata de um erro de especificação que pode ser descoberto ao estudar os resíduos e, também, não é um erro de modelagem, trata-se de um problema dos dados.

A presença da multicolinearidade no modelo pode apresentar grandes mudanças nos coeficientes de regressão estimados quando uma variável é adicionada ou descartada e grandes mudanças nos coeficientes quando um ponto de dados é alterado ou excluído. A presença da multicolinearidade é também indicada pela correlação entre duas variáveis preditoras. Alta correlação entre duas variáveis indica uma forte relação linear entre elas (colinearidade). Entretanto a multicolinearidade pode ser mais sutil do que uma relação entre duas variáveis, ela poderá envolver muitas variáveis preditoras (CHATTERJEE; HADI, 2006).

A multicolinearidade pode ser investigada pelo estudo do valor do  $R^2$  (quadrado do coeficiente de correlação múltipla) de uma das variáveis preditoras contra todas as outras. A relação entre as variáveis preditoras pode ser medida pela estatística fator de inflação da variância (*VIF*) apresentada na Equação 11

(CHATTERJEE; HADI, 2006):

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}, \quad j = 1, 2, \dots, p \quad (11)$$

Em que:

- $R_j^2$ : é o quadrado do coeficiente de correlação múltipla resultante quando a variável  $X_j$  é regredida contra as outras variáveis preditoras;
- $p$ : é o número de variáveis preditoras.

O  $VIF_j$  corresponde ao  $j$ -ésimo elemento da diagonal principal da matriz  $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$  e também mede o quanto a variância do coeficiente  $\hat{\beta}_j$  é inflacionada por sua colinearidade.

Havendo uma forte correlação linear entre a variável  $X_j$  em relação às demais o  $R_j^2$  está próximo de 1, logo o  $VIF$  será alto. Na ausência de colinearidade o  $R_j^2$  é um valor próximo a 0, e assim,  $VIF$  próximo de 1.

Hair Jr. *et al.* (2009) e Chatterjee & Hadi (2006) consideram que há problemas de colinearidade nos dados quando os valores de  $VIF$  são maiores que 10. Para Heiberger (2013) valores de  $VIF$  superiores a 5 já evidenciam a presença de colinearidade. Entretanto, outros autores, como citam Darvishzadeh *et al.* (2008), consideram valores de  $VIF$  maiores que do 4 como indicativo colinearidade.

Detecta-se, também, a multicolinearidade por meio da observação da análise de variância da regressão. Se o teste  $F$  for significativo, porém os testes para os coeficientes individuais de regressão não forem, há indícios de que a multicolinearidade possa estar presente (CHATTERJEE; HADI, 2006; MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Outra forma de observar a presença de multicolinearidade é por meio do estudo dos autovalores da matriz de correlação das variáveis independentes. Segundo Chatterjee & Hadi (2006) a presença de pequenos autovalores indica

colinearidade. Se a condição, Equação 12, apresentar um valor maior do que 15, as variáveis são colineares.

$$k = \sqrt{\lambda_{max}/\lambda_{min}} \quad (12)$$

Em que  $\lambda_{max}$  e  $\lambda_{min}$  são, respectivamente, o maior e menor autovalores da matriz de correlação.

De acordo com Hair Jr. *et al.* (2009) a multicolinearidade reduz o poder preditivo de qualquer variável independente na medida em que ela é associada com as outras variáveis independentes, assim é necessário, a partir de um dado número de variáveis independentes, procurar variáveis independentes que tenham baixa colinearidade com as outras variáveis independentes, mas que apresentem correlações elevadas com a variável dependente.

Algumas ações corretivas para multicolinearidade podem ser adotadas: aumentar os dados com novas observações, remover as variáveis mais altamente correlacionados do modelo, usar variáveis independentes altamente correlacionadas apenas com a dependente e usar técnicas alternativas ao método dos mínimos quadrados, como *ridge regression* (regressão corrigida), regressão Bayesiana ou componentes principais (MONTGOMERY; RUNGER, 2003; CHATTERJEE; HADI, 2006; HAIR JR. *et al.*, 2009).

Estudada a colinearidade (ou multicolinearidade) a próxima etapa é a confecção do modelo de regressão. Vários métodos podem ser adotados para estudar a influência de cada variável candidata a compor o modelo. Havendo  $n$  variáveis independentes o número de equações a serem examinadas a comporem o modelo é igual a  $2^n$ . A escolha do melhor modelo pode ser feita por quatro procedimentos (MONTGOMERY; RUNGER, 2003; WEISBERG, 2005; CHATTERJEE; HADI, 2006; CHARNET *et al.*, 2008): todas as regressões possíveis, seleção progressiva ou passo a frente (*forward*), eliminação regressiva ou passo atrás (*backward*) e regressão por etapas ou passo a passo (*stepwise*).

A seleção por meio da abordagem de todas as regressões possíveis consiste em ajustar todas as equações de regressão envolvendo uma variável candidata,

depois envolvendo duas candidatas e assim por diante. As equações para as  $p$  variáveis candidatas são avaliadas de acordo com as estatísticas: coeficiente de determinação múltiplo de cada modelo ( $R_p^2$ ),  $C_p$  de Mallows e  $R_p^2$  ajustado, apresentadas, respectivamente, por:

$$R_p^2 = \frac{SQ_R(p)}{SQ_T} = 1 - \frac{SQ_E(p)}{SQ_T} \quad (13)$$

$$C_p = \frac{SQ_E(p)}{\hat{\sigma}^2} + (2p - n) \quad (14)$$

$$\bar{R}_p^2 = 1 - \frac{n-1}{n-p}(1 - R_p^2) \quad (15)$$

Em que:

- $SQ_R(p)$ : é a soma de quadrados da regressão obtida na análise de variância;
- $SQ_E(p)$ : é soma de quadrados dos erros obtida na análise de variância;
- $SQ_T$ : é a soma de quadrados total obtida na análise de variância;
- $\hat{\sigma}^2$ : é o quadrado médio do erro obtido na análise de variância;
- $n$ : é o número de observações;
- $p$ : é o número de variáveis regressoras (independentes).

Para a estatística apresentada na Equação 13 é adicionada variáveis no modelo até o momento em que uma variável não seja mais útil devido ao pequeno aumento no valor desta estatística. Já para a estatística da Equação 14, o melhor é apresentar um valor mínimo ou um valor levemente maior que  $p$  (número de variáveis independentes). Por outro lado, para a Equação 15 deve-se observar o modelo que apresentar um valor máximo para esta estatística (MONTGOMERY; RUNGER, 2003). Existem outros critérios, como Akaike e suas modificações que podem ser vistos mais detalhadamente em Chatterjee & Hadi (2006). Quando o número de variáveis é grande este procedimento é bastante trabalhoso.

O método de seleção progressiva (*forward*) inicia com um modelo sem as variáveis independentes, somente com o termo constante. Insere, primeiramente, a variável que tem maior correlação com a variável dependente. Se o coeficiente

de regressão for significativo, a variável é retida na equação. A próxima variável candidata é aquela que possui maior correlação. Testa-se o coeficiente de regressão, se significativo, busca-se uma nova variável, e assim por diante até que a última variável tenha um coeficiente de regressão significativo ou que todas as variáveis sejam incluídas (CHATTERJEE; HADI, 2006).

A eliminação regressiva (*backward*) adota todos os possíveis candidatos ao modelo, inicialmente. Percorre todas as etapas de eliminação nas quais uma variável pode ser eliminada. As variáveis são descartadas em função da contribuição para a redução da soma de quadrados dos resíduos. Isto, equivale a eliminar a variável que tem menor valor para o teste  $t$ . Aparecendo mais de uma variável com  $t$  não significativo é suprimida a variável com menor  $t$  não significativo e o processo continua sem esta variável. O procedimento é encerrado quando todos os testes  $t$  são significativos ou todas as variáveis forem eliminadas (MONTGOMERY; RUNGER, 2003; CHATTERJEE; HADI, 2006; CHARNET *et al.*, 2008).

A seleção por etapas (*stepwise*) é similar ao método *forward*, mas com a condição de que uma variável pode ser eliminada, como *backward*. A tomada de decisão para incluir e eliminar uma variável é mesma adotada pelos procedimentos *forward* e *backward*. Estatísticas como o Critério de Informação de Akaike ( $AIC$ ), apresentado na Equação 16 e o Critério de Informação Bayesiano ( $BIC$ ), Equação 17 podem ser usadas para a seleção do modelo. O procedimento é finalizado quando a adição de uma variável não causa redução em  $AIC$  ( $BIC$ ).

$$AIC_p = n \log \frac{SQ_E(p)}{n} + 2p \quad (16)$$

$$BIC_p = n \log \frac{SQ_E(p)}{n} + p(\log n) \quad (17)$$

Em que:

- $SQ_E(p)$ : é soma de quadrados dos erros obtida na análise de variância;
- $n$ : é o número de observações;
- $p$ : é o número de variáveis independentes no modelo.

Para ajustar uma equação de regressão múltipla não há uma sequência única de etapas. Uma possível sequência poderia ser (CHATTERJEE; HADI, 2006):

1. Examinar todas as variáveis uma por uma por meio de estatísticas descritivas.
2. Detectar se há problema de colinearidade (ou multicolinearidade) nas variáveis independentes.
3. Ajustar o modelo de regressão (após excluir variáveis não significativas) e examinar os resíduos:
  - (a) cheque a linearidade;
  - (b) cheque a heterocedasticidade e autocorrelação;
  - (c) cheque os *outliers*.
4. Observe o *VIF* no modelo final ajustado para verificar se há presença de multicolinearidade.

Para verificar as pressuposições dos resíduos podem ser adotados os testes estatísticos: Shapiro-Wilk (normalidade), Breusch-Pagan (homogeneidade de variância) e Breusch-Godfrey (independência dos resíduos). No teste Shapiro-Wilk a hipótese nula é que os resíduos seguem distribuição normal. No teste Breusch-Pagan a hipótese nula é a de homogeneidade de variância. Já para o teste Breusch-Godfrey a hipótese nula é que os resíduos são independentes, portanto a rejeição da hipótese nula indica dependência dos mesmos. O teste de Breusch-Godfrey se aplica a processos auto-regressivos de qualquer ordem, ele preferível ao teste de Durbin-Watson quando a variáveis independentes não são fixas (GUJARATI, 2006; SOUSA, 2012).

Uma estatística que poderá ser utilizada para definir a precisão e exatidão de um modelo pode ser o Índice de Concordância de Willmott, Equação 18. Este índice é uma medida de quão bem o modelo estima o afastamento dos dados em relação à média observada. O seu valor varia entre 0 e 1, sendo que valores

próximos a 1 mostram uma boa concordância (??).

$$d_w = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (18)$$

Em que:  $N$  é o número de observações;  $E_i$  são os valores estimados pelo modelo;  $O_i$  são os valores observados e  $\bar{O}$  corresponde à média dos valores observados.

Alencar *et al.* (2011) utilizaram o índice de Willmott para avaliar modelos de estimativas da evapotranspiração de referência para três localidades no Norte de Minas Gerais.

Santos *et al.* (2011) investigaram dois índices que medem a anomalia da umidade para estudarem a influência da seca na produtividade do milho nas mesorregiões do estado de Minas Gerais, adotaram o índice de concordância de Willmott para verificarem a relação entre o modelo e os valores observados.

Silva & Souza (2011) compararam vários métodos para estimar a evapotranspiração de referência no semiárido Pernambucano. Usaram o índice de concordância de Willmott para classificarem os métodos quanto às suas estimativas de evapotranspiração de referência.

Para o estudo das variáveis que possivelmente influenciam na produtividade das culturas, algodão e soja, foi adotado um modelo de regressão linear múltipla, sendo apresentado na Equação 19:

$$\begin{aligned} \text{produt} = \beta_0 + \beta_1 \text{data} + \beta_2 \text{etpctotal} + \beta_3 \text{etcttotal} + \beta_4 \text{preceftv} + \beta_5 \text{dra1} + \\ + \beta_6 \text{dra2} + \beta_7 \text{dra3} + \epsilon_i \end{aligned} \quad (19)$$

Em que:

- *produt*: produtividade da cultura (algodão ou soja) nas safras estudadas;
- $\beta_0$  e  $\beta_j$ : são os coeficientes de regressão a serem estimados,  $j = 1, 2, \dots, 7$ ;

- *data*: data do plantio;
- *etpctotal*: evapotranspiração de referência total da cultura;
- *etctotal*: evapotranspiração total da cultura;
- *preceftv*: precipitação efetiva;
- *dra1*, *dra2*, *dra3*: disponibilidade real de água no solo em três profundidades;
- $\epsilon_i$ : é o erro aleatório assumido como independente com distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Primeiramente, por meio do programa R (R Development Core Team, 2012), realizou-se um estudo descritivo dos dados, das correlações múltiplas e da multicolinearidade e procurou-se por valores discrepantes (*outliers*).

As variáveis independentes que apresentavam *VIF* acima de 5 foram excluídas de acordo com Heiberger (2013). Para o cálculo do *VIF* utilizou-se o pacote *car* (FOX; WEISBERG, 2011) do programa R (R Development Core Team, 2012).

Com o modelo de regressão reduzido (sem variáveis colineares) para cada cultura e safra com base no procedimento *stepwise*, utilizando o programa R (R Development Core Team, 2012), buscou-se o modelo que apresentou menor *AIC*. A partir deste resultado foi calculado o coeficiente de determinação ajustado,  $R_{aj}^2$ , para selecionar modelos mais simples, mas que apresentam valores de  $R_{aj}^2$  iguais ou próximos a um modelo mais complexo.

O  $R^2$  (coeficiente de determinação) é uma medida da proporção da variação da variável resposta  $y$  que é explicada pela equação de regressão quando as variáveis  $x_{ij}$  estão no modelo. Entretanto, um grande valor de  $R^2$  não implica necessariamente que o modelo de regressão seja bom, pois a adição de uma variável ao modelo faz com que este valor aumente, sem contar se a variável que se adiciona é ou não estatisticamente significativa. O  $R^2$  não é um bom indicador

da qualidade do ajuste do modelo. Portanto, o  $R_{aj}^2$  é preferível porque considera o número de variáveis regressoras no modelo. Ao contrário do  $R^2$ , o  $R_{aj}^2$  não aumenta sempre quando uma nova variável é adicionada ao modelo. Este só aumenta se houver vantagem na adição desta nova variável no modelo (TRIOLA, 1999; DEVORE, 2012).

Encontrado o modelo, verificou-se a colinearidade novamente, e as pressuposições do modelo de regressão linear múltipla: normalidade, homogeneidade de variância e a independência dos resíduos, por meio do pacote *lmtest* (ZEILEIS; HOTHORN, 2002), do programa R (R Development Core Team, 2012). Por último foi calculado o Índice de Concordância de Willmott para verificar o afastamento dos dados em relação à média observada.

#### 4.2.2 Semivariograma e krigagem

Considerando que uma variável  $Z$  foi observada no espaço (ou tempo) ela não mais representa uma população univariada estatisticamente independente, mas é parte de uma população multivariada em que os valores de  $Z$  podem não mais serem estritamente independentes do ponto de vista estatístico. A variável  $Z$  considerada é denominada de variável regionalizada.

Adotando um sistema de coordenadas ( $x$  e  $y$ ) e as várias amostras obtidas nesse sistema de coordenadas da variável  $Z$ , pode-se observar que as que estão mais próximas produzem respostas mais parecidas das que as que se encontram mais distantes. Desta forma, a variável  $Z$  considerada poderá possuir ou não variabilidade espacial ou variabilidade temporal. Por variabilidade espacial entende-se como aquela variabilidade que a variável  $Z$  observada possui ao longo de uma região (área de estudo). Por outro lado, a variabilidade temporal representa a variabilidade da variável  $Z$  em diferentes períodos de tempo. Em ambos os casos poderão ser construídos mapas para observação da variabilidade, por exemplo, mapas de produtividade ou fertilidade e mapas de produtividade de diferentes safras.

A pressuposição mais importante para a realização das análises de varia-

bilidade espacial e/ou temporal é a autocorrelação. Por autocorrelação entende-se dependência espacial. Nos fenômenos naturais é de se esperar que os valores coletados de uma variável em pontos próximos um dos outros tendem a apresentar maior semelhança entre si, do que os pontos mais distantes: pela primeira lei da geografia (MONTAGNA, 2001).

Considerando que a associação das variáveis em pontos distintos é maior à medida que se reduz a distância entre eles, a semivariância mede esta dissimilaridade (BUFON, 2005). Baseando-se nas estimativas das semivariâncias dos dados experimentais a variabilidade espacial é representada, em função da distância de separação, pelo gráfico correlograma e/ou semivariograma. O semivariograma é preferível por não depender do valor da média da variável regionalizada (GRIMES; PARDO-IGÚZQUIZA, 2010). O mesmo é representado por:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i + h) - Z(x_i))^2 \quad (20)$$

Em que:

- $h$ : representa o vetor de separação entre dois pontos;
- $N(h)$ : representa o número de pares de pontos separados por uma distância  $h$ ;
- $Z(x_i)$ : é o valor da observação da variável determinado em cada ponto amostrado;
- $Z(x_i + h)$ : é o valor observado num ponto mais uma distância  $h$ .

A Figura 13 representa um modelo de semivariograma típico. De acordo com o valor de  $h$ ,  $\gamma(h)$  possui uma denominação:  $\gamma(0)$  é denominado efeito pepita (*nugget effect*);  $\gamma(a)$  é denominado patamar total (*sill*) e sua distância é o alcance (*range*). A contribuição é a quantidade dada por  $\gamma(a) - \gamma(0)$ .

O efeito pepita é um valor que mensura a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras,

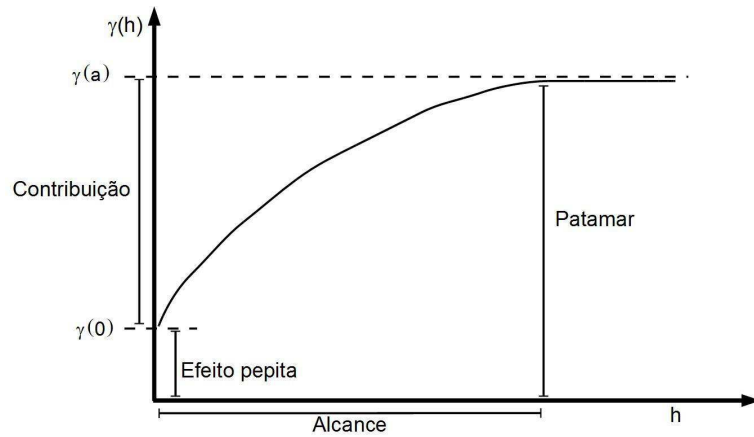


FIGURA 13: Modelo de semivariograma típico

e geralmente é atribuído a erros de medição ou efeitos de escala. O patamar representa o crescimento de  $\gamma(h)$  em função de  $h$  o qual se estabiliza a uma distância, denominada de alcance, a qual assume ser a distância limite da dependência espacial. O alcance corresponde ao ponto em que a semivariância é igual à variância total, representando influência aleatória; a partir deste limite, as amostras tornam-se independentes. Quando o efeito pepita é igual ao patamar caracteriza-se uma situação denominada efeito pepita puro, isto quer dizer que a variável regionalizada não apresenta dependência espacial (SALGUEIRO, 2005; BUFON, 2005).

Baseando-se nas estimativas das semivariâncias dos dados experimentais é construído o semivariograma experimental (EQUAÇÃO 20). A partir das estimativas do semivariograma experimental é procurado o semivariograma teórico que melhor o descreve e este é utilizado para modelar a autocorrelação em função da distância. Vários métodos poderão ser utilizados para otimizar o ajuste dos parâmetros do modelo do semivariograma, dentre eles o método dos mínimos quadrados, o método dos mínimos quadrados generalizados, o método da máxima verossimilhança e métodos Bayesianos. Como o objetivo é, principalmente, representar a variação espacial da variável regionalizada, ao invés de simplesmente encontrar melhores parâmetros para o semivariograma, talvez uma abordagem subjetiva através do conhecimento de especialistas, juntamente com um procedimento visual pode ser, algumas vezes, melhor do que uma técnica estatística sofisticada sem a visão física (GRIMES; PARDO-IGÚZQUIZA, 2010).

A avaliação do modelo da dependência espacial pode ser efetuada pelo método da validação cruzada, a qual permite: avaliar os diferentes modelos teóricos de dependência espacial, avaliar as diferentes estimativas dos parâmetros que definem um mesmo modelo de semivariograma, avaliar a forma, raio e tamanho de diferentes vizinhanças de busca e identificar possíveis problemas no método de estimação (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Os modelos de semivariograma teórico podem apresentar sem ou com patamar (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Dentre outros, podem ser citados: modelo linear e modelo potência (sem patamar); modelo esférico, modelo exponencial e modelo gaussiano (com patamar).

Alguns fenômenos estudados podem apresentar estruturas de variabilidade espacial diferentes conforme a direção de sua distribuição dentro da área. Segundo Diggle & Ribeiro Junior (2007), um fenômeno é dito anisotrópico quando ao se observar a dependência espacial, percebe-se que para diferentes direções este fenômeno apresenta graus de dependência diferentes. A dependência espacial é medida por meio do semivariograma, portanto, os parâmetros do modelo podem não ser os mesmos para todas as direções, ou seja, a forma, patamar e alcance podem variar um de cada vez ou mais de um simultaneamente em direções diferentes. Para detectar se há anisotropia é necessário ajustar modelos de variograma em várias direções e observar se o valor do alcance e do patamar são os mesmos para todas as direções.

Isaacs & Srivastava (1989) apresentam os tipos de anisotropia conforme as diferenças nos valores paramétricos dos modelos ajustados: anisotropia geométrica, anisotropia zonal e anisotropia geométrica e zonal. A anisotropia geométrica é aquela em que existe uma direção com maior continuidade espacial em determinada direção. A anisotropia zonal ocorre quando existe uma direção com maior patamar em relação às demais direções; e a anisotropia geométrica e zonal (anisotropia combinada) é aquela em que há determinadas direções com diferentes valores de alcance e patamar nos semivariogramas experimentais. A anisotropia é causada por uma fonte desconhecida, por isso no modelo anisotrópico é definido um ângulo em relação à direção de maior influência direcional.

O modelo de semivariograma é importante, pois detectando dependência espacial pode-se realizar a interpolação da variável estudada por meio da krigagem. O grau de dependência espacial de Cambardella, Equação 21, apresentado por ?? (??) e Bufon (2005) mensura a dependência espacial:

$$GDE = \frac{C_0}{C_1 + C_0} \quad (21)$$

Em que  $C_0$  é o efeito pepita e  $C_1 + C_0$  é o patamar.

Pode ser classificado como forte, moderada ou fraca dependência espacial em função da relação entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75%, moderada e para valores acima de 75%, fraca dependência espacial.

A krigagem é um método de interpolação, às vezes, denominado de método geoestatístico pelo fato de considerar no processo de estimação a dependência espacial além da distância euclidiana (ALMEIDA; RIBEIRO JUNIOR, 1996).

A krigagem como método interpolador considera a dependência espacial, ou seja, a continuidade existente entre os valores dos pontos amostrados e entre pontos amostrados e os não amostrados cujo interesse é obter estimativas. Este é um dos motivos pelo qual a krigagem é preferível em relação a outros métodos de estimação. É útil para validar outras formas de estimativas da precipitação e para estudos da propagação de erro em outros modelos os quais usam dados de chuva como entrada (GRIMES; PARDO-IGÚZQUIZA, 2010).

Isaaks & Srivastava (1989) apontam a krigagem como o melhor estimador por apresentar menor variabilidade associada às estimativas obtidas do fenômeno. A krigagem é considerada um estimador linear, pois adota para a estimativa de um ponto uma combinação linear dos valores observados nos pontos amostrados. Segundo Goovaerts (1997) todos os estimadores de krigagem são variações básicas da regressão linear do estimador  $Z^*(u)$ , definido como:

$$Z^*(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}(u) [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (22)$$

em que  $\lambda_\alpha(u)$  é o peso atribuído ao ponto de partida  $z(u_\alpha)$  interpretada como uma realização da variável regionalizada  $Z(u_\alpha)$ . As quantidades  $m(u)$  e  $m(u_\alpha)$  são os valores esperados da variável regionalizada  $Z(u)$  e  $Z(u_\alpha)$ . O número de dados envolvidos nas estimativas, bem como seus pesos podem mudar de forma de um local para outro. Na prática, somente os  $n(u)$  dados mais próximos para a localização  $\mathbf{u}$  a ser estimado são mantidos, ou seja, os dados dentro de uma vizinhança ou uma janela  $W(u)$  centrado em  $\mathbf{u}$ .

A estimativa para um ponto localizado na posição  $k$ ,  $\hat{V}_k$ , é dada pelos valores observados,  $V_i$ , dos demais pontos amostrados (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989):

$$\hat{V}_k = \sum_{i=1}^n w_i V_i \quad (23)$$

em que  $w_i$  é o peso dado pela krigagem. Este método é considerado um método não viesado, pois a soma dos seus pesos é igual à unidade,  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Os pesos  $w_i$  dados pela krigagem são ponderadores distintos dos demais estimadores.

Verificando dependência espacial e descrevendo corretamente o modelo de dependência espacial, o semivariograma, determina-se os valores dos pesos  $w_i$  que garantem as propriedades de mínima variância e não tendenciosidade. Os pesos são determinados por meio de um sistema de equações lineares, que matricialmente é representado por:

$$\mathbf{w} = \mathbf{C}^{-1} \mathbf{d} \quad (24)$$

Em que:

- $\mathbf{w}$ : é um vetor de pesos com  $n + 1$  linha e 1 coluna. O elemento que ocupa a  $n + 1$ -ésima linha é o multiplicador de Lagrange, necessário para satisfazer  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .
- $\mathbf{C}^{-1}$ : representa a inversa da matriz das estimativas das covariâncias entre os valores observados nos pontos amostrados, sendo uma matriz quadrada do tipo  $n + 1$ , em que os elementos da última linha e coluna possuem valores iguais a 1, exceto o termo de posição  $n + 1$ ,  $n + 1$ , que é igual a zero.

- **d**: corresponde ao vetor das estimativas das covariâncias entre um valor observado no ponto  $i$  e um valor a ser estimado para o ponto não amostrado  $k$ .

Segundo Grimes & Pardo-Igúzquiza (2010) uma propriedade importante da krigagem é que além de permitir a estimativa de valores sem tendência para os locais não amostrados, pode-se ainda conhecer a variância da estimativa. Quanto menor a proporção do efeito pepita em relação ao patamar do semivariograma menor será a variância, portanto, maior a confiança que se pode ter na estimativa.

Amorim *et al.* (2008) destacam que há uma dependência espacial na chuva e temporal na altitude, e que não seria correto aplicar métodos interpoladores que não consideram a dependência espacial (*spline* e inverso da distância, por exemplo).

Já para Grimes & Pardo-Igúzquiza (2010), devido à natureza altamente variável dos dados de chuva, podendo ser destacada a assimetria dos dados, não existe um melhor método único para interpolação. A seleção da abordagem mais adequada para a descrição espacial depende das características da precipitação pluvial local, a hora e a escala espacial onde a análise está sendo feita.

Para o comportamento médio anual de precipitação pluvial de dados coletados de 163 estações pluviométricas no trecho Leste do Estado de Minas Gerais, Melo Junior *et al.* (2006) adotaram o modelo exponencial como o melhor para descrever a dependência espacial.

Viola *et al.* (2010) concluíram que o modelo exponencial, após a validação cruzada, é o melhor modelo de variograma para representar a variabilidade espacial de dados de precipitação. Citam, também, outros trabalhos como o de Mello *et al.* (2008) referente ao comportamento espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais e o de Carvalho *et al.* (2004) que avaliaram os modelos de variograma aplicados ao mapeamento da precipitação pluvial média anual no Estado de São Paulo que também recomendam o modelo exponencial como sendo o que melhor explica a variabilidade espacial para estudos de precipitação.

Já Salgueiro & Montenegro (2008) realizaram um estudo da precipitação na bacia do rio Pajeú (PE) e averiguaram que o modelo de variograma que melhor

se ajustou ao semivariograma experimental foi o modelo exponencial. Os autores compararam os modelos esférico, exponencial e gaussiano por meio da validação cruzada.

Borges *et al.* (2009) ajustaram aos dados de chuva da zona cafeeira do Estado de Minas Gerais, com base em séries históricas normais anuais de 32 estações climatológicas, um modelo exponencial. O ajuste do semivariograma exponencial foi por meio da visualização e comparação dos modelos esférico e gaussiano, sendo o primeiro o modelo que melhor representou a dependência para os dados de chuva.

Santos *et al.* (2011) compararam os modelos exponencial, esférico e gaussiano, ajustado pelo método dos mínimos quadrados. Os modelos de semivariograma foram ajustados aos dados de precipitação média mensal e anual na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. De treze situações estudadas, o modelo exponencial apresentou melhor desempenho em seis, seguido gaussiano em cinco e esférico em duas situações. Sugerem que com o resultado obtido é explícita a necessidade de estudar os diferentes ajustes de modelos de semivariograma ao semivariograma experimental, não existindo um único modelo próprio para dados de precipitação pluvial.

Carvalho & Assad (2005) compararam três métodos de interpolação para dados de precipitação pluviométrica no estado de São Paulo. Concluíram que a precipitação apresenta dependência espacial e que a krigagem é o melhor método para realizar a interpolação. Para tal fim o modelo de semivariograma adotado foi o esférico apresentando alcance de 45 km.

Os modelos linear, esférico e exponencial foram os adotados por Gomes *et al.* (2011) para descreverem a precipitação pluvial média mensal entre os anos 1962 a 2001 do estado da Paraíba. Concluíram que análise geoestatística foi fundamental para quantificar a distribuição espacial da precipitação pluviométrica do estado da Paraíba. Os variogramas ajustados mostraram tanto o comportamento da variável no espaço, quanto o alto grau de dependência espacial da variável regionalizada e o alcance correspondente a cada mês analisado.

Considerando que a precipitação efetiva é aquela que fica armazenada no solo até a profundidade efetiva das raízes das plantas, atendendo às necessidades das plantas, ou seja, é aquela parcela da precipitação total deduzida das perdas por escoamento superficial e percolação (BACK *et al.*, 1998; SAMPAIO *et al.*, 2000; BARBOSA *et al.*, 2005), realizou-se a interpolação da precipitação efetiva total mensal dos meses dezembro, janeiro e fevereiro das safras 2008/09 e 2009/10 da Região Oeste da Bahia.

A distribuição espacial da precipitação efetiva foi realizada segundo métodos geoestatísticos. Iniciou-se com o estudo descritivo dos dados e verificação da presença de pontos discrepantes (*outliers*). Em seguida, modelou-se a dependência espacial da variável de interesse. A escolha do semivariograma teórico baseou-se em Isaaks & Srivastava (1989) e Jakob & Young (2006), que relatam como sendo o melhor resultado esperado aquele em que a média dos erros padronizados (*Mean Standardized*) do modelo adotado seja mais próxima de zero e que o desvio padrão dos erros padronizados (*Root-Mean-Square*) seja o menor possível, um erro padrão médio (*Average Standard Error*) próximo do desvio padrão dos erros padronizados e um erro quadrático médio padronizado (*Root-Mean-Square Standardized*) próximo de 1. Além disso, recomendam a avaliação da mediana como uma etapa importante, pois quanto mais próxima do valor zero maior a indicação de um equilíbrio entre sub e superestimativas. Para a modelagem da dependência espacial foram testados diferentes modelos (exponencial, esférico e gaussiano) com diferentes ajustes e aquele que apresentou melhores estatísticas foi o modelo adotado.

O grau de dependência espacial (*GDE*) foi usado para quantificar quão dependente é a variável estudada em cada mês de cada safra. Verificada a existência da dependência espacial o melhor método para a confecção da distribuição espacial é um método geoestatístico, neste trabalho, utilizou-se o método krigagem ordinária.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estudo das variáveis e modelos obtidos

#### 5.1.1 Cálculo das correlações múltiplas

Para cada cultura e respectiva safra foram confeccionados *boxplots* para todas as variáveis, observado a presença de algum valor discrepante (*outliers*). Quando detectado, em alguns casos, estes valores foram removidos.

Em cada cultura e sua respectiva safra foi calculada a correlação múltipla de todas as variáveis candidatas ao modelo para selecionar as mais correlacionadas com a variável dependente (produtividade) e, também, verificar aquela(s) independente(s) mais correlacionada(s) com outra(s) independente(s).

As correlações múltiplas entre as variáveis candidatas ao modelo de regressão, Equação 19, foram calculadas pelo programa R (R Development Core Team, 2012), obtendo-se os resultados apresentados nas Figuras 14, 15, 16 e 17.

Supondo cada figura como uma matriz quadrada de ordem 8, pode-se considerar que os elementos da diagonal principal são os nomes das variáveis estudadas: produtividade (*product*), data do plantio (*data*), evapotranspiração de referência total (*etpctotal*), evapotranspiração total da cultura (*etctotal*), precipitação efetiva (*preceptv*) e a disponibilidade real de água no solo nas profundidades 0 a 30, 30 a 60 e 60 a 90 cm (*dra1*, *dra2* e *dra3*). Os números que aparecem na submatriz acima da diagonal principal são referentes às correlações entre as variáveis, cujos valores se encontram na escala que varia de  $-1$  a  $1$ . Os gráficos na submatriz abaixo da diagonal principal representam os diagramas de dispersão dos valores observados dos pares de variáveis comparadas. Assim, um valor que se encontra na célula da linha  $i$  ( $i < j$ ) e coluna  $j$  ( $j > i$ ) representa o valor da correlação entre a variável  $i$  com a variável  $j$ , cujo diagrama de dispersão se encontra na célula da linha  $j$  ( $j < i$ ) e coluna  $i$  ( $i > j$ ). Por exemplo, ao se observar a Figura14, a célula que se localiza na linha  $i = 2$  e coluna  $j = 4$  encontra-se o valor  $-0,45$  e o gráfico que se está na linha  $j = 2$  e coluna  $i = 4$  representam, res-

pectivamente, o valor da correlação e o diagrama de dispersão entre as variáveis *data* do plantio (*data*) e evapotranspiração total da cultura (*etctotal*).

Calculando-se as correlações múltiplas para a cultura do algodão na safra 2008/09, foi obtida a Figura 14.

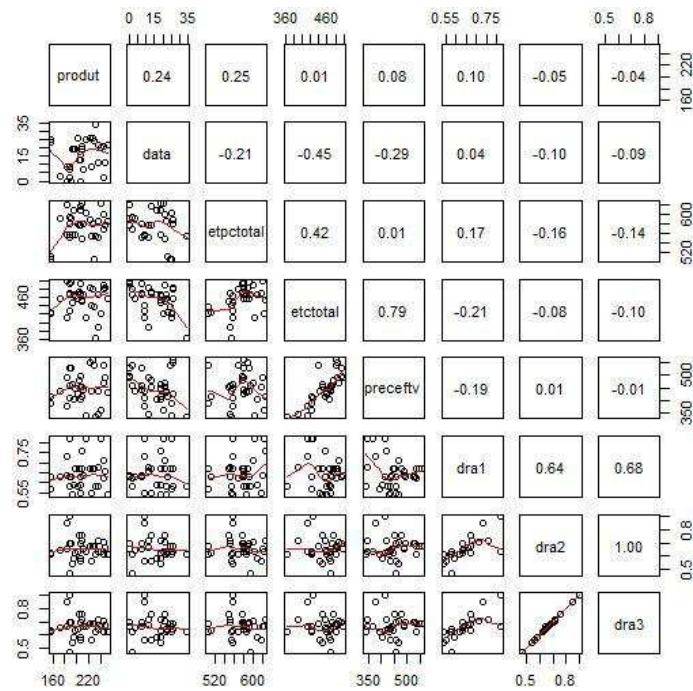


FIGURA 14: Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura do algodão na safra 2008/09

Nesta safra o valor das correlações das variáveis independentes com a produtividade foram fracas, 0,25 foi o maior valor de correlação encontrado com a variável *etpctotal*. Pode-se observar que algumas variáveis independentes apresentam valores de correlação altos, em alguns casos chegando a 1. Sendo considerado forte indício de colinearidade.

Segundo Devore (2012), uma correlação ( $r$ ) é fraca quando  $0 \leq |r| \leq 0,5$ , forte se  $0,8 \leq |r| \leq 1$  e moderada, caso contrário.

A Figura 15 apresenta os resultados obtidos para as correlações entre as variáveis estudadas para a cultura do algodão na safra 2009/10.

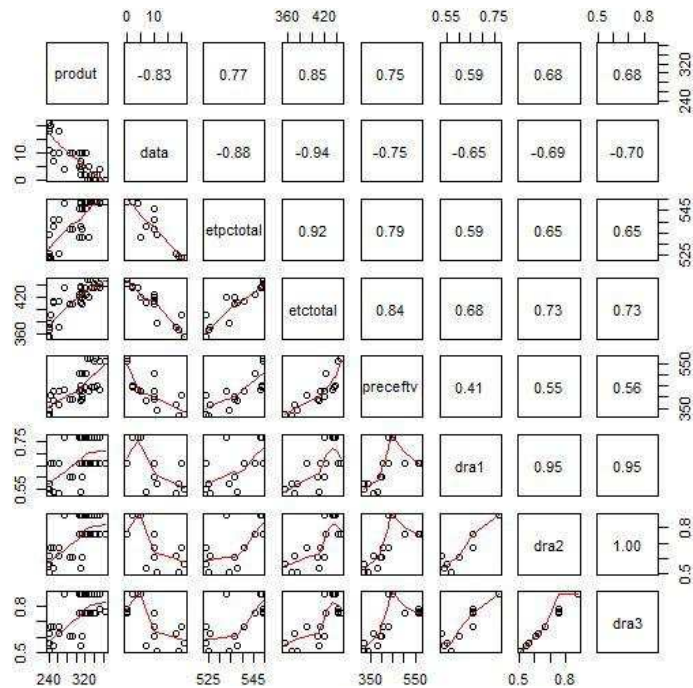


FIGURA 15: Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura do algodão na safra 2009/10

Observa-se que existem variáveis correlacionadas com a produtividade (*produt*), como a data do plantio (*data*), a evapotranspiração total (*etctotal*) e a precipitação efetiva (*preceftv*). Entretanto, há variáveis independentes fortemente correlacionadas, como é o caso da data de plantio e as outras variáveis independentes, como a evapotranspiração total, a precipitação efetiva e a disponibilidade real de água no solo nas três profundidades. As variáveis com forte correlação podem ser removidas do modelo se apresentarem valores insatisfatórios de *VIF*.

Para a cultura da soja na safra 2008/09 as correlações entre as variáveis estudadas são as apresentadas na Figura 16.

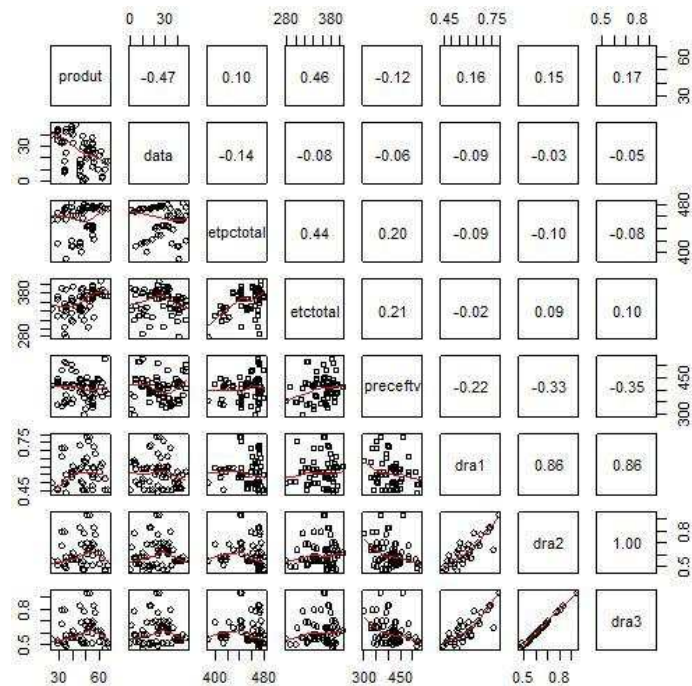


FIGURA 16: Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura da soja na safra 2008/09

Para as variáveis desta safra da soja nesta safra o valor mais alto da correlação em termos absolutos, foi 0,47 entre a variável dependente, produtividade, e a data do plantio, seguida da variável evapotranspiração total da cultura. Variáveis independentes como a disponibilidade real de água no solo nas três profundidades apresentaram correlações altas entre si, podendo, posteriormente, serem removidas do modelo por apresentarem alta correlação entre si e baixa correlação com a variável dependente.

Para a soja na safra 2009/10 foram encontradas as seguintes correlações múltiplas que podem ser observadas na Figura 17.

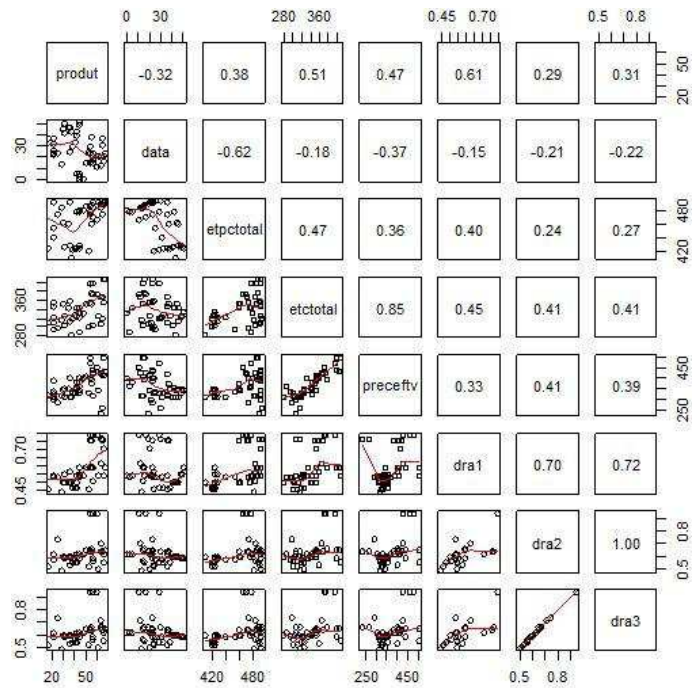


FIGURA 17: Correlação múltipla entre a produtividade e as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla para a cultura da soja na safra 2009/10

As variáveis mais correlacionadas com a produtividade foram evapotranspiração total (*etctotal*), 0,51, e disponibilidade real de água no solo (*dra1*), 0,61. A presença de multicolinearidade poderá ocorrer, pois há muitas variáveis independentes com valores expressivos de correlação.

### 5.1.2 Cálculo do fator de inflação da variância e apresentação do possível modelo

Obtido os valores das correlações entre as variáveis realizou-se a primeira análise de multicolinearidade entre as variáveis candidatas ao modelo para cada cultura e safra que poderá ser visualizada na Tabela 4.

TABELA 4: Fator de inflação da variância ( $VIF$ ) para as variáveis independentes candidatas ao modelo de regressão múltipla, segundo as culturas e safras

Culturas	Safras	Variáveis						
		<i>data</i>	<i>etpctotal</i>	<i>etctotal</i>	<i>preceftv</i>	<i>dra1</i>	<i>dra2</i>	<i>dra3</i>
Algodão	2008/09	1,33	2,48	6,31	4,42	5,49	938,70	1008,27
	2009/10	9,72	6,75	21,56	6,28	17,79	1639,01	1639,01
Soja	2008/09	1,10	1,31	1,44	1,41	4,20	142,68	145,46
	2009/10	2,99	3,52	7,03	7,45	3,18	836,62	865,12

As variáveis que apresentaram  $VIF > 5$  foram eliminadas do modelo, de acordo com Heiberger (2013). Pode-se observar que as variáveis disponibilidade de água no solo, *dra2* e *dra3*, apresentam  $VIF$  muito alto em todas as culturas e safras. Na cultura do algodão na safra 2009/10 todas as variáveis apresentaram valores maiores do que 5, já para a soja na mesma safra as variáveis *etctotal*, *preceftv*, *dra1* e *dra2* foram as que apresentaram valores maiores do que 5. Antes de obter os resultados apresentados na Tabela 5 foram realizadas algumas comparações de  $VIF$  com a retirada e inclusão de variáveis ao modelo, observando-se a análise de variância e significância das estimativas dos coeficientes e o  $VIF$ .

TABELA 5: Variáveis independentes candidatas que apresentaram fator de inflação da variância  $VIF$  menor que do 5, segundo as culturas e safras

Culturas	Safras	Variáveis				
		<i>data</i>	<i>etpctotal</i>	<i>etctotal</i>	<i>preceftv</i>	<i>dra1</i>
Algodão	2008/09	1,15	1,08	–	1,13	1,07
	2009/10	3,43	–	–	2,37	1,78
Soja	2008/09	1,03	1,28	1,26	1,21	1,07
	2009/10	1,77	1,95	–	1,28	1,30

De acordo com os resultados acima apresentados o modelo que poderá ser adotado para modelar a produtividade é o apresentado pela Equação 25. Em algumas culturas e safras não será utilizado o modelo completo.

$$produz = \beta_0 + \beta_1 data + \beta_2 etpctotal + \beta_3 etctotal + \beta_4 preceftv + \beta_5 dra1 + \epsilon_i \quad (25)$$

### 5.1.3 Busca do modelo de regressão múltipla, representação gráfica e análise dos resíduos

Após obter as variáveis com  $VIF$  menor do que 5 procedeu-se à busca das variáveis para comporem o modelo pelo método *stepwise*. As variáveis marcadas com um “X”, Tabela 6, foram aquelas candidatas a fazerem parte do modelo, pois apresentaram menor  $AIC$ .

TABELA 6: Variáveis selecionadas para comporem o modelo, segundo método o *stepwise*

Culturas	Safras	Variáveis				
		<i>data</i>	<i>etpctotal</i>	<i>etctotal</i>	<i>preceptv</i>	<i>dra1</i>
Algodão	2008/09	X	X	–	–	–
	2009/10	X	–	–	X	–
Soja	2008/09	X	X	X	X	–
	2009/10	X	–	X	–	X

Após selecionar as variáveis pelo método *stepwise* (seleção de variáveis por etapas) observa-se diferentes modelos para cada caso. Em seguida, realizou-se o ajuste de cada modelo observando-se o  $R_{aj}^2$  (coeficiente de determinação ajustado), a análise de variância da regressão e a significância das estimativas dos coeficientes procurando-se por modelos que apresentassem coerência entre os resultados apresentados na análise de variância e a significância das estimativas dos coeficientes e, caso houvesse necessidade, alguma variável era removida do modelo e repetido o procedimento.

As estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão e as respectivas significâncias das estimativas dos parâmetros estão apresentados na Tabela 7. As estimativas dos parâmetros dos modelos adotados para cada cultura e safra estão representadas pela letra  $\beta$ , segundo o modelo apresentado pela Equação 25, sendo que em cada estimativa é informada a significância do teste  $t$ .

TABELA 7: Estimativas dos parâmetros dos modelos segundo culturas e safras

Culturas	Safras	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$
Algodão	2008/09	47,3722 <sup>ns</sup>	0,8504 <sup>ns</sup>	0,2569 <sup>ns</sup>	–	–	–
	2009/10	260,0426**	–3,5627**	–	–	0,1540*	–
Soja	2008/09	–4,0526 <sup>ns</sup>	–0,3507**	–	0,1646**	–	–
	2009/10	5,7939 <sup>ns</sup>	–0,2432*	–	–	–	79,0255**

\*\* *valor-p* menor ou igual a 1%, \* *valor-p* menor ou igual a 5% e <sup>ns</sup> *valor-p* maior do que 5%

Para o algodão na safra 2008/09 os valores encontrados para as correlações (valores baixos) entre a variável dependente e as variáveis predictoras corroboram o resultado não significativo encontrado no modelo de regressão.

Em cada safra e cultura modelos diferentes foram ajustados, pode-se observar que a variável *data* aparece em todos os modelos e por ter sinal negativo indica que quanto mais tarde o plantio menor é a produtividade. Para a cultura do algodão na safra 2009/10 as variáveis independentes possuem correlação de 75%, mas com a retirada de uma das variáveis há uma diminuição no  $R_{aj}^2$ , portanto as duas continuaram no modelo.

Os gráficos dos modelos ajustados foram confeccionados com o auxílio do pacote *scatterplot3d* (LIGGES; MÄCHLER, 2003) do programa R (R Development Core Team, 2012).

O plano gerado pelo modelo ajustado para a cultura do algodão na safra 2009/10 é apresentado na Figura 18, tendo no eixo vertical a produtividade (*produt*) em função da data de plantio (*data*) e a precipitação efetiva (*preceftv*).

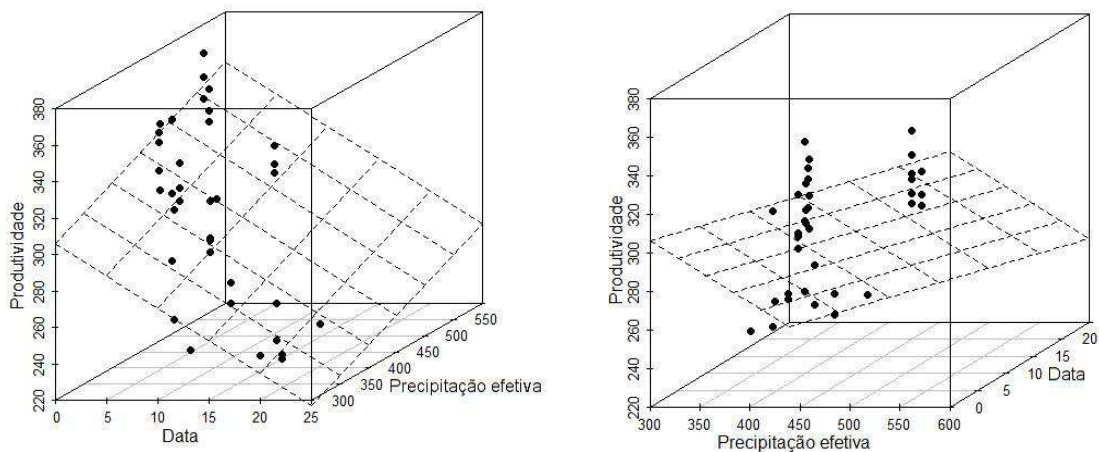


FIGURA 18: Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura do algodão na safra 2009/10 em duas perspectivas

A partir do gráfico é possível observar que o aumento da *data* e a diminuição da *preceftv* levou a um decréscimo da produtividade.

Ao confeccionar o gráfico para a cultura da soja na safra 2008/09 o plano obtido é o apresentado na Figura 19.

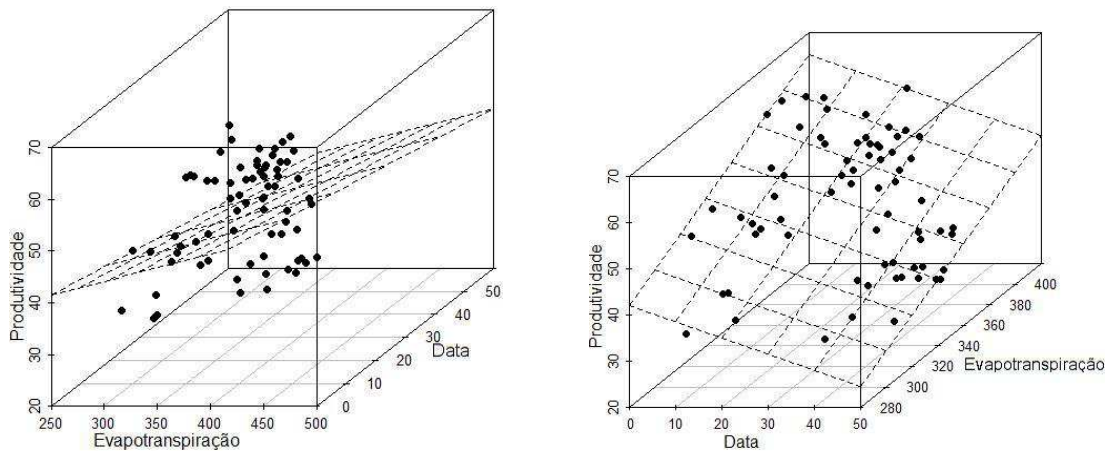


FIGURA 19: Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura da soja na safra 2008/09 em duas perspectivas

A representação gráfica do modelo ajustado, permite observar que a produtividade forma uma nuvem de pontos em função da data do plantio e da evapotranspiração. Esta nuvem de pontos não está distribuída sobre o plano, o que seria ideal, pois assim o modelo representaria bem os valores observados.

A data de plantio entre 0 e 10 e maior evapotranspiração resultaram em maior produtividade.

O modelo ajustado para a cultura da soja na safra 2009/10 gerou o plano ilustrado na Figura 20.

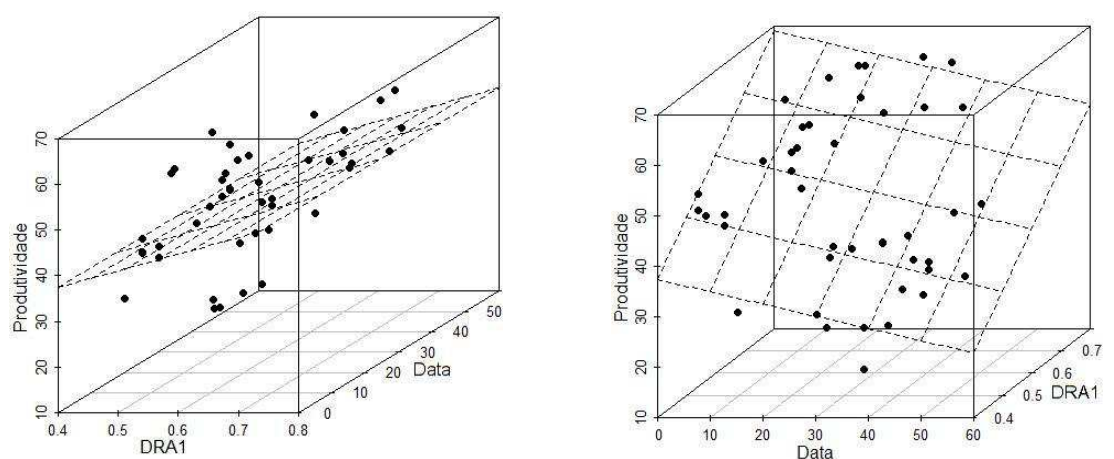


FIGURA 20: Diagrama de dispersão e plano ajustado à produtividade da cultura da soja na safra 2009/10 em duas perspectivas

Pode-se observar por meio deste gráfico que os valores observados para a

produtividade da soja formam uma nuvem de pontos em que as datas de plantio medianas apresentaram maior produtividade.

Os diferentes modelos encontrados e a observação gráfica permitem concluir que a estimativa da produtividade não possui um padrão de comportamento, tanto pelas variáveis regressoras, quanto pela dispersão dos dados, diferenciando de uma safra para outra e de uma cultura para outra.

A análise gráfica dos resíduos apresentada na Figura 21 permite visualizar o comportamento dos mesmos. Os gráficos *Residuals vs Fitted* e *Scale-Location* mostram como se distribuem os resíduos em torno da reta horizontal 0. Deseja-se que esta distribuição esteja em torno desta reta de forma aleatória, sem alguma tendência ou pontos discrepantes. Ao observar estes gráficos é possível verificar visualmente se a média dos resíduos é nula, se há homocedasticidade e se há independência dos resíduos.

No gráfico *Normal Q-Q* pode-se visualizar se os quantis da variável aparecem alinhados com os quantis da distribuição normal, se isso ocorre é porque os resíduos estão normalmente distribuídos. E por último o gráfico *Residuals vs Leverage*, que verifica a presença de alguma observação influente. Uma observação influente é aquela que quando retirada do conjunto de dados acarreta grandes alterações no modelo. Uma observação influente pode (ou não) ser um *outlier* ou pode (ou não) apresentar um grande *leverage*. Em geral é um deles. Observações que apresentam *Leverages* (ponto de alavanca) menores que 0,2 não são consideradas problemáticas, enquanto que observações que apresentam valores maiores do 0,5 são extremamente influentes no modelo.

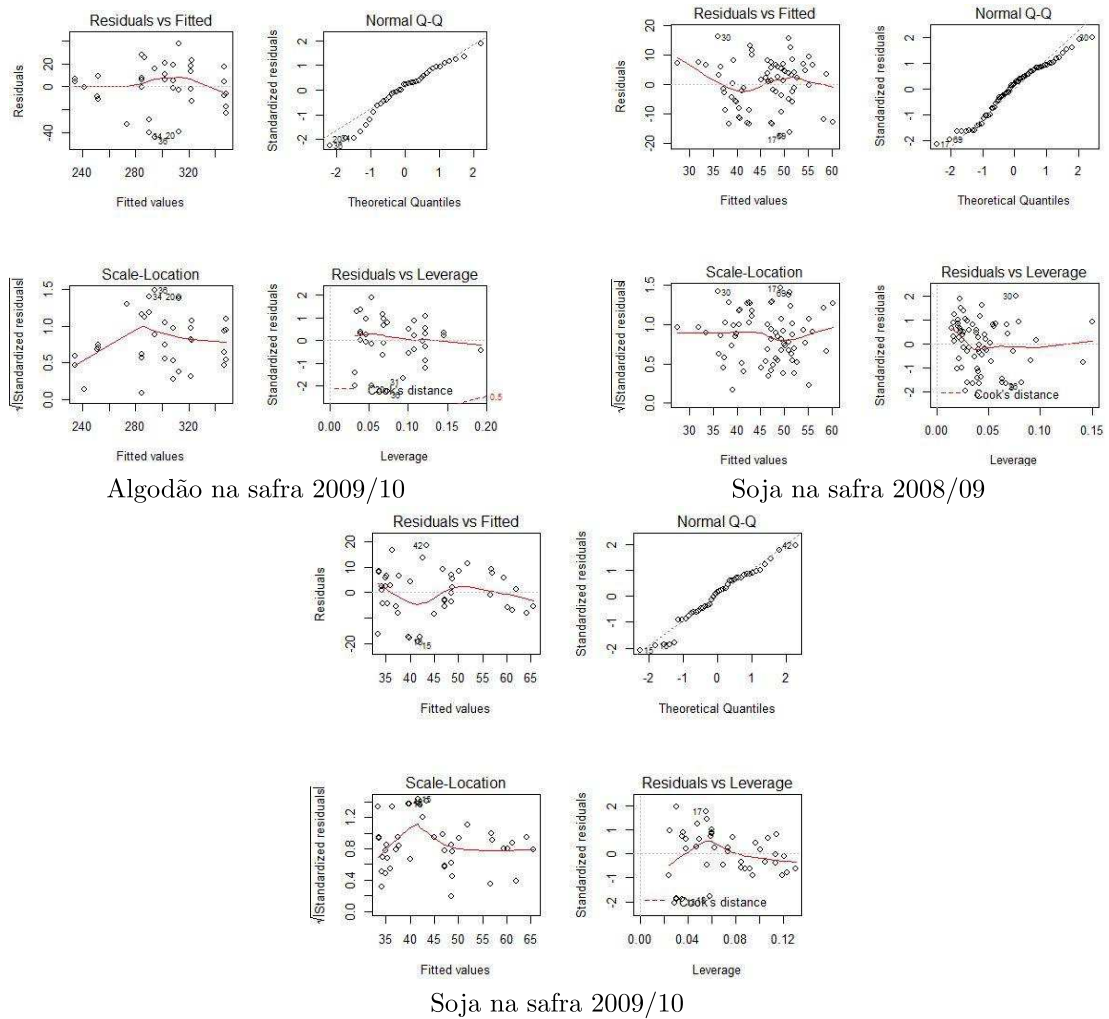


FIGURA 21: Gráficos dos resíduos dos modelos ajustados para análise das suas pressuposições

Visualmente os resíduos se distribuem em torno da reta 0, dessa forma há de se esperar que os erros sejam independentes, de média nula e de variância constante. Quanto à normalidade, aparentemente, todos os resíduos se distribuem normalmente, como permite ser observado nos gráficos *Normal Q-Q*. Quanto a algum valor influente pode-se concluir que não existe em nenhum dos casos, pois não houve valores de *Leverage* maiores do 0,5. Portanto, é de se esperar que as pressuposições dos modelos mencionados foram atendidas.

Para se ter um conclusão efetiva sobre as pressuposições dos modelos, verificou-se-as por meio de testes estatísticos para tal fim, sendo apresentados, juntamente com o Índice de Concordância de Willmott e os coeficientes de determinação ajustados, na Tabela 8.

TABELA 8: Resultados dos testes estatísticos das pressuposições do modelo, Índice de Concordância de Willmott e Coeficiente de Determinação Ajustado

Culturas	Safras	Valor-p			$d_w$	$R_{aj}^2$
		Shapiro-Wilk	Breusch-Pagan	Breusch-Godfrey		
Algodão	2008/09	–	–	–	–	–
	2009/10	0,2036	0,8131	0,1787	0,92	70,90%
Soja	2008/09	0,0594	0,9046	0,3771	0,74	38,30%
	2009/10	0,2281	0,1823	0,0951	0,81	49,57%

$d_w$ : Índice de Concordância de Willmott

$R_{aj}^2$ : Coeficiente de Determinação Ajustado

Os resultados dos testes apresentados acima corroboram a interpretação das análises gráficas dos resíduos. Portanto, pode-se aceitar que todas as pressuposições dos modelos foram atendidas. Os Índices de Concordância de Willmott não apresentaram em todos os casos valores próximos a 1. E o  $R_{aj}^2$  sequer atingiu o valor de 71%.

#### 5.1.4 Análise do balanço hídrico: comparação com os modelos de regressão obtidos

Para representar a produtividade do algodão na safra 2008/09 não foi possível encontrar um modelo, pois as estimativas dos seus parâmetros não apresentaram significância estatística. Quanto ao balanço hídrico de todas as fazendas para esta safra pode-se relatar que houve três padrões de comportamento: situação ótima, pequeno déficit hídrico no meio do terceiro estágio e pequeno déficit hídrico no início do terceiro estágio, que podem ser visualizados nas Figuras 22, 23 e 24.

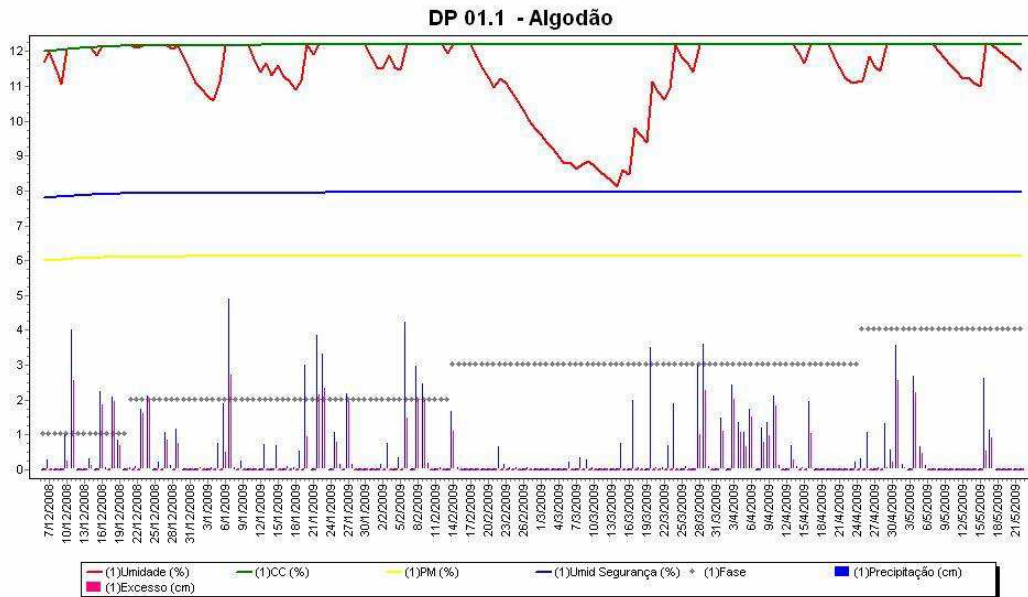


FIGURA 22: Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: situação ótima

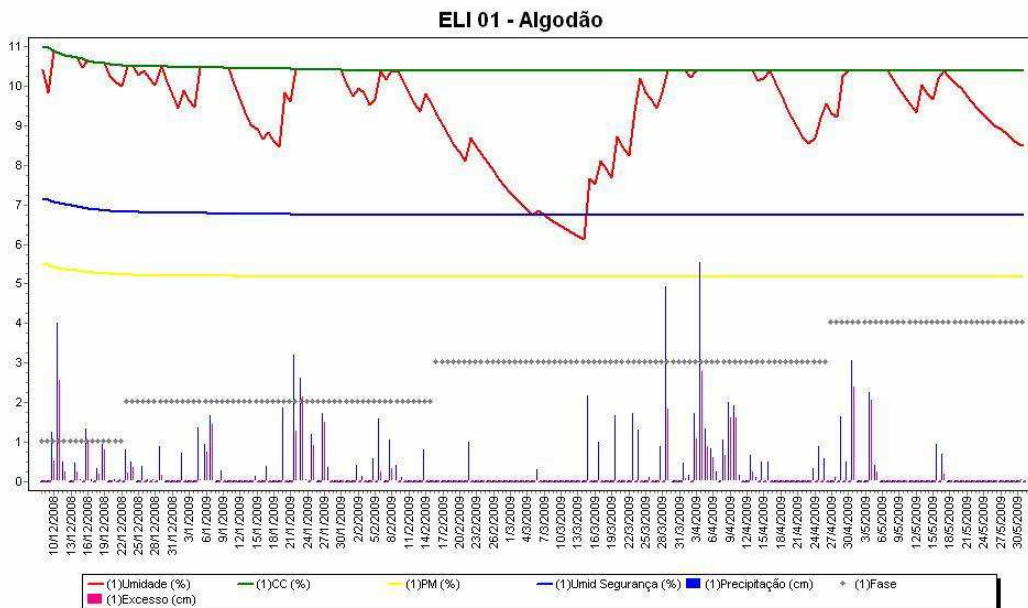


FIGURA 23: Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: déficit hídrico no meio do terceiro estágio

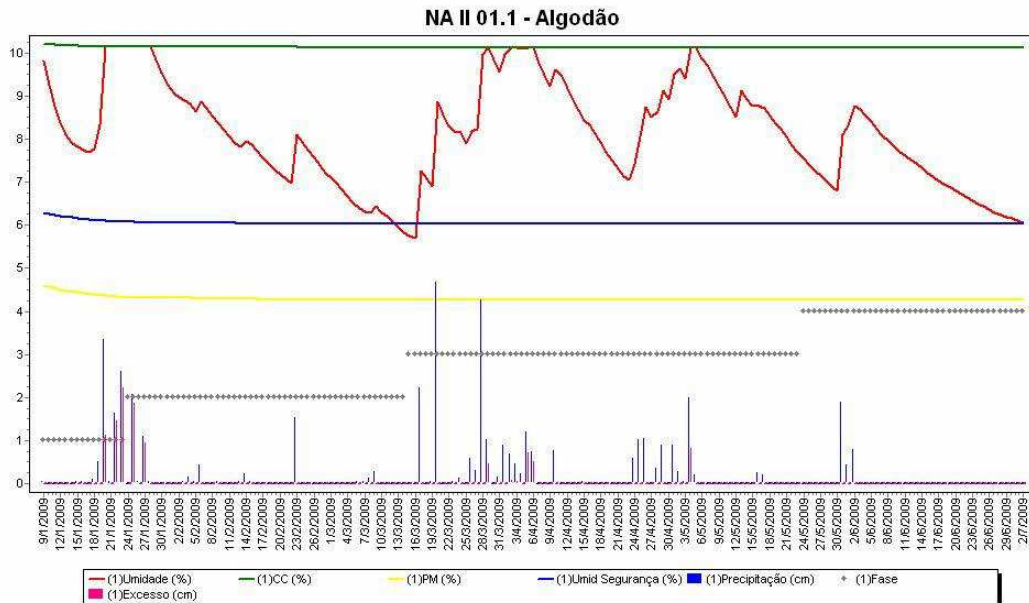


FIGURA 24: Balanço hídrico para a cultura do algodão na safra 2008/09: déficit hídrico no início do terceiro estágio

Embora tenha apresentado déficit hídrico no terceiro estágio, não foi significativo o estresse hídrico, portanto este fato não interferiu na produtividade. O algodão é mais sensível ao déficit hídrico no estágio II. Assim, pode-se dizer que o balanço hídrico apresentou uma situação confortável para a cultura do algodão na safra 2008/09.

A produtividade do algodão na safra 2009/10 foi modelada em função da data de plantio (*data*) e precipitação efetiva total (*preceftv*). Observando o balanço hídrico da cultura de todas as fazendas, pode-se verificar dois padrões: situação ótima e com déficit no quarto estágio, conforme é apresentado nas Figuras 25 e 26. A Figura 25 representa o plantio acontecido no dia 02 de dezembro e a Figura 26 no dia 23 de dezembro.

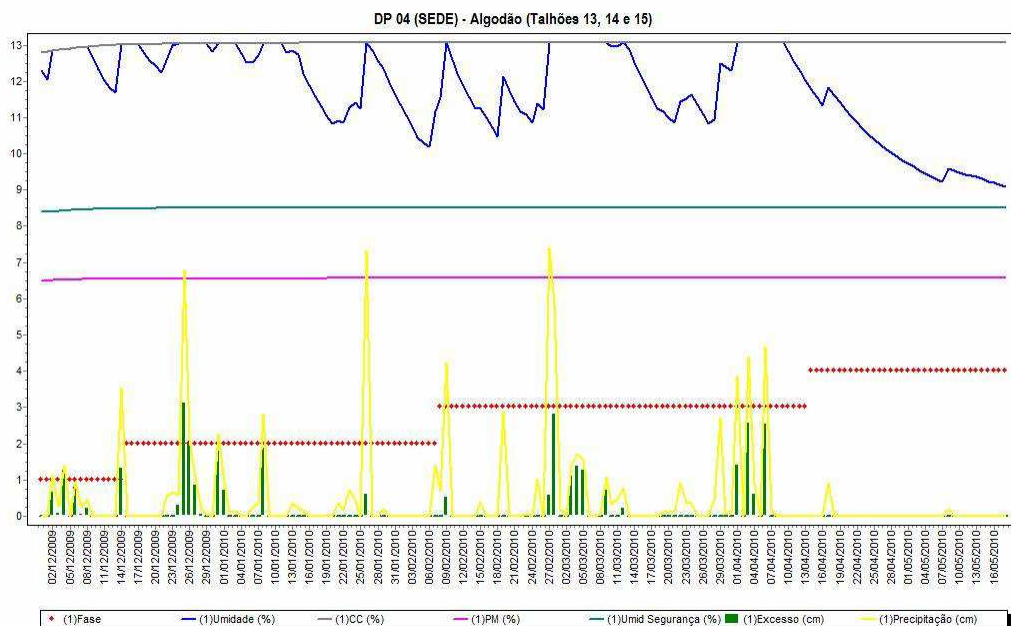


FIGURA 25: Balço hídrico para a cultura do algodão na safra 2009/10: situação ótima

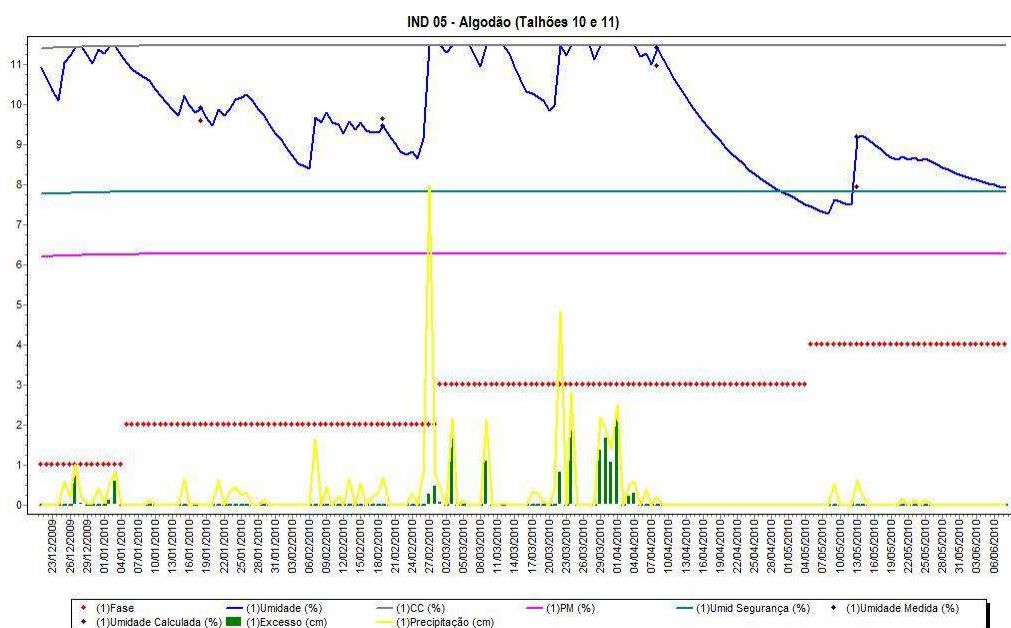


FIGURA 26: Balço hídrico para a cultura do algodão na safra 200/10: déficit hídrico no quarto estádio

O balanço hídrico indicou condição muito adequada para a produção com maior produtividade para data de plantio (*data*) menor e maior precipitação efetiva total (*preceptv*). Pelo balanço hídrico a cultura não apresentou estresse

hídrico que comprometesse a produtividade. Entretanto, pode-se observar que para o plantio mais tardio (FIGURA 26) no segundo estágio da cultura o comportamento da precipitação não foi idêntico ao caso anterior, apresentando uma variação espacial e temporal.

A cultura da soja na safra 2008/09 apresentou diversos padrões de balanço hídrico. O modelo adotado para representar a produtividade é composto pelas variáveis data de plantio (*data*) e evapotranspiração total da cultura (*etctotal*). Os padrões observados foram sete, sendo: situação ótima, déficit hídrico no final do terceiro estágio, déficit hídrico no quarto estágio, déficit hídrico no início do terceiro estágio e no quarto estágio, déficit hídrico no início e final do terceiro estágio e no quarto estágio, déficit hídrico no final do terceiro estágio e déficit hídrico no meio do terceiro estágio, apresentados nas Figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33.

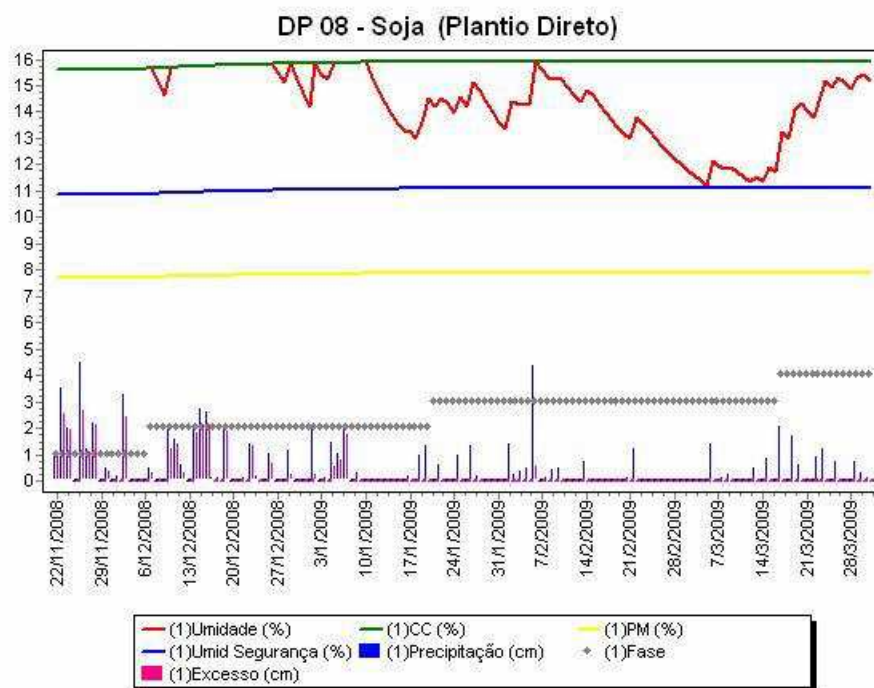


FIGURA 27: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: situação ótima

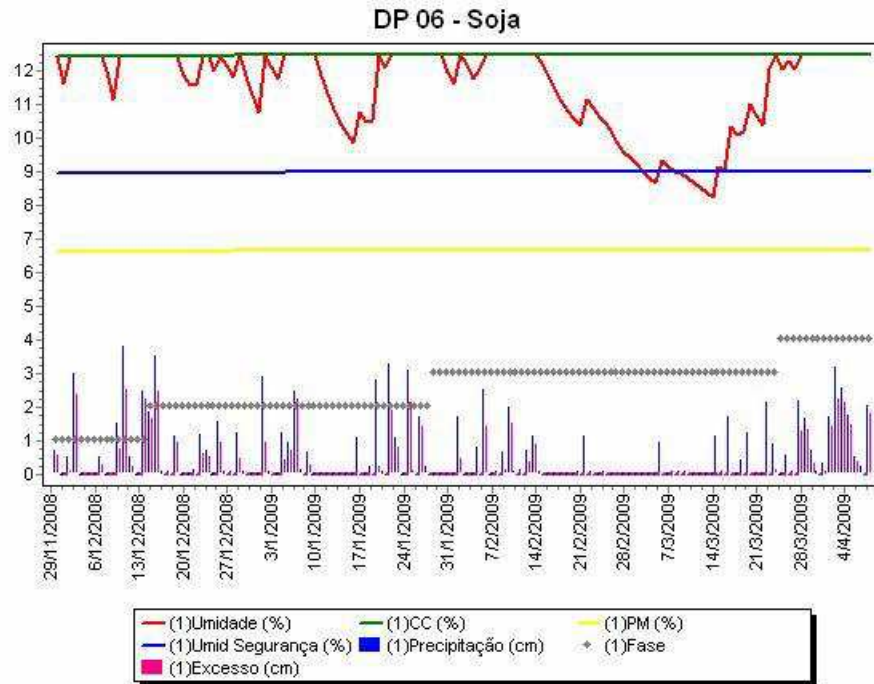


FIGURA 28: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no final do terceiro estágio

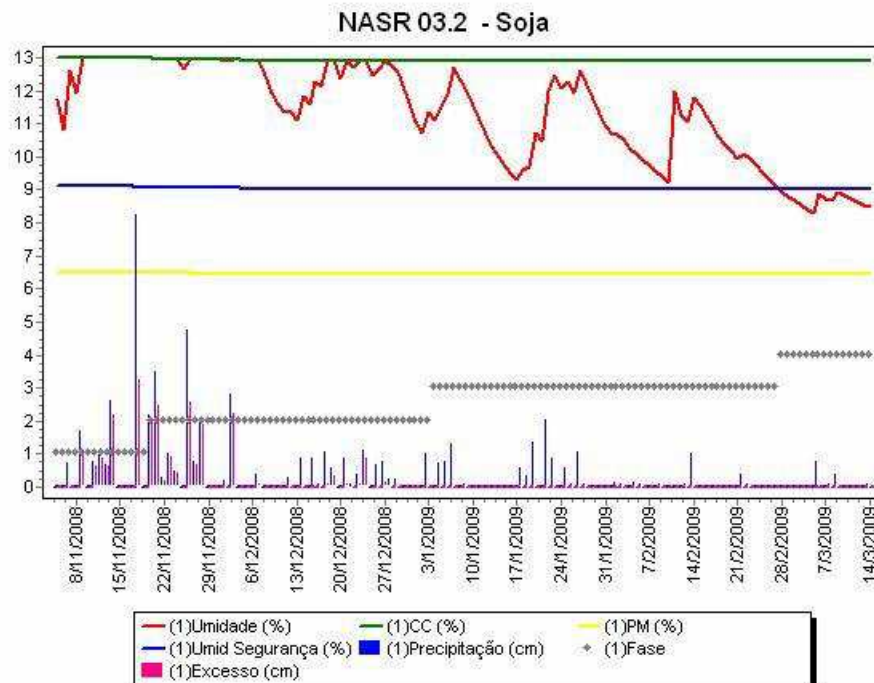


FIGURA 29: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no quarto estágio

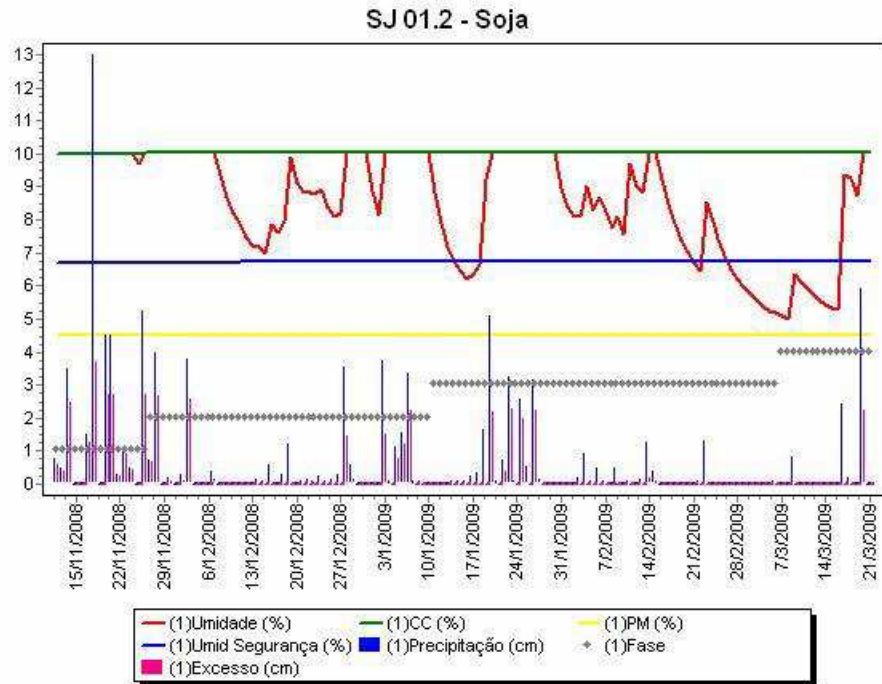


FIGURA 30: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no início do terceiro estágio e no quarto estágio

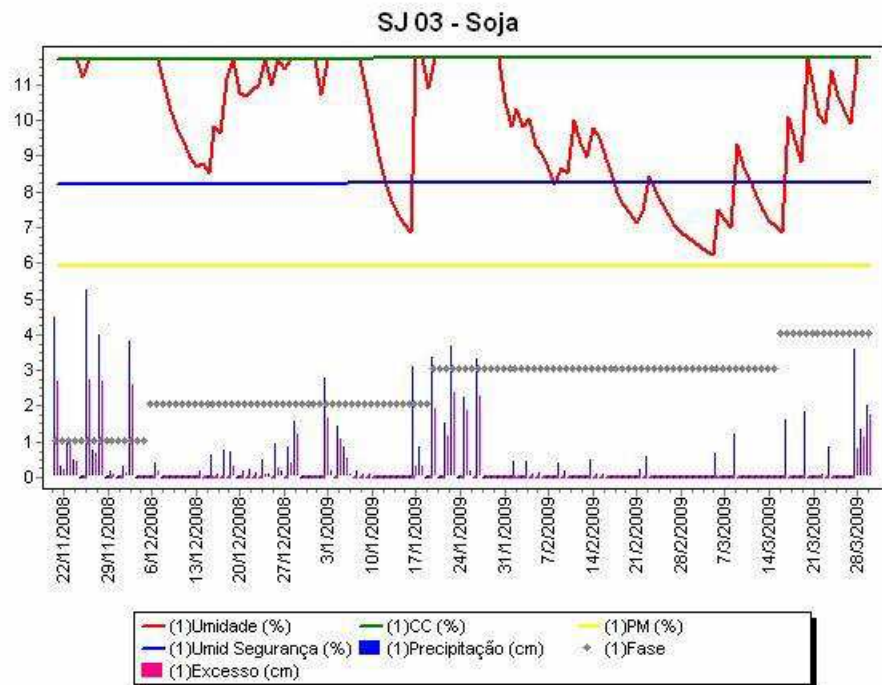


FIGURA 31: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no início e final do terceiro estágio e no quarto estágio

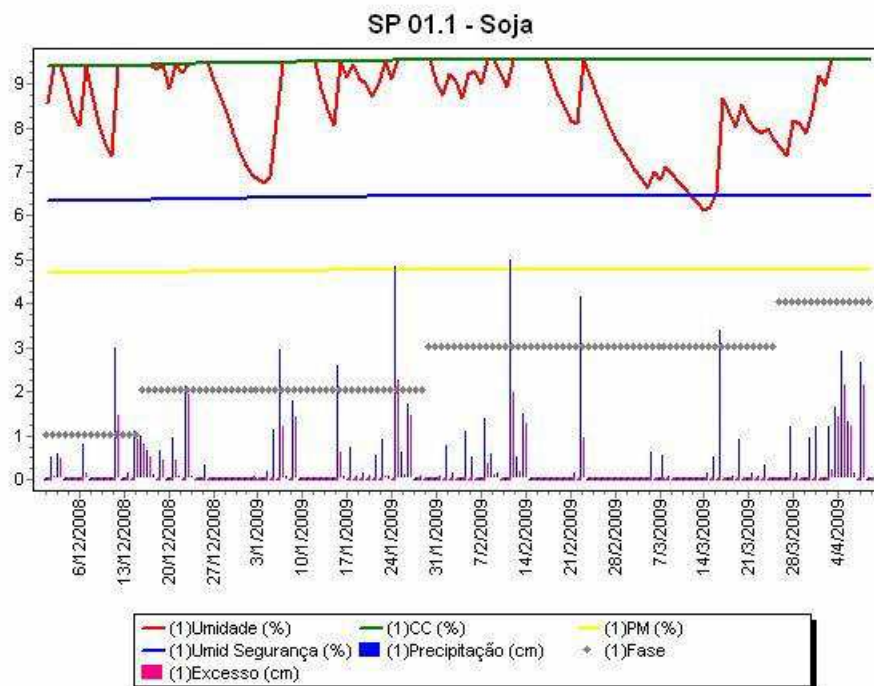


FIGURA 32: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no final do terceiro estágio

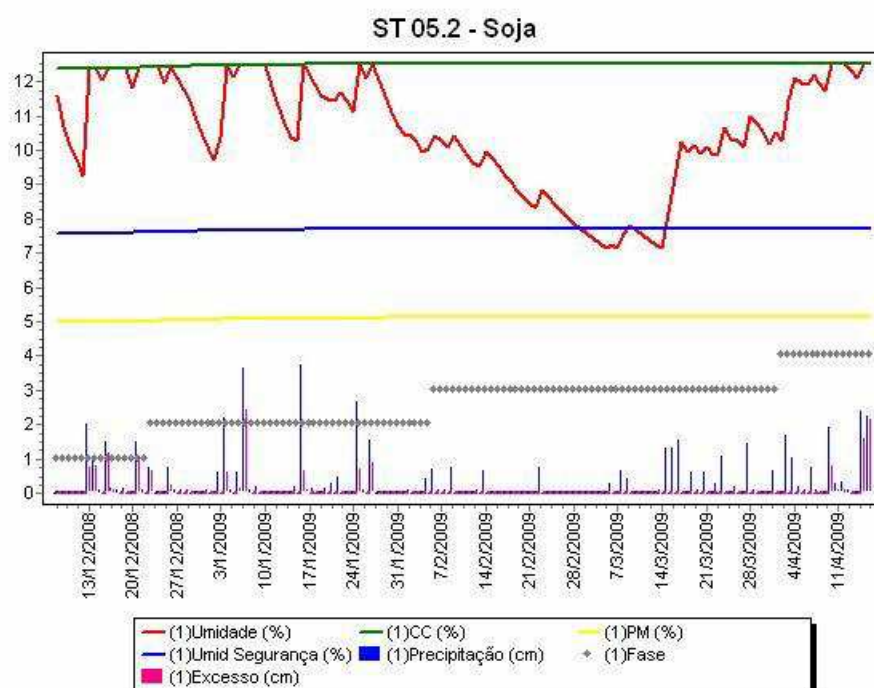


FIGURA 33: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2008/09: déficit hídrico no meio do terceiro estágio

A data de plantio dos balanços hídricos apresentados variam de 8 de

novembro a 13 de dezembro, mais de um mês de diferença, o que explica os diversos padrões observados. Pode-se visualizar que há variação espacial dos dados de precipitação, uma vez que mesmas datas apresentaram diferentes lâminas de precipitação pluvial. Em algumas fazendas o estresse hídrico pode ser visualizado por meio do balanço hídrico, em alguns estádios a umidade no solo ultrapassou o limite de segurança.

Na safra 2009/10 a produtividade da soja foi modelada segundo as variáveis data de plantio (*data*) e disponibilidade real de água no solo na profundidade de 0 a 30 cm (*dra1*). Quanto ao balanço hídrico das fazendas foram observados cinco padrões correspondentes à situação ótima, pequeno déficit hídrico no meio do terceiro e início do quarto estádio, déficit no final do terceiro em todo o quarto estádio, déficit no início do segundo e terceiro estádios e dois déficits acentuados no terceiro estádio. Estes padrões podem ser visualizados nas Figuras 34, 35, 36, 37 e 38.

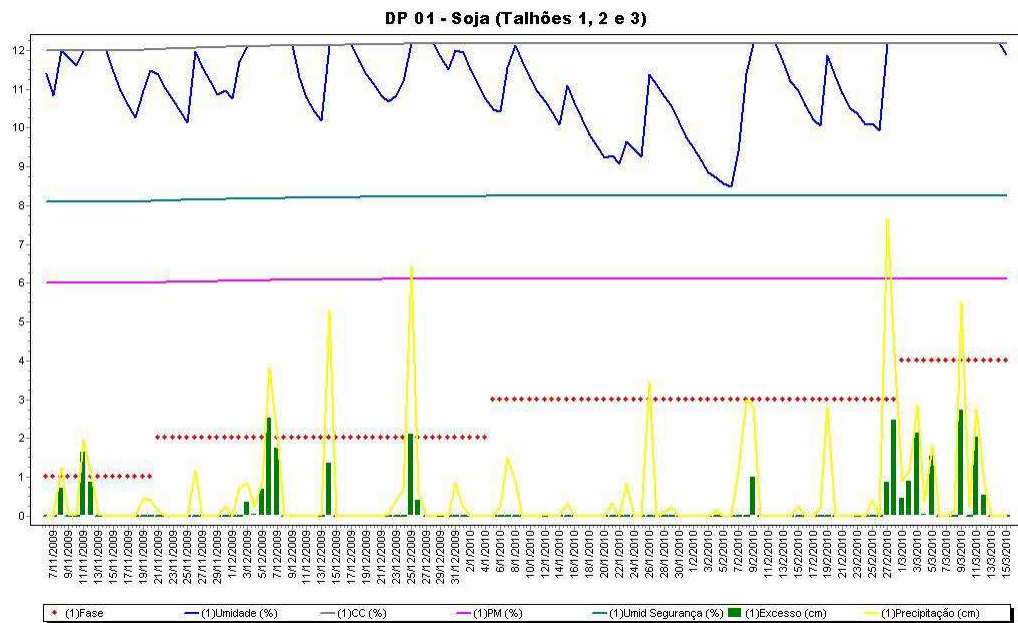


FIGURA 34: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: situação ótima

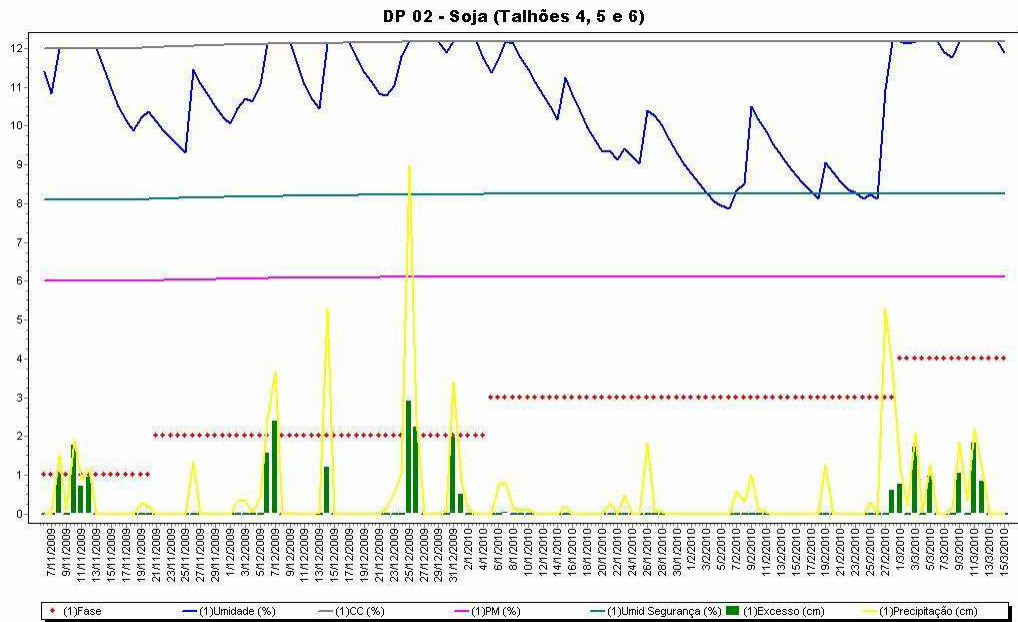


FIGURA 35: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no final do terceiro estágio

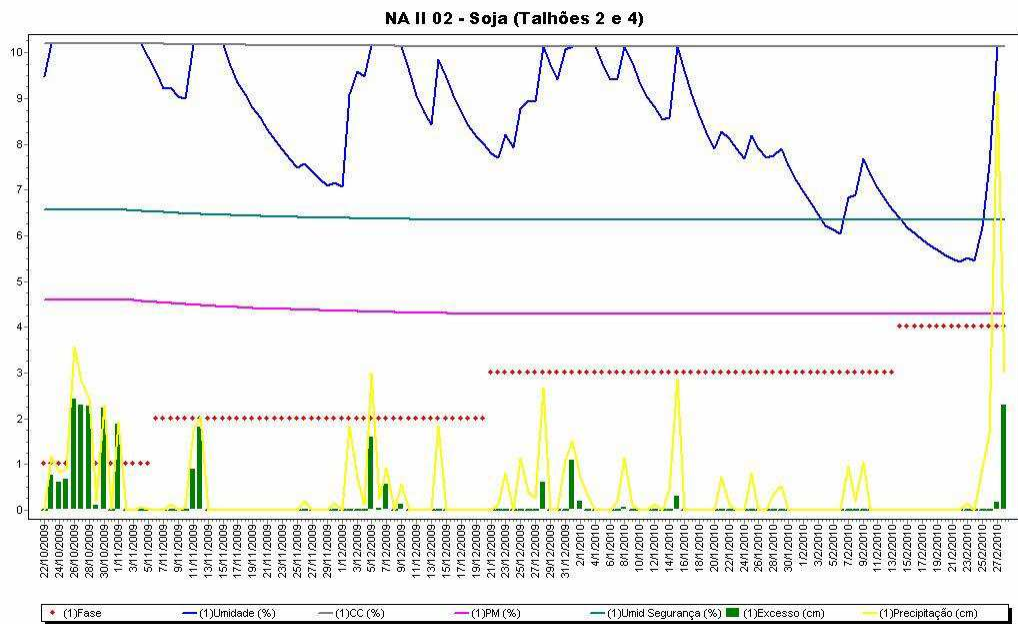


FIGURA 36: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no quarto estágio

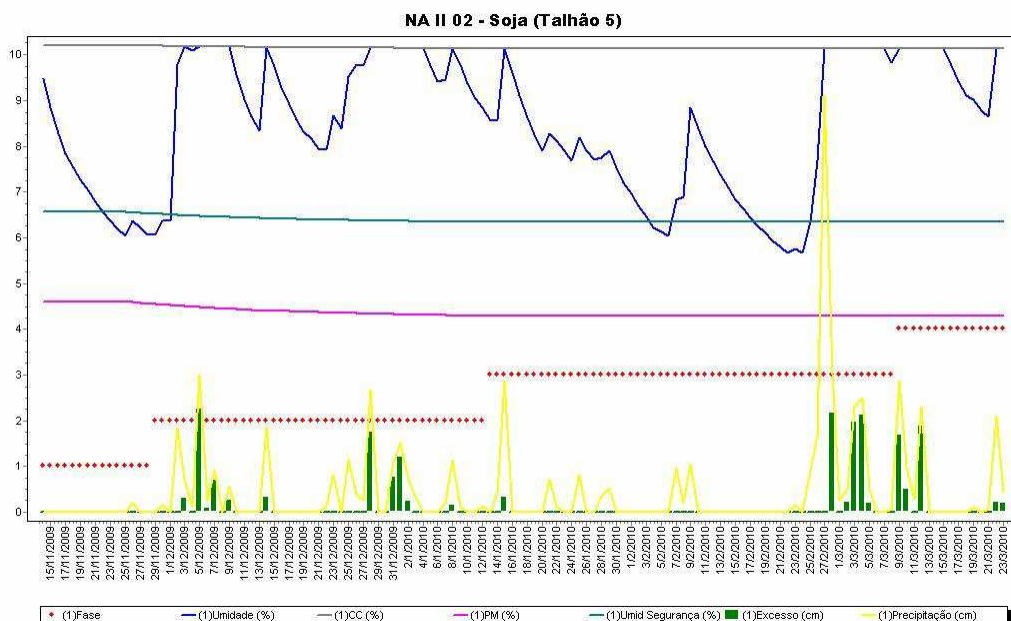


FIGURA 37: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no início do terceiro estádio e no quarto estádio

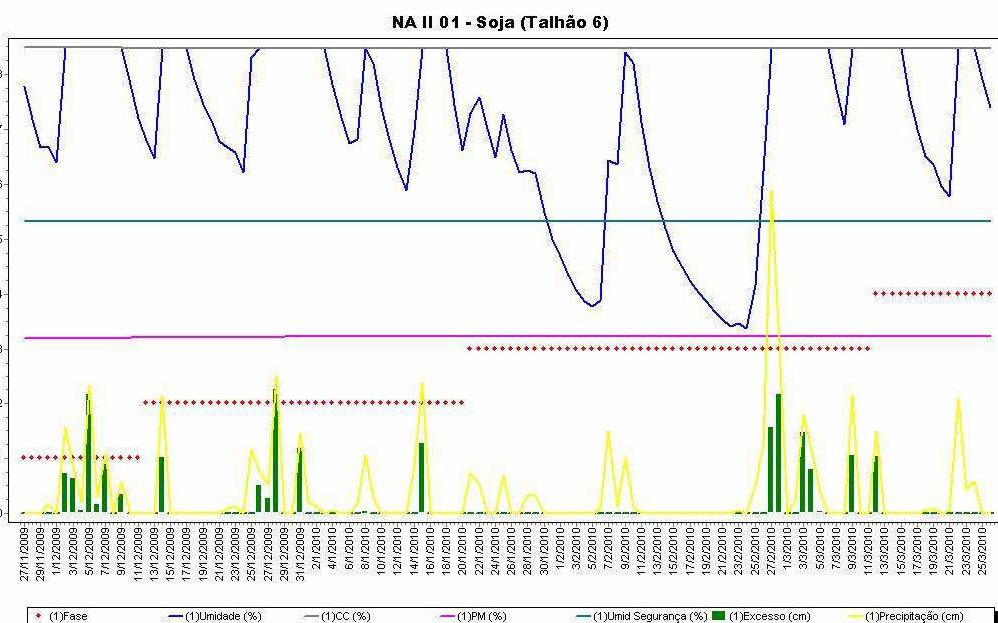


FIGURA 38: Balanço hídrico para a cultura da soja na safra 2009/10: déficit hídrico no início e final do terceiro estádio e no quarto estádio

As datas de plantio referentes a esta cultura variam de 7 a 27 de novembro. Em algumas fazendas houve um veranico no mês de fevereiro de 2010, como pode ser observado pelo comportamento da umidade do solo na Figura 37

e Figura 38. No plantio ocorrido mais cedo o comportamento da umidade não apresentou grandes variações, como apresenta a Figura 34. A produtividade foi comprometida pelo estresse hídrico ocorrido no terceiro estágio da cultura correspondente à formação da colheita.

Os comportamentos observados dos balanços hídricos levaram a diferentes modelos de função de produção que interferem na produtividade. A data de plantio para o caso do cultivo em sequeiro deve ser observada para minimizar os efeitos do déficit hídrico nas culturas. Pode ser comprovado que modelos empíricos não podem ser adotados em condições distintas ao que foram ajustados o que corrobora a afirmação de Mantovani (1993) citado por Faccioli (2002), pois para mesma cultura foram encontrados diferentes modelos de função de produção.

## 5.2 Interpolação da precipitação efetiva

Considerou-se os meses dezembro, janeiro e fevereiro que correspondem ao meses mais chuvosos da região Oeste da Bahia para estudar a distribuição espacial da precipitação efetiva das safras 2008/09 e 2009/10 nos municípios São Desidério e Correntina.

Para realizar a interpolação da precipitação efetiva foi modelada a dependência espacial para cada mês mais chuvoso, iniciando pelo estudo descritivo dos dados, discriminados na Tabela 9.

TABELA 9: Precipitação efetiva, em mm, segundo a safra e o mês

Safra	Mês/Ano	Precipitação efetiva			
		Mínimo	Mediana	Média	Máximo
2008/09	Dez/08	33,0	54,8	57,4	80,6
	Jan/09	39,7	116,5	118,2	191,8
	Fev/09	18,4	70,8	69,5	112,8
2009/10	Dez/09	22,9	66,6	70,5	137,6
	Jan/10	37,6	75,6	72,2	107,0
	Fev/10	41,7	130,4	132,4	193,6

Observa-se que o mês de fevereiro da safra 2008/09 apresenta menor lâmina de precipitação efetiva, 18,4 mm. Por outro lado, a maior lâmina é en-

contrada no mesmo mês da safra 2009/10. Pode-se observar que a mediana e a média apresentaram valores próximos, indicando distribuição simétrica dos valores. Diferentes valores de precipitação efetiva foram obtidos dentro dos meses da mesma safra e nos mesmos meses de safras diferentes. Tais considerações podem ser observadas na Figura 39, na qual é possível visualizar também a dispersão e valores discrepantes.

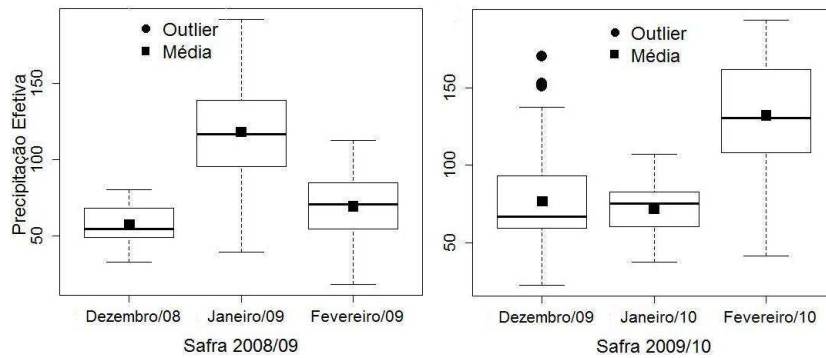


FIGURA 39: *Boxplot* das precipitações efetivas para o trimestre DJF nas safras 2008/09 e 2009/10

Em cada mês a dispersão dos dados apresenta uma característica distinta. Na safra 2008/09 houve maior dispersão da precipitação efetiva no mês de janeiro/09, enquanto que fevereiro/10 foi o mês com maior dispersão na safra 2009/10. A presença de valores discrepantes foi observada no mês de dezembro/09 da safra 2009/10, cujas lâminas correspondem a 150,85, 153,02 e 170,05 mm.

O modelo que melhor representa a dependência espacial é aquele que apresenta melhores resultados para as estatísticas: média dos erros padronizados mais próxima de zero, desvio-padrão dos erros padronizados menores, erro padrão médio próximo ao desvio-padrão dos erros padronizados e erro quadrático médio padronizado próximo a 1, além da mediana dos erros que tem que apresentar um valor próximo a zero representando equilíbrio entre sub e superestimativas.

O processo de modelagem da dependência espacial se inicia pela observação das estatísticas apresentadas na Tabela 9 e depois pela observação de pontos que produz semivariância atípica. Dependendo da situação um ou mais pontos poderão ser removidos dos dados. Para a modelagem da precipitação efetiva houve a necessidade de excluir algum dado, por exemplo para o mês de dezembro

de 2008 e 2009, em que o valor estava influenciando o modelo do semivariograma teórico. Após esta etapa é iniciada a busca por um melhor modelo, o que é feito feito por tentativa e erro. Ajusta-se um modelo, observa as estatísticas supra citadas, experimenta outro modelo e segue comparando estas estatísticas com a do modelo anterior, ou anteriores e aquele que apresentar melhor resultado é o que deve ser adotado para modelar a dependência espacial. Os modelos de dependência espacial que apresentaram melhores resultados foram o gaussiano e o esférico e as estimativas dos seus parâmetros são apresentadas na Tabela 10.

TABELA 10: Modelos de dependência espacial e estimativas dos parâmetros, segundo a safra e mês/ano

Safra	Mês/Ano	Modelo	Estimativas dos parâmetros		
			Efeito Pepita	Patamar	Alcance
2008/09	Dez/08	Gaussiano	23,11	108,33	4.244,04
	Jan/09	Esférico	320,20	811,12	15.143,29
	Fev/09	Gaussiano	147,89	825,80	21.086,09
2009/10	Dez/09	Esférico	281,53	1.768,28	27.757,26
	Jan/10	Esférico	164,05	271,05	33.129,40
	Fev/10	Gaussiano	147,89	825,80	21.086,09

Diferentes alcances foram obtidos, o mês de dezembro de 2008, por exemplo, apresentou o menor alcance. Em janeiro de 2010 o limite da dependência espacial atingiu aproximadamente os 33 km, o maior valor de alcance. O alcance é a distância limite da dependência espacial, isto é, amostras separadas por distância menores que o alcance são espacialmente relacionadas, enquanto que amostras separadas por distâncias maiores não são.

Os graus de dependência espacial para cada mês foram, respectivamente, 21%, 39%, 17%, 15%, 60% e 17%. O grau de dependência espacial de Cambardella é forte quando é inferior a 25%, casos dos meses Dez/08, Fev/08, Dez/09 e Fev/10. Os meses Jan/09 e Jan/10 apresentaram graus de dependência espacial moderada.

Os coeficientes de correlação entre os valores preditos e os valores observados foram: 63%, 72%, 71%, 82%, 29% e 63%, respectivamente, para Dez/08, Jan/09, Fev/09, Dez/09, Jan/10 e Fev/10. No mês de janeiro de 2010 o coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos foi relativamente baixo. Embora apresentasse equilíbrio entre as sub e superestimativas, houve uma ten-

dência no método de interpolação krigagem em subestimar alguns valores maiores de precipitação efetiva e superestimar alguns valores menores.

Os valores encontrados para as estatísticas dos erros padronizados nos modelos adotados são discriminados na Tabela 11. Quando o valor da mediana é próximo a zero é um indício de que há um equilíbrio entre sub e superestimativas. O teste Shapiro-Wilk foi realizado para verificar a normalidade dos erros e quando o valor-p é maior do que 5% considera-se que os erros distribuem-se normalmente.

TABELA 11: Estatísticas dos erros padronizados para cada modelo de dependência espacial adotado

Estatísticas	Modelos/Mês/Ano					
	Gaussiano	Esférico	Gaussiano	Esférico	Esférico	Gaussiano
	Dez/08	Jan/09	Fev/09	Dez/09	Jan/10	Fev/10
Média dos erros padronizados	-0,0351	-0,0194	0,0283	0,0346	0,0029	0,0659
Erro quadrático médio	1,013	0,9387	1,0770	0,7714	1,0070	1,0680
Mediana	0,06	0,10	0,12	0,10	-0,03	0,08
Shapiro-Wilk (valor p)	0,7448	0,8530	0,4671	0,3931	0,4989	0,3319

Observa-se que as médias dos erros padronizados são valores próximos a zero, os erros quadráticos médios são valores próximo a 1. As medianas próximas a zero indicam equilíbrio entre sub e superestimativas. Os valores-p do teste Shapiro-Wilk dos erros padronizados são todos maiores que 5% permitindo concluir que há normalidade dos mesmos. Tais estatísticas permitem concluir que os modelos adotados podem ser usados para modelar a dependência espacial.

Como a precipitação efetiva apresenta dependência espacial o melhor método para realizar a modelagem é a krigagem, método geoestatístico. A krigagem estima valores para os locais onde não se tem valores observados e cada estimativa representa a média ponderada dos valores observados na sua vizinhança. Os mapas resultantes da modelagem espacial por krigagem ordinária dos três meses mais chuvosos relativos à safra 2008/09 são apresentados na Figura 40 e para a safra 2009/10 na Figura 41.

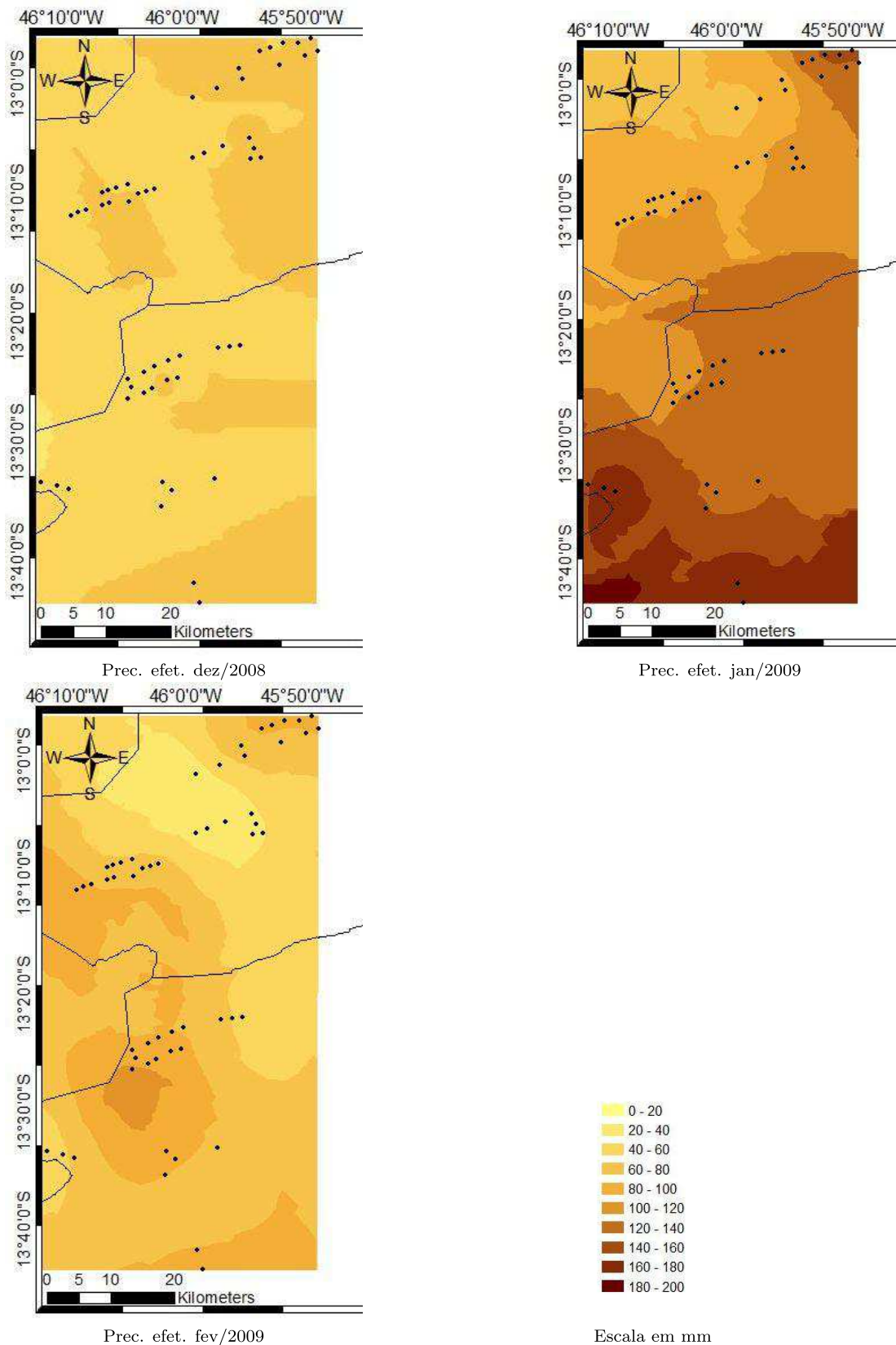


FIGURA 40: Espacialização da precipitação efetiva dos três meses mais chuvosos da safra 2008/09

Os locais onde situam os pluviógrafos são identificados pelos pontos, con-

forme pode ser visualizado na Figura 12. Os pluviógrafos não estão dispostos sistematicamente, mas de acordo com as localizações de cada gleba das fazendas estudadas. Há uma pequena diferença entre a distribuição dos pluviógrafos de uma safra para outra, devido à perda de informações ou por não ter cultivo na gleba.

Diferenças temporais da precipitação efetiva podem ser observadas nos mapas. Lâminas menores de precipitação efetiva foram obtidas para o mês de janeiro, mais ao norte (parte superior do mapa) na safra 2008/09, em relação aos meses de dezembro e fevereiro.

Por outro lado, no município de Correntina, na safra 2008/09, a lâmina da precipitação efetiva no mês de dezembro, foi maior do que a obtida para os demais meses desta safra. A dependência espacial alcançou aproximadamente 15 km, o que permite relatar que fazendas distantes dentro deste intervalo possuem precipitação efetiva semelhante.

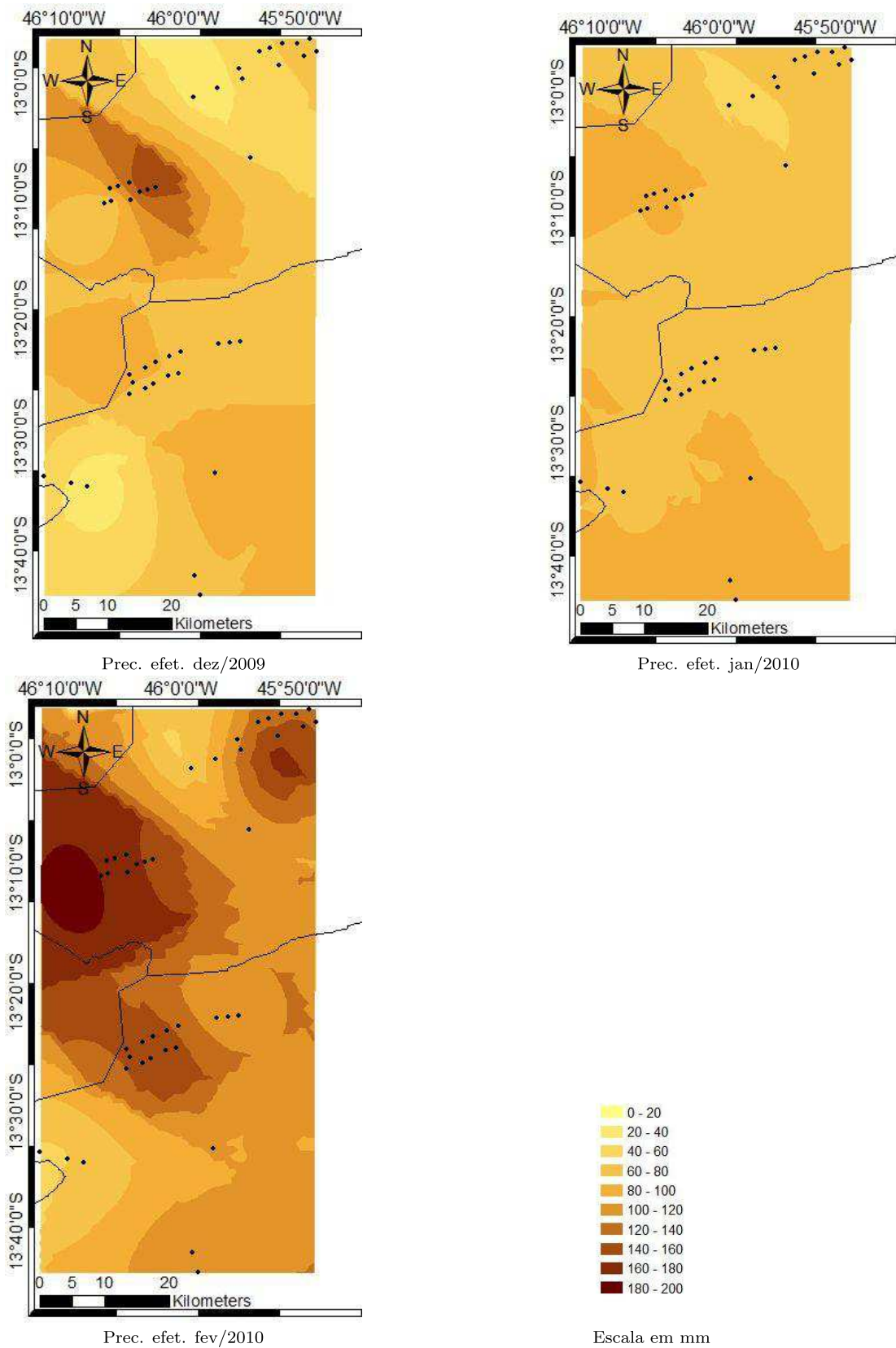


FIGURA 41: Espacialização da precipitação efetiva dos três meses mais chuvosos da safra 2008/09

Na safra 2009/10 o mês de janeiro apresentou forte dependência espacial,

o alcance é o maior entre todos os períodos. Aparentemente foi observada pouca variação na distribuição da precipitação efetiva, resultado semelhante ao obtido na Figura 39. Por outro lado nos meses de dezembro e fevereiro, desta safra, foram obtidas maiores diferenças. A maior lâmina de precipitação efetiva se localiza mais a oeste do município de São Desidério.

Comportamentos e lâminas diferentes dentro de cada mês e safra podem ser observados. Na safra 2008/09 as maiores lâminas de precipitação efetiva foram encontrados no município de Correntina, enquanto que na safra 2009/10, no município de São Desidério.

## 6 CONCLUSÕES

Considerando os resultados apresentados e a discussão realizada conclui-se que:

- As produtividades de algodão e soja das fazendas estudadas não puderam ser modeladas por meio de um modelo único de função de produção, para cada cultura e safra, pois apresentaram variáveis independentes diferentes. As variáveis independentes adotadas para modelar a produtividade apresentaram forte correlação entre si e, em alguns casos, fraca correlação com a variável dependente.
- A distribuição espacial da precipitação efetiva indica que há variação temporal numa mesma safra e, também, em safras diferentes, além da variação espacial dentro de um mesmo mês.
- A interrelação entre as variáveis estudadas em cada período e cultura indicam que a influência de determinado parâmetro na produtividade varia estatisticamente em cada situação.
- A produtividade apresenta correlação negativa com a data de plantio, nos casos em que foram adotados os modelos de função de produção. É necessário diminuir o intervalo de plantio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIBA. Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. **Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2009/10**. Bahia, 2010. (Edição especial 20 anos da Aiba).

AIBA. Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. **Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2010/11**. Bahia, 2011.

AIBA. Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. **Anuário da Região Oeste da Bahia: Safra 2011/12**. Bahia, 2012.

ALBUQUERQUE, A. C. L. S. **Estimativa de recarga da Bacia do Rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos**. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

ALENCAR, L. P.; SEIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura (REVENG)**, Viçosa, v. 19, n. 5, p. 437–449, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php%20-/reveng/article/viewFile/260/185>>.

ALMEIDA, C. F. P.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Estimativa da distribuição espacial de retenção de água em um solo utilizando krigagem indicatriz**. Relatório Técnico do Laboratório de Estatística. Paraná, 1996. 36 p.

ALMEIDA, I. R. **O clima com um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso**. Tese (Doutorado em Geografia) — UNESP-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2005.

AMORIM, R. C. F.; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 30, n. 1, p. 87–91, 2008.

ANJOS, I. B.; NERY, J. T. Variáveis meteorológicas associadas ao rendimento de grãos no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 27, n. 1, p. 133–144, 2005.

ANTONINI, J. C. A. **Modelagem matemática da variação espaço-temporal da temperatura média diária e do ciclo do algodoeiro herbáceo no estado de Goiás**. Tese (Doutorado em Agronomia) — Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2009.

ARAÚJO, A. E.; AZEVEDO, D. M. P.; FREIRE, E. C.; RAMALHO, F. S.; ANDRADE, F. P.; FERREIRA, G. B.; COSTA, J. N.; KOURI, J.; AMARAL, J. A. B.; MEDEIROS, J. C.; OLIVEIRA, J. M. C.; BEZERRA J. R. C. PEREIRA, J. R.; BARROS, M. A. L.; CARVALHO, M. C. S.; LUZ, M. J. S.; M., B. N. E.; SUASSUNA, N. D.; SANTOS, R. F.; COUTINHO, W. M. **Cultivo do Algodão Irrigado**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2006. (Embrapa Algodão. Sistemas de Produção, 3 - 2ª edição). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br%20-/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado\\\_2ed/index.html](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br%20-/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrigado\_2ed/index.html)>. Acesso em: 03 mar. 2013.

ARAÚJO, A. E.; D., S. C. A.; FREIRE, E. C.; COSTA, J. N.; AMARAL, J. A. B.; MEDEIROS, J. C.; SILVA, K. L.; BARROS, M. A. L.; M., B. N. E.; SUASSUNA, N. D.; FIRMINO, P. T.; FERREIRA, P. F.; ALMEIDA, R. P.; SANTOS, R. F.; FREIRE, R. M. M.; PEREIRA, S. R. P. **Cultura do Algodão Herbáceo na Agricultura Familiar**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2003. (Embrapa Algodão. Sistemas de Produção, 1). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br%20-/FontesHTML/Algodao/AlgodaoAgriculturaFamiliar/index.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

ARAÚJO, H. A.; RODRIGUES, R. S. **Regiões características do Estado da Bahia para a previsão de tempo e clima**. Salvador: SEINFRA-SRH-GEREI, 2000.

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S. S.; MEDEIROS, P. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 23, n. 2, p. 162-169, mar. 2008.

ARAÚJO, M. A.; SOUZA, J. L. M.; TSUKAHARA, R. Y. Modelos agrometeorológicos na estimativa da produtividade da cultura da soja na região de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 33, n. 1, p. 23-31, 2011.

ARAÚJO, W. S.; BRITO, J. I. B. Índices de tendências de mudanças climáticas para os estados da Bahia e Sergipe por meio de índices pluviométricos diários e sua relação com TSM do Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 26, n. 4, p. 541-554, dez. 2011.

BACK, A. J.; DORFMAN, R.; CLARKE, R. Avaliação de métodos para dimensionamento da irrigação suplementar em clima úmido. **RBRH-Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 33-49, out-dez. 1998.

BARBOSA, F. C.; TEIXEIRA, A. S.; GONDIM, R. S. Espacialização da evapotranspiração de referência e precipitação efetiva para estimativa das necessidades de irrigação na região do Baixo Jaquaribe - CE. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v. 36, n. 1, p. 24-33, jan-abr. 2005.

BATISTELLA, M.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E.; VIEIRA, H. R.; VALLADARES, G. S.; MANGABEIRA, J. A. C.; ASSIS, M. C. **Monitoramento da expansão agropecuária na Região Oeste da Bahia**. Campinas, SP: Embrapa, 2002. 39 p., il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 20).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV-Imprensa Universitária, 2006. 625 p.

BORGES, L. A.; FERRAZ, G. A. S.; ALVARENGA, C. C. Uso geoestatístico no mapeamento de variáveis climáticas e sua influência na produção cafeeira do Estado de Minas Gerais. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 2009. (22 a 25 de setembro).

BORGES, P. F. **Crescimento, desenvolvimento e balanço de radiação do algodoeiro herbáceo BRS-201 em condições irrigadas**. 87 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2002.

BRAGA, C. C.; MELO, M. L. D.; MELO, E. C. S. Análise de agrupamento aplicada a distribuição da precipitação no Estado da Bahia. In: X CONGRESSO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DE FLISMET. **Anais...** Brasília, DF, 1998. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/13-fbf55ac7320340c0d272169a627655df.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2012.

BRANDÃO, P. R. B. Um território indiferenciado dos sertões: a geografia preterita do oeste baiano (1501-1827). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, GO, v. 29, n. 1, p. 47–56, jan-jun. 2009.

BUFON, V. B. **Análise de variabilidade espacial da capacidade de armazenamento de água do solo e seu impacto no gerenciamento da irrigação**. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — UFV, Viçosa, 2005.

CARDOSO, E. S.; ALMEIDA, M. G. Bacia hidrográfica do Rio de Ondas: Barreiras – BA: a análise sócio-ambiental. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Anais...** UFV: Viçosa, 2010. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio%-%/.../005.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2012.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, n. 2, p. 377–384, mai-ago. 2005.

CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. Modelo de regressão para a previsão de produtividade de cafeeiros no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 8, n. 2/3, p. 204–211, mar-abr. 2004.

CHARNET, R.; BONVINO, H.; FREIRE, C. A. L.; CHARNET, E. M. R. **Análise de modelos de regressão linear**: com aplicações. 2. ed. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008. 368 p.

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S. **Regression Analysis by Example**. 4. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 375 p.

CHAVES, R. R. **Variabilidade da precipitação na região sul do nordeste e da associação com padrões atmosféricos**. 159 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — INPE, São José dos Campos, 1999.

COELHO-BARROS, E. A.; SIMÕES, P. A.; ACHCAR, J. A.; MARTINEZ, E. Z.; SHIMANO, A. C. Métodos de estimação em regressão linear múltipla: aplicação a dados clínicos. **Revista Colombiana de Estadística**, Bogotá, Colombia, v. 31, n. 1, p. 111–129, jun. 2008.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sétimo levantamento, abril 2012**. Brasília: CONAB, 2012.

CORAL, A.; ASSAD E. PINTO, H. S.; IAFFE, A. Utilização de um modelo agrometeorológico na estimativa de produtividade da cultura da soja no Estado do Paraná. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. **Anais...** Campinas, SP, 2005.

CORREIA, A. A.; SILVA ARAGÃO, M. R.; BRAGA, C. C. Padrões de variabilidade temporal das componentes do vento à superfície no Nordeste do Brasil. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ, 2000. (p. 812-821. 2000). Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-26302bd8acb12f0eda3e1b99e5d282f6.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2011.

COSTA, A. R.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; HELBEL JÚNIOR, C. Número de ramos plagiotrópicos e produtividade de duas cultivares de cafeeiro utilizando irrigação por gotejamento. **Revista Ciência e Agrônômica**, UFC, Fortaleza, CE, v. 41, n. 4, p. 571–581, out-dez. 2010.

DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A.; SCHLERF, M.; ATZBERGER, C.; CORSI, F.; CHO, M. Lai and chlorophyll estimation for a heterogeneous grassland using hyperspectral measurements. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63, p. 409–426, jul. 2008.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 692 p.

DIAS, F. L. F.; MAZZA, J. A.; MATSUOKA, S.; PERECIN, D.; MAULE, R. F. Produtividade da cana-de-açúcar em relação a clima e solos da região noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 627–634, 1999.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JUNIOR, P. J. **Model-Based Geostatistics**. New York: Springer, 2007. 228 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1981. 709 p.

FACCIOLI, G. G. **Modelagem da uniformidade e da lâmina de irrigação na produtividade do feijoeiro**. 192 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Circular Técnica 48).

FERNANDES, F. L.; MANTOVANI, E. C.; BONFIM NETO, H.; NUNES, V. V. Efeitos de variáveis ambientais, irrigação e vespas predadoras sobre *Leucoptera coffeella* (Guérin-Méneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae) no cafeiro. **Neotropical Entomology**, v. 38, p. 410–417, mar-abr. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2009000300018](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2009000300018)>. Acesso em: 08 jun. 2013.

FERNANDES, R. C.; LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. M. C. Oeste baiano: da agricultura familiar à agroindústria. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12. **Anais...** Montivideo, Uruguai, 2009.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An R Companion to Applied Regression**. Second. Thousand Oaks CA: Sage, 2011. Disponível em: <<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>>.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. (Editores Técnicos). **Planejamento de Irrigação**: Análise de decisão de investimento. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A. Ocupação humana e impactos ambientais no bioma cerrado: dos bandeirantes à política de biocombustíveis. In: IV ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS. **Anais...** Brasília, DF, 2008.

GOMES, O. M.; SOUZA, F. A. S.; SANTOS, C. A. C.; PAIVA, W. Análise geoestatística da precipitação pluvial do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Campina Grande, PE, v. 4, n. 4, p. 692–702, 2011. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/193/199>>. Acesso em: 02 fev. 2012.

GOOVAERTS, P. **Geostatistics for natural resources evaluation**. New York: Oxford University Press, 1997. 650 p.

GRIMES, D. I. F.; PARDO-IGÚZQUIZA, E. Geostatistical analysis of rainfall. **Geographical Analysis**, v. 42, p. 136–160, 2010.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 812 p.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HAMAKAWA, P. J. **Análises multivariadas e de séries temporais de elementos meteorológicos e de parâmetros fenológicos do cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.) sob diferentes estratégias de irrigação**. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

HEIBERGER, R. M. **HH: Statistical Analysis and Data Display: Heiberger and Holland**. Vienna, Austria, 2013. R package version 2.1-32. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/web/packages/HH/index.html>>.

IBGE/PAM. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal – culturas temporárias e permanentes**. Rio de Janeiro, v. 37, 2010.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 560 p.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, ABEP. **Anais...** Caxambu, MG, 2006. Disponível em: <[http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006\\\_388.pdf?search=\%22ArcGis\%20anisotropia\%22](http://www.abep.nepo.unicamp.br/encontro2006/docspdf/ABEP2006\_388.pdf?search=\%22ArcGis\%20anisotropia\%22)>

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Mega-diversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 148–155, jul. 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Ed.). **Ecology and natural history of a Neotropical Savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p. 69–88.

LEAL, B. G. **Sistema computacional para avaliação e estimativa das produtividades potencial e real das culturas agrícolas**. 96 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

LEAL, B. G.; FACCIOLI, G. G.; MANTOVANI, E. C. Generalização do coeficiente de déficit da função de produtividade de culturas agrícolas proposta por Mantovani (1993). In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Anais...** Goiânia, GO, 2003.

LIGGES, U.; MÄCHLER, M. Scatterplot3d - an R Package for Visualizing Multivariate Data. **Journal of Statistical Software**, v. 8, n. 11, p. 1–20, 2003. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org>>.

LIMA, J. R. A.; NEVES, D. J. D.; ARAÚJO, L. E.; AZEVEDO, P. v. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia (Recife)**, UFPE: Pernambuco, v. 28, n. 3, p. 172–187, 2011.

LIMA, L. A. S.; MARTINS, E. S.; GOMES, M. P.; BRAGA, A. R. S.; PASSO, D. P.; CASTRO, K. B.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. **Caracterização geomorfológica do município de Correntina, Oeste Baiano, escala 1:100.000**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. 33 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 287).

MAÑAS, M. S. O.; VALERO, J. (Coordenadores). **Agronomía Del Riego**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1993. 732 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 355 p.

MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. **Manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos**. Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos. Brasília: SRH/MMA-DEA-UFV, 1998. 154 p.

MANTOVANI, E. C.; MOREIRA, H. M. Sistema IRRIGER de gerenciamento de irrigação. In: 2<sup>da</sup> REUNIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO. **Anais...** Córdoba, AR, 2010. (E. E. A. Manfredi, 9 y 10 de Noviembre, 2010).

MELO JUNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G.; MINUSI, R. B. Distribuição espacial da frequência de chuvas na região hidrográfica do Atlântico, Leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 417–425, 2006.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. **Bahia Agrícola**, Bahia, v. 1, n. 2, p. 38–46, jun. 2006. Disponível em: <[http://www.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia2\\\_v7n2.pdf](http://www.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia2\_v7n2.pdf)>. Acesso em: 02 jun. 2012.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 17, n. 1, p. 1–10, 2002.

MONTAGNA, M. A. **Distribuição espacial e amostragem sequencial da mosca branca *Benisia tabaci* Raça B (HOMOPTERA: ALEYRODIDAE) no agroecossistema do melão**. 83 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) — Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2001.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 706 p.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 463 p.

MORAES, L. S. **Diagnóstico de uso e ocupação da Bacia do Rio de Ondas - Barreiras/BA**. 150 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de épocas de semeadura e densidades de plantas**. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal)) — UNESP-Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, 2010.

PAIVA, B. R. T. L.; SOUZA, P. E.; SCALCO, M. S.; SANTOS, L. A. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 35, n. 1, p. 137–143, jan-fev. 2011.

PALARETTI, L. F. **Estudo dos efeitos do déficit hídrico na produção da laranja no Norte do Estado de São Paulo**. 145 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) — Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

PASSOS, A. L. O.; ROCHA, S. S.; HADLICH, G. M. Evolução do uso do solo e agronegócio na Região Oeste do Estado da Bahia. **Cadernos de Geociências**, Bahia, n. 7, p. 31–39, mai. 2010.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2012. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RAMOS, A. M. **Desegregação espacial da precipitação simulada por modelos atmosféricos no nordeste do Brasil**. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos) — Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; SOUSA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010.

REZENDE, G. C. Ocupação agrícola, estrutura agrária e mercado de trabalho rural no cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e das políticas públicas. In: HELFAND, S. M.; REZENDE, G. C. (Ed.). **Região e espaço no desenvolvimento agrícola brasileiro**. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. p. 173–212.

RICHETTI, A.; ARAÚJO, A. E.; MORELLO, C. L.; SILVA, C. A. D.; LAZAROTTO, C.; AZEVEDO, D. M. P.; FREIRE, E. C.; ARANTES, E. M.; LAMAS, F. M.; RAMALHO, F. S.; ANDRADE, F. P.; FERREIRA, G. B.; SANTANA, J. C. F.; AMARAL, J. A. B.; MEDEIROS, J. C.; BEZERRA, J. R. C.; PEREIRA, J. R.; SILVA, K. L.; STAUT, L. A.; SILVA, L. C.; CHITARRA, L. G.; BARROS, M. A. L.; CARVALHO, M. C. S.; LUZ, M. J. S.; BELTRÃO, N. E. M.; SUASSUNA, N. D.; SILVA, O. R. R. F.; FERREIRA, P. F.; SANTOS, R. F.; FONSÊCA, R. G. **Cultura do Algodão no Cerrado**. Campina Grande, PB: Embrapa Algodão, 2003. (Embrapa Algodão. Sistemas de Produção, 2). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br%20-%20FontesHTML/Algodao/Algodao Cerrado/autores.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br%20-%20FontesHTML/Algodao/Algodao%20Cerrado/autores.htm)>. Acesso em: 03 mar. 2013.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 431–437, 2001.

SALES, L. G. L.; SALES, R. M. M. Território em transformação: os impactos do agronegócio no oeste baiano – nordeste – BA. **Revista Percursos**, Curitiba, n. 11, p. 93–109, 2010.

SALGUEIRO, J. H. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Análise da distribuição espacial da precipitação na Bacia do Rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, PE, v. 29, n. 2, p. 174–185, 2008.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco**. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — UFPE, Recife, PE, 2005.

SAMPAIO, S. C.; CORRÊA, M. M.; VILAS BÔAS, M. A.; OLIVEIRA, L. F. C. Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande: PB, v. 4, n. 2, p. 210–213, 2000.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Monitoramento semidetalhado (escala de 1:250.000) de ocupação de solos do cerrado: considerações e proposta metodológica. In: XII SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Goiânia, 2005. (16 a 21 de abril de 2005, INPE, p. 3309-3316).

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento de cobertura vegetal do bioma cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 33 p. (Documentos / Embrapa Cerrados).

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do bioma cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 153–156, jan. 2008.

SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do oeste baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, UNESP: São Paulo, v. 30, n. 3, p. 479–489, jan. 2011.

SANTANA, E. S. C.; CARNEIRO, R. L. S.; OLIVEIRA, R. M. B.; SANTOS, J. A. L. Modernização agrícola e crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. In: I SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA DO CERRADO – SIREGO. **Anais...** Barreiras, BA, 2010. (p. 104-119, out. 2010). Disponível em: <<http://www.geografia.icad.ufba.br/sirego/...20Cruz.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2012.

SANTANA, M. N. Identificação de áreas desmatadas no cerrado brasileiro com avanço da agricultura. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Anais...** UFV: Viçosa, 2009. Disponível em: <<http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio%20trabalhos/.../010.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2012.

SANTOS, C. C. M. Os cerrados da Bahia sob a lógica do capital. **Revista Ideas** — Interfaces em Desenvolvimento, Agricultura e Sociedade, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 76–108, jan-jun. 2008.

SANTOS, D. N.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, F. A. S.; SILVA, R. A. Estudo de alguns cenários climáticos para o Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande: PB, v. 14, n. 5, p. 492–500, 2010.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite - GO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 31, n. 1, p. 78–89, jan-fev. 2011.

SANTOS FILHO, A. M.; RIOS FILHO, J. N. V. A revalorização econômica do oeste baiano a partir da expansão da agricultura moderna e o surgimento de um novo território: o município de Luís Eduardo Magalhães - BA. **Revista Pegada**, Bahia, v. 9, n. 2, p. 1–15, dez. 2008.

SANTOS, R. S.; COSTA, L. C.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; OLIVEIRA, R. A.; JUSTINO, F. B. Avaliação da relação seca/produzitividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 26, n. 2, p. 313–321, 2011. Disponível em: <[http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista\\_artigo.php?id\\_artigo=1047](http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=1047)>.

SCARPARI, M. S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos**. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — ESALQ, Piracicaba, 2002.

SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R. Estimativa de evapotranspiração de referência no semiárido pernambucano. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 4, p. 3–22, out-dez. 2011.

SILVA, C. E. M. Ordenamento territorial no cerrado brasileiro: da fronteira monocultura a modelos baseados na sociobiodiversidade. **Desenvolvimento e meio ambiente**, Editora UFPR, n. 19, p. 89–109, jan-jun. 2009.

SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; AZEVEDO, P. V.; SOUSA, F. A.; SOUSA, I. F. Análise da pluviometria e dias chuvosos na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande: PB, v. 15, n. 2, p. 131–138, 2011.

SOUSA, I. F. **Ajuste de modelos não lineares na descrição de germinação de sementes de café (*Coffea arabica* L.) CV. Catuaí**. 72 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) — Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2012.

SOUZA, E. C. S.; SANTOS, O. A.; ARAÚJO, A. O.; ARAÚJO, W. K. Oeste da Bahia: novos arranjos espaciais. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS. **Anais...** Porto Alegre, RS, 2010. (p. 1-12, jul. 2010).

SOUZA, E. R.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, T. E. M.; ANDRADE, T. S.; PEDROSA, E. R. Variabilidade espacial das frações granulométricas e da salinidade em um neossolo flúvico do semi-árido. **Ciência Rural**, Santa Maria, SC, v. 38, n. 2, p. 698–704, mar-abr. 2008.

SOUZA, P. S.; MEDEIROS, J. F.; MATOS, J. A.; MELO, S. B.; FERREIRA, R. C. Efeito de lâminas de irrigação sobre algumas características de produção em condições controladas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 25, n. 6, p. 90–95, 2009.

SUGAWARA, L. M.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, C. C.; PICOLI, M. C. A.; ADAMI, M. Estimativa de produtividade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) por meio de técnica de análise de regressão múltipla. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Florianópolis, SC, 2007. (21 a 26 de abril).

TANAJURA, C. A. S.; GENZ, F.; ARAÚJO, H. A. Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HADRM3P e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070 e 2100. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos: SP, v. 25, n. 3, p. 345–358, 2010.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 410 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia, Versão Digital 2**. Recife, Pernambuco: Agritempo, 2006. Disponível em: <[http://www.agritempo.gov.br/...tbackslash\\_2006.pdf](http://www.agritempo.gov.br/...tbackslash_2006.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2010.

VASQUES, A. C. **Características de precipitação sobre a América do Sul provenientes de diferentes fontes de dados com ênfase no Brasil**. 145 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) — INPE, São José dos Campos, 2007.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. R.; PINTO, D. B. F.; MELLO, J. M.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, n. 9, p. 970–978, 2010.

WEISBERG, S. **Applied Linear Regression**. 3. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. 310 p.

WILLMOTT, C. J. Some comments on evaluation of model performance. **Bulletin of American Meteorological Society**, Lancaster, v. 63, n. 11, p. 1309–1313, nov. 1982.

ZEILEIS, A.; HOTHORN, T. Diagnostic checking in regression relationships. **R News**, v. 2, n. 3, p. 7–10, 2002. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>>.