

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



Tese de Doutorado

RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

**CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E ANÁLISE DO RENDIMENTO
AGRÍCOLA DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL**

Campina Grande, Julho de 2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E ANÁLISE DO RENDIMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

Campina Grande – Paraíba - Brasil

2009



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E ANÁLISE DO RENDIMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG como requisito para a obtenção do título de Doutor em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia Agrícola e Micrometeorologia

Linha de Pesquisa: Meteorologia Agrícola

Orientadores: Dr. **Renilson Targino Dantas**

Dr. **Francisco de Assis Salviano de Sousa**

Campina Grande – Paraíba - Brasil

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M543

2008 Menezes, Ronaldo Haroldo Nascimento de.

Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil / Ronaldo Haroldo Nascimento de Menezes. — Campina Grande, 2009.

168f. : il.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof. Dr. Renilson Targino Dantas, Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa.

1. Meteorologia Agrícola. 2. Variabilidade Espacial. 3. Regionalização. 4. Modelos Empíricos. I. Título.

CDU 551.5:631(043)

RONALDO HAROLDO NASCIMENTO DE MENEZES

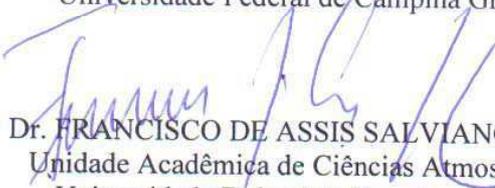
CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E ANÁLISE DO RENDIMENTO
AGRÍCOLA DO ESTADO DO MARANHÃO

TESE APROVADA EM 17/7/2009

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Profa. Dra. CÉLIA CAMPOS BRAGA.
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. PEDRO VIEIRA DE AZEVEDO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. PAULO CESAR SENTELHAS
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidade de São Paulo


Prof. Dr. ROBERTO FERNANDO DA FONSECA LYRA
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

Aos meus pais,

HUMBERTO MENEZES (in memorian) E MARIA DE NAZARÉ

A minha esposa e Filhos, RUTELENE, HUMBERTO E TAINÁ.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por ter me dado a força necessária para superar as dificuldades;

Aos meus pais Humberto (in memoriam) e Maria de Nazaré, pelo amor, dedicação e apoio irrestrito durante todas as fases da minha vida estudantil que me possibilitaram chegar até aqui;

A minha esposa Rutelene Menezes pela dedicação e companheirismo e aos meus filhos Humberto e Tainá, pelos momentos de lazer que me fizeram relaxar;

Aos meus irmãos Reinaldo e Carlos, meu tio José Maria e meus padrinhos Wanda e Pedro e todos os meus familiares, certamente, muito felizes por mais esta conquista;

Aos meus amigos e compadres, João Filho e Jucivan Ribeiro pelo auxílio oportuno quando da minha ausência;

Aos amigos Alan, Fátima, Edilson, Amélia, França, Adalto e Ana Alice pela amizade e carinho;

Aos amigos Andrea, Hallan, David, Jeferson, Glayson, Vanessa, Djane, Roberta, Carla e Mary pela convivência e pelos momentos família que se tornaram eternos;

Ao amigo Rafael pela motivação e convivência;

Aos professores do DEA, Bogéa, Ana Maria, Conceição e aos professores Gusmão e Moises pelas recomendações e confiança;

Aos professores Renilson Targino e Francisco de Assis pela compreensão e ensinamentos;

A secretária Divanete, pela competência e dedicação ao ofício de secretária, um exemplo a ser seguido;

A todos os professores do curso de Pós Graduação em Meteorologia – UFCG;

Aos professores Paulo Cesar Sentelhas e José Maria Brabo, pelas críticas e sugestões;

A Universidade Estadual do Maranhão – UEMA e a CAPES pela oportunidade de qualificação profissional;

Todos os órgãos que contribuíram para a realização desse trabalho, principalmente IBGE, ANA, INMET pela disponibilidade dos dados.

SUMÁRIO

	Pag.
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE APÊNDICES	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	2
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Estado do Maranhão	4
2.2 Produção agrícola.....	10
2.2.1 Cultura da Soja.....	10
2.2.2 Cultura do Milho	12
2.2.3 Cultura do Arroz.....	14
2.3 Aplicações da geoestatística.....	17
2.4 Aplicações da estatística multivariada	26
CAPÍTULO 3: MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 Área de estudo	31
3.2 Dados Utilizados	32
3.2.1 Precipitação Pluvial.....	32
3.2.2 Temperatura do Ar	32
3.2.3 Componentes do balanço hídrico climatológico	33
3.2.4 Produção agrícola.....	33
3.2.5 Temperatura da Superfície do Mar.....	33
3.3 Procedimentos Metodológicos	34
3.3.1 Fase 1: Análise estatística exploratória	34

3.3.2 Fase 2: Variabilidade espacial da precipitação pluvial	35
3.3.3 Fase 3: Regiões homogêneas de precipitação pluvial	38
3.3.4 Fase 4: Caracterização das regiões homogêneas de precipitação pluvial	42
3.3.5 Fase 5: Determinação de indicadores regionalizados	43
3.3.6 Fase 6: Avaliação dos indicadores regionalizados de rendimento agrícola	44
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1 VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	47
4.1.1 Análise exploratória da precipitação pluvial	47
4.1.2 Análise de tendência espacial da precipitação pluvial	50
4.1.3 Análise variográfica da precipitação pluvial	53
4.2 REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	73
4.2.1 Análise por componentes principais	73
4.2.2 Análise de Agrupamento	77
4.2.3 Caracterização agroclimática das regiões homogêneas de precipitação pluvial	80
4.2.4 Produção, rendimento e área plantada	87
4.2.4.1 Cultura da Soja	87
4.2.4.2 Cultura do Milho	90
4.2.4.3 Cultura do Arroz	92
4.3 INDICADORES REGIONALIZADOS DE RENDIMENTO AGRÍCOLA	94
4.3.1 Região homogênea de precipitação pluvial R3: Soja	94
4.3.2 Região homogênea de precipitação pluvial R7: Milho	107
4.3.3 Região homogênea de precipitação pluvial R5: Arroz	121
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E SUGESTÕES	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
APÊNDICES	147

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2		Pag.
Figura 2.1	- Imagem de satélite mostrando nuvens associada à: a) ZCIT e b) Frente Fria. Fonte: FUNCEME	5
Figura 2.2	- Imagem de satélite mostrando nuvens associada ao; a) VCAS (Fonte: FUNCEME) e b) : ZCAS (Fonte: IAG-USP)	6
Figura 2.3	- Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação as condições de <i>El Niño</i> . Fonte: Sousa <i>et al.</i> , 1998	7
Figura 2.4	- Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação as condições normais. Fonte: Sousa <i>et al.</i> , 1998.....	7
Figura 2.5	- Impactos globais esperados de dezembro a fevereiro do ENOS fase quente. Fonte: CPTEC/INPE.....	8
Figura 2.6	- Impactos globais esperados de dezembro a fevereiro do ENOS fase fria. Fonte: CPTEC/INPE.....	9
Figura 2.7	- Interação entre a ZCIT e a TSM do Atlântico durante a estação chuvosa (a) e estação seca (b).....	9
Figura 2.8	- Evolução da área colhida e produção de soja no Estado do Maranhão. Fonte dos dados: IBGE (2005).....	11
Figura 2.9	- Evolução da área de produção e produção de Milho no Estado do Maranhão (1990-2004). Fonte de dados: IBGE (2005).....	14
Figura 2.10	- Evolução da área de produção e produção de Arroz no Estado do Maranhão (1990-2004). Fonte dos dados: IBGE (2005).....	17
CAPÍTULO 3		
Figura 3.1	- Localização geográfica do Estado do Maranhão-Brasil.....	31
Figura 3.2	- Distribuição espacial das estações de coleta de dados no Maranhão.....	32
Figura 3.3	- Áreas sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico onde foram obtidos os dados de Temperatura da Superfície do Mar.....	33
Figura 3.4	- Modelo de semivariograma teórica	36
Figura 3.5	- Eixos principais com três variáveis.....	39
Figura 3.6	- Critério para determinação da estação de crescimento nos trópicos.....	42
CAPÍTULO 4		
Figura 4.1	- Probabilidade de ocorrência para verificação de normalidade nos dados de precipitação mensal no Estado do Maranhão.....	49
Figura 4.2	- Relação entre a precipitação mensal no Estado do Maranhão e a latitude.....	51
Figura 4.3	- Relação entre a precipitação mensal no Estado do Maranhão e a longitude.....	52
Figura 4.4	- Mapa Variográfico da Precipitação mensal no Estado do Maranhão: a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro e l) dezembro.....	55
Figura 4.5	- Variogramas da precipitação mensal no Estado do Maranhão:.....	58
Figura 4.6	- Distribuição espacial da tendência da precipitação mensal no Estado do Maranhão.....	59

Figura 4.7	-	Variogramas dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.....	62
Figura 4.8	-	Distribuição espacial dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.....	64
Figura 4.9	-	Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.....	68
Figura 4.10	-	Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.....	68
Figura 4.11	-	Distribuição espacial das cargas fatoriais: a) CF1, b) CF2, c) CF3, d) CF4, e) CF5, f) CF6, g) CF7, h) CF8, i) CF9, j) CF10.....	75
Figura 4.12	-	Dendrograma da precipitação pluvial no Estado do Maranhão pelo método Ward com distância euclidiana quadrática.....	78
Figura 4.13	-	Distribuição espacial dos grupos homogêneos de precipitação no Estado do Maranhão.....	79
Figura 4.14	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R1 no Estado do Maranhão.....	80
Figura 4.15	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R2 no Estado do Maranhão.....	81
Figura 4.16	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R3 no Estado do Maranhão.....	82
Figura 4.17	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R4 no Estado do Maranhão.....	82
Figura 4.18	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R5 no Estado do Maranhão.....	83
Figura 4.19	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R6 no Estado do Maranhão.....	84
Figura 4.20	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R7 no Estado do Maranhão.....	84
Figura 4.21	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R8 no Estado do Maranhão.....	85
Figura 4.22	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R9 no Estado do Maranhão.....	85
Figura 4.23	-	Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R10 no Estado do Maranhão.....	86
Figura 4.24	-	Tendência, rendimento real, corrigido e desvios de rendimento da soja para a região homogênea de precipitação R3 no Sul do Estado do Maranhão.....	95
Figura 4.25	-	Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Estado do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP5 x CP6, c) CP5 x CP7 e d) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	98
Figura 4.26	-	Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP4 e b) CP5 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	99
Figura 4.27	-	Indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP2 x CP3 e b) CP2 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	100

Figura 4.28 -	Indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP5 x CP6, b) CP5 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	101
Figura 4.29 -	Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	102
Figura 4.30 -	Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP3 x CP4, b) CP3 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	104
Figura 4.31 -	Indicador 7: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	105
Figura 4.32 -	Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP4 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	106
Figura 4.33 -	Tendência, rendimento real, corrigido e desvios de rendimento do milho para a região homogênea de precipitação R7 no Cento-Oeste do Estado do Maranhão.....	109
Figura 4.34 -	Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão : a) CP2 x CP3, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.	111
Figura 4.35 -	Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	112
Figura 4.36 -	Indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP4, b) CP5 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	113
Figura 4.37 -	Indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP5 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	114
Figura 4.38 -	Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP4, b) CP1 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	115
Figura 4.39 -	Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5, c) CP4 x CP6 e d) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	117

Figura 4.40 -	Indicador 7: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	118
Figura 4.41 -	Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5, c) CP4 x CP6 e d) comparação entre o rendimento agrícola observada e estimada.....	120
Figura 4.42 -	Tendência, rendimento real, corrigido e desvios de rendimento do arroz para a região homogênea de precipitação R5 no Centro-Norte do Estado do Maranhão.....	122
Figura 4.43 -	Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP1 x CP3 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	124
Figura 4.44 -	Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP1 x CP3 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	126
Figura 4.45 -	Indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP3 x CP4 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	127
Figura 4.46 -	Indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	128
Figura 4.47 -	Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão a) Componentes principais CP1 x CP3 e b) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	129
Figura 4.48 -	Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	130
Figura 4.49 -	Indicador 7: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	132
Figura 4.50 -	Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	133
Figura 4.51 -	Indicador 9: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.....	134

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3		Pág.
Tabela 3.1 -	Principais transformações utilizadas para ajuste à distribuição normal ..	34
Tabela 3.2 -	Modelos teóricos de ajuste do variograma	36
Tabela 3.3 -	Variáveis utilizadas para compor os indicadores de rendimento agrícola das culturas de soja, arroz e milho nas maiores regiões homogêneas produtoras no Estado do Maranhão.....	44
 CAPÍTULO 4		
Tabela 4.1 -	Coeficientes de correlação entre a precipitação e as coordenadas geográficas e parâmetros estatísticos referentes à precipitação mensal no Estado Maranhão.....	48
Tabela 4.2 -	Autovalores e variâncias explicadas pelas 13 primeiras componentes principais da precipitação mensal no Estado do Maranhão.....	74
Tabela 4.3 -	Rendimento da soja (Kg.ha^{-1}) por regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.....	89
Tabela 4.4 -	Rendimento do milho (Kg.ha^{-1}) por regiões homogêneas no Estado do Maranhão.....	91
Tabela 4.5 -	Rendimento do arroz (Kg.ha^{-1}) por regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.....	93
Tabela 4.6 -	Calendário agrícola da cultura da soja para a região R3 no Sul do Maranhão para ciclo médio de 120 dias.....	95
Tabela 4.7 -	Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão.....	96
Tabela 4.8 -	Calendário agrícola do milho para a região R7 no Centro-Oeste do Maranhão para ciclo médio de 120 dias.....	108
Tabela 4.9 -	Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão.....	110
Tabela 4.10 -	Calendário agrícola do arroz para a região R5 no Centro-Norte do Maranhão para ciclo médio de 120 dias.....	122
Tabela 4.11 -	Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão.....	123

LISTA DE APÊNDICES

CAPÍTULO 3	Pág.
Apêndice 3.1 - Relação dos postos pluviométricos	147
CAPÍTULO 4	
Apêndice 4.1 - Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	149
Apêndice 4.2 - Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	149
Apêndice 4.3 - Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	150
Apêndice 4.4 - Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	151
Apêndice 4.5 - Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	152
Apêndice 4.6 - Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	153
Apêndice 4.7 - Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	154
Apêndice 4.8 - Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.....	155
Apêndice 4.9 - Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura da soja na região R3 as componentes principais aplicada em diferentes indicadores.....	156
Apêndice 4.10 - Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	157
Apêndice 4.11 - Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	157
Apêndice 4.12 - Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	158
Apêndice 4.13 - Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	159
Apêndice 4.14 - Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	159
Apêndice 4.15 - Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	160
Apêndice 4.16 - Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	160
Apêndice 4.17 - Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.....	161
Apêndice 4.18 - Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura de milho na região R7 as componentes principais aplicada em diferentes indicadores.....	162
Apêndice 4.19 - Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	163

Apêndice 4.20 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	163
Apêndice 4.21 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	164
Apêndice 4.22 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	164
Apêndice 4.23 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	165
Apêndice 4.24 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	165
Apêndice 4.25 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	166
Apêndice 4.26 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	166
Apêndice 4.27 -	Resultados da ACP referentes ao indicador 9 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.....	167
Apêndice 4.28 -	Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura do arroz na região R5 as componentes principais aplicada em diferentes indicadores.....	168

LISTA DE ABREVIATURAS

Abr	- Abril
ACP	- Análise de Componentes Principais
ANA	- Agência Nacional de Águas
AR	- Armazenamento de Água no Solo
Ago	- Agosto
BTS	- Bartlett Test of Sphericity
CAD	- Capacidade de Água Disponível
CP1	- Componente Principal 1
CP2	- Componente Principal 2
CP3	- Componente Principal 3
CP4	- Componente Principal 4
CP5	- Componente Principal 5
CP6	- Componente Principal 6
CP7	- Componente Principal 7
CP8	- Componente Principal 8
CF1	- Carga Fatorial 1
CF2	- Carga Fatorial 2
CF3	- Carga Fatorial 3
CF4	- Carga Fatorial 4
CF5	- Carga Fatorial 5
CF6	- Carga Fatorial 6
CF7	- Carga Fatorial 7
CF8	- Carga Fatorial 8
CPTEC	- Centro de Previsão e Estudos Climáticos
D	- Deficiência Hídrica
DA	- Dipólo do Atlântico
Dez	- Dezembro
d	- Índice de concordância Willmot <i>et. al.</i> (1985)
ENOS	- El Niño Oscilação Sul
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ex	- Excesso Hídrico
ER/EP	- Evapotranspiração Real/Evapotranspiração Potencial
EUA	- Estados Unidos da América
FAO	- Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fev	- Mês de Fevereiro
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOS	- Índice de Oscilação Sul
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IDE	- Índice de Dependência Espacial
IQA	- Índice de Qualidade do Ajuste
IGF	- Indicative Goodness of Fit
ISNA	- Índice de Satisfação das Necessidades de Água
Jan	- Janeiro
Jun	- Junho
Jul	- Julho

Kg/ha	- Quilograma por hectare
KMO	- Kaiser-Meyer-Olkin
mm	- milímetros
Mai	- Maio
Mar	- Março
MSA	- Measure of Sampling Adequacy
Nov	- Novembro
N12	- Anomalias de TSM na região do El Niño 12
N3	- Anomalias de TSM na região do El Niño 3
Out	- Outubro
P	- Precipitação Pluvial
R1	- Região homogênea de precipitação 1
R2	- Região homogênea de precipitação 2
R3	- Região homogênea de precipitação 3
R4	- Região homogênea de precipitação 4
R5	- Região homogênea de precipitação 5
R6	- Região homogênea de precipitação 6
R7	- Região homogênea de precipitação 7
R8	- Região homogênea de precipitação 8
R9	- Região homogênea de precipitação 9
R10	- Região homogênea de precipitação 10
REP	- Reposição de água no solo
RET	- Retirada de água do solo
R²A	- Coeficiente de determinação ajustado
SQR	- Soma dos Quadrados dos Resíduos
SQT	- Soma dos Quadrados Total
SPSS	- Statistical Package for the Social Scienses
Set	- Setembro
SEVAP	- Sistemas de Estimativa da Evapotranspiração Potencial
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
Tx	- Temperatura máxima do ar
Ti	- Temperatura mínima do ar
Tm	- Temperatura média do ar
UFMG	- Universidade Federal de Campina Grande
VCAS	- Vórtice Ciclônico de Ar Superior
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
%cresc.	- Percentual de crescimento

CARACTERIZAÇÃO AGROCLIMÁTICA E ANÁLISE DO RENDIMENTO AGRÍCOLA DO ESTADO DO MARANHÃO, BRASIL

RESUMO

As condições agroclimáticas predominantes sobre uma região particular, principalmente durante o ciclo produtivo das culturas, são determinantes para a variabilidade observada do rendimento agrícola nas áreas cultivadas. Considerando essa premissa, esse estudo visou, por meio de métodos geoestatísticos e multivariados, caracterizar o Estado do Maranhão quanto às variáveis climáticas de interesse agrícola. Analisa-se a variabilidade espacial da precipitação e a sua regionalização, bem como, a determinação de indicadores constituídos de variáveis agroclimáticas e oceanográficas, no sentido de verificar empiricamente a sua relação com o rendimento agrícola das culturas de soja, milho e arroz nas principais regiões produtoras do estado. Os resultados mostram que a variabilidade espacial da precipitação mensal pode ser detectada e modelada para o Estado do Maranhão, marcada pela tendência geográfica mensal e anisotropia em graus e direções diferentes em quase todos os meses, exceto janeiro e setembro que apresentaram padrão isotrópico. A distribuição espacial da precipitação evidenciou que os sistemas atmosféricos produtores de chuvas não ocorrem com mesma intensidade sobre o Maranhão. As diferenças regionais ficaram evidentes com a regionalização da precipitação, definindo dez regiões homogêneas, cobrindo áreas com características fisiográficas específicas, retratando os sistemas atmosféricos dominantes. A caracterização dessas regiões com respeito à estação de crescimento e balanço hídrico ratificou as diferenças regionais existentes dentro do Estado. A técnica de análise de componentes principais se mostrou eficiente na proposição de indicadores para a análise do rendimento agrícola das culturas de soja, milho e arroz nas principais regiões produtoras, onde os modelos empíricos propostos apresentaram bons ajustes, de acordo com o coeficiente de regressão ajustado e índice de Willmott (1985).

Palavras Chave: variabilidade espacial, regionalização, modelos empíricos

AGROCLIMATIC CHARACTERIZATION AND ANALYSIS OF AGRICULTURAL YIELD IN THE STATE OF MARANHÃO, BRAZIL

ABSTRACT

The agroclimatic conditions predominant on a particular region, especially during growing season, are responsible for the agricultural yield variability in the cultivated areas. Considering this premise, this study aimed, by multivariate and geostatistical methods, to characterize the State of Maranhão in relation to climatic variables of interest for agriculture, to analyze the spatial variability of rainfall and its regionalization to create indicators, consisting of agroclimatic and oceanographic variables, to evaluate empirically the soybeans, corn and rice yields in the major producing regions. The results showed that the spatial variability of monthly precipitation can be detected and modeled in the State of Maranhão, being marked by geographical monthly trend and anisotropy in different directions and degrees in all months except January and September which showed standard isotropy. The spatial distribution of rainfall showed that the atmospheric systems responsible for producing rain do not happen with the same intensity in the different regions of the state. The regional rainfall differences were detected, defining ten homogeneous regions, covering areas with specific physiographic features, showing the dominant atmospheric systems in the state. The characterization of these regions in relation to the growing season and water balance confirmed the regional differences in the state. The technique of principal component analysis was effective in identifying ideal indicators for assessing the analysis of soybeans, corn and rice crops in the major producing regions, where the proposed empirical models showed good adjustment, based on the coefficient of the regression adjusted and the index of the Willmott (1985).

Keywords: spatial variability, regionalization, empirical models

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Os ambientes agrícolas são submetidos constantemente a diferentes condições climáticas durante o seu período produtivo, sendo esta um os fatores que mais afeta os níveis de produtividade das culturas. Diante do exposto, é de fundamental importância a realização de estudos voltados para a caracterização agroclimática desses ambientes e sua relação com os níveis de produtividade das principais culturas, contribuindo dessa maneira, para o desenvolvimento regional do setor produtivo, servindo de subsídios para produtores, investidores, instituições de financiamento agrícola e ao governo estadual, quanto a políticas públicas voltadas para o setor.

O Estado do Maranhão apresenta condições climáticas bem definidas, porém a distribuição espacial e temporal da precipitação é bastante irregular, o que submete o sistema agrícola local a sérios problemas, com impactos econômicos e sociais significativos. Essa irregularidade na distribuição da precipitação é decorrente de alguns aspectos, quais sejam: posição geográfica, extensão territorial e suas feições fisiográficas. Por estar localizado em uma região de transição recebe influências das características climáticas do semi-árido nordestino, da Amazônia quente e úmida e dos chapadões do Brasil central. A grande extensão territorial no sentido latitudinal contribui anualmente para a atuação de diferentes sistemas meteorológicos, contando ainda com a influência das condições dos Oceanos Atlântico e Pacífico Tropical. Outro aspecto responsável por essa variabilidade está relacionado à diversidade de ecossistemas que compõem o seu espaço geográfico, onde são encontradas áreas com formações de floresta, várzeas, cerrado, manguezais, dunas, chapadões, etc.

No âmbito agrícola, o Maranhão tem mostrado tendências de crescimento ao longo dos anos. Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola realizado pelo IBGE (2005), a produção de soja em 2006 representou 27% da produção do Nordeste do Brasil, em torno de 1 milhão de toneladas. O estado é o maior produtor de arroz do Nordeste, com 60% da produção regional e um dos maiores produtores do Brasil. Responde atualmente por 15% e 16% da produção de milho e mandioca do Nordeste Brasileiro, respectivamente. A cana de açúcar apesar de comparativamente representar apenas 3% da produção regional, já alcança o total de aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano agrícola.

A tecnologia empregada atualmente no Estado do Maranhão, em algumas lavouras, notadamente a da soja, tem contribuído para o aumento do rendimento agrícola, o que de certa

maneira dificulta a identificação de outros fatores impactantes no sistema agrícola regional. Porém, é evidente nas culturas sob tecnologia e principalmente nas culturas de subsistência a existência de variabilidade anual no rendimento agrícola, indicando que outros fatores podem está associados. Dentre esses fatores, os mais complexos são as condições agroclimáticas durante a estação de crescimento, pois envolvem normalmente elementos de natureza multivariada, com certo grau de dependência entre si.

Dessa forma, estudar as relações entre o rendimento agrícola e os elementos agroclimáticos exige a utilização de técnicas que permitam reduzir a complexidade da interdependência desses elementos e auxiliem no entendimento dos padrões de variabilidade e continuidade espacial inerentes. Nesse contexto tem-se a geoestatística e análise multivariada.

A geoestatística se apresenta como uma ferramenta adicional para estudar a variabilidade de um atributo regionalizado, que leva em consideração a distribuição espacial das amostras, permitindo definir a correlação entre elas, podendo essa ser verificada através das semivariâncias, sendo recomendada por muitos autores.

Por outro lado, as técnicas estatísticas multivariadas, destacando-se agrupamento, componentes principais e regressão linear múltipla, permitem trabalhar um conjunto de dados que indicam características específicas das variáveis explicativas num contexto quantitativo multidimensional, sendo uma ferramenta de grande utilidade para estudos que visam detectar as características climáticas regionais e a relação entre variáveis.

Esta pesquisa desenvolvida para o Estado do Maranhão usa os principais fundamentos dessas técnicas, visando ao entendimento dos padrões de variabilidade espacial da precipitação e seu mapeamento em áreas homogêneas, permitindo o desenvolvimento de indicadores que auxiliem na avaliação do rendimento agrícola num contexto regionalizado. Essa visão regionalizada é fundamental nos dias atuais, pois os ambientes agrícolas passam por momentos de profundas alterações o que propicia a uma maior variabilidade das condições climáticas.

1.1 - Objetivos

As técnicas de análise geoestatística e multivariada permitem o desenvolvimento de um sistema de caracterização agroclimática dos ambientes agrícolas capaz de dar suporte ao atual sistema de levantamento de safras do Estado do Maranhão.

Partindo dessa hipótese e da premissa de que as condições agroclimáticas predominantes durante o ciclo produtivo das culturas promovem a variabilidade do rendimento agrícola e a possibilidade de perdas de safras, este estudo teve como objetivos principais:

- ❖ Modelar a estrutura de dependência espacial e mapear a precipitação mensal do Estado do Maranhão, por meio da Geoestatística.
- ❖ Determinar regiões homogêneas de precipitação pluvial no Estado do Maranhão por meio da análise multivariada, notadamente componentes principais e agrupamento;
- ❖ Determinar indicadores baseados na combinação de variáveis agroclimáticas e oceânicas para verificar o rendimento das culturas de soja, arroz e milho para as principais regiões homogêneas do ponto de vista da precipitação pluvial, produtoras desses grãos, a partir das técnicas de análise de componentes principais e regressão linear múltipla.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Variabilidade espacial e temporal da Precipitação Pluvial no Estado do Maranhão

O Estado do Maranhão apresenta distribuição anual da precipitação desigual sobre sua extensão relacionada às incursões de alguns sistemas atmosféricos, que atuam em áreas e tempo distintos, pertencentes a diferentes escalas temporais e espaciais, os quais determinam as estações seca e chuvosa que influenciam a agricultura regional. Os totais anuais de precipitação pluvial sobre o Estado do Maranhão estão compreendidos entre 1000 mm (Sudeste do estado) a mais de 2000 mm (Noroeste do estado), com média anual da ordem de 1500 mm, sendo os maiores totais concentrados principalmente nos meses de verão e outono, representando 50% e 28% da média anual, respectivamente, com inverno normalmente muito seco (NUGEO, 2002).

Devido a sua extensão latitudinal e sua localização geográfica o Estado do Maranhão é afetado pela maioria dos sistemas atmosféricos que atingem as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, sendo os principais a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as frentes frias, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e os Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (VCAS).

A ZCIT, identificada na Figura 2.1a, é o resultado da convergência dos ventos alísios de Nordeste e Sudeste. Apresenta movimento anual no sentido meridional impulsionada pelas variações de intensidade dos centros de alta pressão localizados sobre o Oceano Atlântico Norte, acima do Equador, e o Atlântico Sul, abaixo do Equador, conforme discutido por Uvo e Nobre (1989). Alves e Repelli (1992) constataram que a ZCIT permanece mais tempo sobre o Hemisfério Norte, atuando em latitudes equatoriais entre fevereiro e maio, sendo que a migração e o tempo de permanência definem a intensidade da estação chuvosa em toda faixa Norte do Nordeste do Brasil, recebendo ainda forte influência das interações oceano-atmosfera sobre os trópicos, notadamente os relacionados aos fenômenos El-Niño e La-Niña. Segundo esses autores, nos anos considerados secos, a ZCIT restringe-se aos meses de fevereiro e março, prolongando-se até maio nos anos considerados chuvosos.

O setor Norte do Estado do Maranhão, entre os meses de fevereiro e maio, é afetado pela ZCIT, sendo o responsável direto por 70% das chuvas que ocorrem no ano, influenciando diretamente a intensidade da estação chuvosa, com reflexos no rendimento agrícola da região (NUGEO, 2002).

Por outro lado, no extremo Sul do Estado, as chuvas ocorrem entre outubro e abril, acumulando 90% do total anual, com pico máximo observado em janeiro e outro secundário em março. A variabilidade espacial e temporal das chuvas nessa região é maior que a verificada em outras partes do Estado em decorrência do relevo e das instabilidades causadas pelos principais sistemas atmosféricos atuantes. A frente fria desempenha um importante papel nos máximos de precipitação observados no Sul do Maranhão principalmente entre os meses de novembro e janeiro. A variabilidade temporal das chuvas sobre essa região, com vários dias estiagem durante a estação chuvosa (veranicos), é responsável pelas principais perdas agrícolas, principalmente quando a mesma ocorre durante as fases do ciclo produtivo das culturas em que há maior exigência de água, como no início do período reprodutivo.

Segundo Virji e Kousky (1983), os sistemas frontais, conforme identificado na Figura 2.1b, oriundos de latitudes médias do Hemisfério Sul, até latitudes tropicais, especificamente Sul e Sudeste da Bahia, geram instabilidades atmosféricas que favorecem a organização de convecção sobre esse setor da região Nordeste.

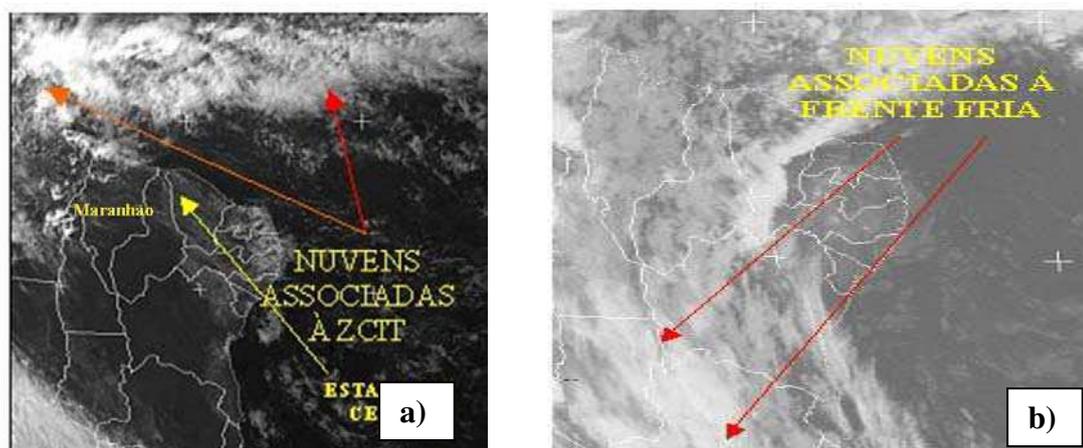


Figura 2.1- Imagem de satélite mostrando nuvens associada à: ZCIT (a) e Frente Fria(b). Fonte: FUNCEME

Os VCAS (Figura 2.2a) também afetam o regime de chuvas do Estado do Maranhão. Segundo Alves *et. al.* (2006), esses sistemas atuam principalmente nos meses de verão, com maior frequência no mês de janeiro, são considerados transientes, variam muito de posição e não apresentam uma sub-região de atuação preferencial. Nas áreas onde estão atuando podem modificar as condições meteorológicas, com chuvas nas regiões sob influência da periferia do sistema e redução de chuvas nas regiões onde está posicionado o centro do vórtice. Os autores argumentam ainda que o posicionamento do VCAS e a persistência dos sistemas frontais contribuem para a formação de uma intensa área de convecção semi-estacionária, a ZCAS

(Figura 2.2b) que é responsável por ocorrências de precipitação nas regiões Sudeste, Centro-Oeste, Norte e em partes do Nordeste do Brasil.

Os aspectos como deslocamento, tempo de permanência e intensidade desses sistemas, resultam em períodos de estiagens, ou excesso de chuvas que, dependendo da fase de desenvolvimento das culturas, pode repercutir em perdas agrícolas.

Segundo Berlato e Fontana (1999), as variações do regime pluviométricos no Sul do Brasil são responsáveis pelas oscilações anuais do rendimento agrícola de soja ao longo da região. Eles relataram que essas variações do regime pluviométrico decorrem dos fenômenos El-Niño e La-Niña, os quais estão associados ao aquecimento e resfriamento das águas do Oceano Pacífico Tropical, respectivamente.

Essa relação também foi evidenciada por Ferreira (2005), em estudo que analisou as relações entre a variabilidade da precipitação e o rendimento agrícola da soja e do milho nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Segundo o autor, de um modo geral, na maior parte dos anos as anomalias positivas de precipitação em dezembro, Janeiro e fevereiro coincidiram com as anomalias positivas de produtividade do milho e da soja durante o período estudado.

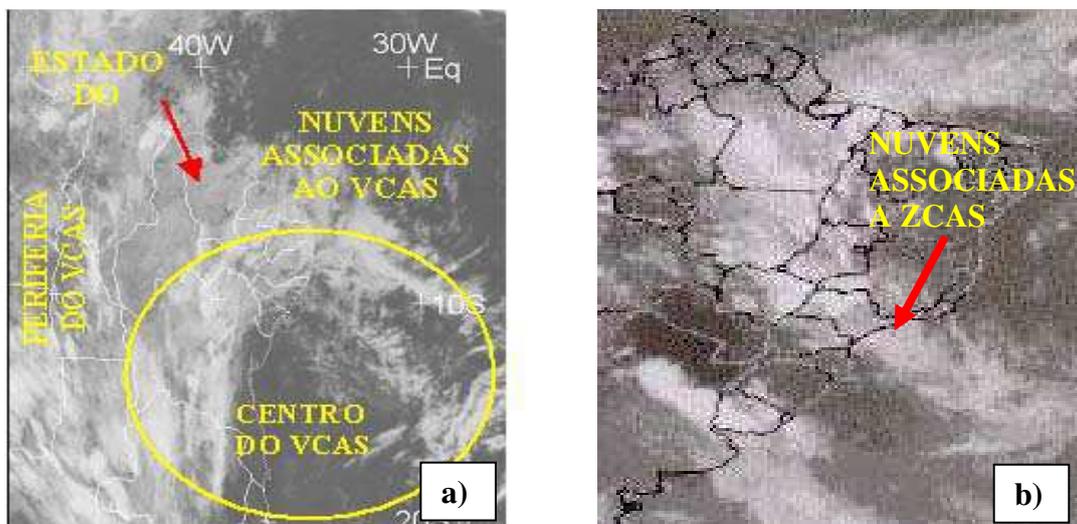


Figura 2.2 - Imagem de satélite mostrando nuvens associada ao; a) VCAS (Fonte: FUNCEME) e b) ZCAS (Fonte: IAG-USP)

Os fenômenos El Niño e La Niña promovem alterações nos padrões normais da circulação atmosférica, influenciando as atividades convectivas dos referidos sistemas meteorológicos e, conseqüentemente, afetam as características espaciais e temporais da precipitação sobre o Nordeste do Brasil.

Segundo Kousky e Ropekewski (1989), Alves e Repelli (1992), Sousa (1997) e Sousa *et. al.* (1998), a variabilidade das chuvas sobre o Nordeste do Brasil, principalmente na sua porção semi-árida, está condicionada aos padrões atmosféricos e oceânicos de grande escala observados sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais.

Sobre o Oceano Pacífico Tropical Leste, o aquecimento anormal das águas superficiais, conhecido como El-Niño, designada como componente oceânica, e a diferença no campo de pressão observada entre as regiões da alta subtropical do Pacífico Sudeste e a baixa pressão da Indonésia, conhecida como Índice de Oscilação Sul – IOS, designada componente atmosférica, formam o fenômeno El-Niño Oscilação do Sul – ENOS (SOUSA *et. al.*, 1998).

Segundo Sousa *et. al.* (1998), o ENOS apresenta duas fases distintas: a fase quente, onde ocorrem manifestações de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar – TSM positivas (El Niño), ou seja, águas mais quentes no Pacífico Centro-Leste, ventos alísios mais fracos do que o normal e IOS negativo; e a fase fria (La Niña), com padrões invertidos, anomalias negativas de TSM sobre o Pacífico Centro-Leste, ventos alísios mais intensos do que o normal e IOS positivo, conforme esquematizado nas Figuras 2.3 e 2.4, respectivamente.



Figura 2.3 - Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação às condições de *El Niño*. Fonte: Sousa *et. al.* (1998).



Figura 2.4 - Esquematização da Célula de Walker modificada, em associação às condições normais. Fonte: Sousa *et. al.* (1998).

A alteração dos padrões de circulação atmosférica em anos de ENOS fase quente afeta os principais sistemas meteorológicos atuantes e em contra partida as condições climáticas em várias partes do mundo, conforme identificado na Figura 2.5.



Figura 2.5- Impactos globais esperados de dezembro a fevereiro do ENOS fase quente.

Fonte: CPTEC/INPE

Em anos ENOS fase quente ocorre maior variabilidade espacial e temporal da precipitação sobre o Maranhão. De acordo com levantamento realizado pelo Laboratório de Meteorologia do Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, no evento ENOS fase quente de 1997/1998 as chuvas no Estado do Maranhão ficaram reduzidas em 30% em relação às condições normais, com grande variabilidade espacial e temporal. Os maiores impactos ocorreram no Sul, prejudicando o andamento normal da agricultura em decorrência do aumento da incidência de veranicos no início da estação chuvosa, atrasando o plantio, e principalmente durante a fase de floração, colocando em risco o rendimento agrícola.

Por outro lado, nos anos de ENOS fase fria, cujos impactos globais encontram-se representados na Figura 2.6, chamados de La Niña, os padrões são invertidos, ou seja, o ramo ascendente da célula de Walker se posiciona sobre o Norte do Nordeste do Brasil e Oceano adjacente, favorecendo a convecção e o posicionamento da ZCIT mais ao Sul e não se observa a condição de bloqueio, o que favorece a penetração das frentes para latitudes mais baixas. Esse padrão favorece a ocorrência de chuvas e uma melhor distribuição espacial e temporal delas ao longo de todo o Estado do Maranhão.

Os padrões de aquecimento das águas do Oceano Atlântico Equatorial também são importantes mecanismos para estabelecer a intensidade das chuvas no Norte do Nordeste do Brasil, conforme estabelecido por Sousa (1997) e Sousa *et. al.* (1998). Em grande parte dos anos estudados, eles verificaram que nos anos considerados chuvosos, as águas do oceano Atlântico Sul (abaixo do Equador) encontravam-se mais quentes do que o normal, em relação ao do Atlântico Norte (acima do Equador), com ventos alísios de Nordeste mais intensos (Figura 2.7a).

Por outro lado, em anos considerados secos (Figura 2.7b) os padrões de aquecimento foram inversos, com ventos alísios de Sudeste mais fortes.

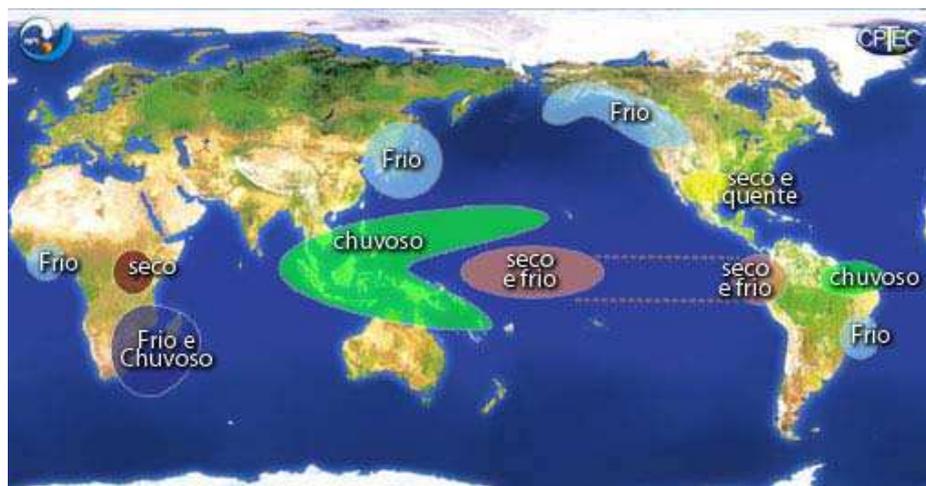


Figura 2.6 - Impactos globais esperados de dezembro a fevereiro do ENOS fase fria.

Fonte: CPTEC/INPE

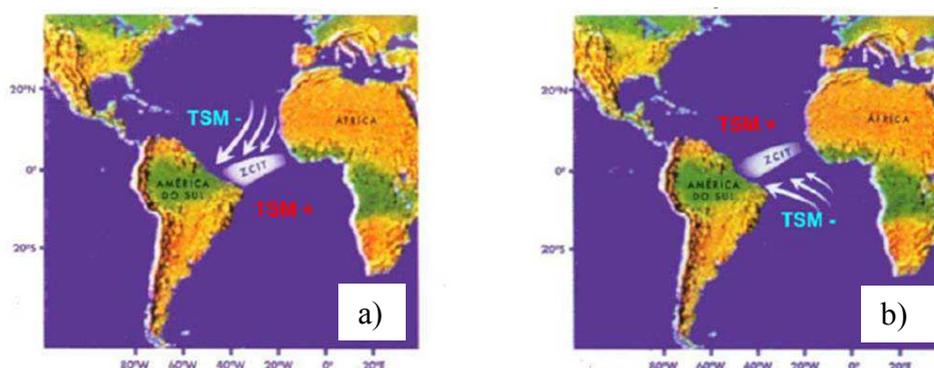


Figura 2.7 - Interação entre a ZCIT e a TSM do Atlântico durante a estação chuvosa (a) e estação seca (b). Fonte: FUNCEME

Em síntese, as interações oceano-atmosfera sobre os oceanos Atlântico e Pacífico Tropicais são importantes mecanismos que interferem na dinâmica dos sistemas atmosféricos, sendo determinantes para estabelecer a intensidade das chuvas sobre o Estado do Maranhão. A complexidade dessas interações reforça a importância de se trabalhar com espaços geográficos mais reduzidos, que possibilitem enquadrar de forma mais homogênea os padrões climáticos específicos em cada região.

2.2 - Produção agrícola

2.2.1 - Cultura da Soja

A soja foi introduzida no cenário mundial próximo ao final do século XV como curiosidade nos jardins botânicos da Inglaterra, França e Alemanha. Porém somente na década de 30 ela chegou ao Brasil, ganhando destaque somente a partir da década de 70 quando começou a ser explorada na região Centro-Oeste. A partir de então, segundo Marion (2004), houve investimentos em tecnologia no sentido de adaptar a cultura às condições brasileiras. A implementação tecnológica tornou o setor mais produtivo e competitivo mundialmente, aumentando o rendimento agrícola significativamente no decorrer dos anos, especialmente no Centro-Oeste brasileiro, determinando maiores volumes de produção em menores áreas. Logo, a soja de uma agricultura antiquada, tracionada por animais até os anos 50, passou para uma produção mecanizada entre as décadas 60 e 70.

Nos últimos anos a agricultura vem experimentando avanços tecnológicos, decorrentes das descobertas no campo genético, lideradas pela EMBRAPA. A introdução de técnicas modernas de plantio, colheita e processamento de grãos, além do processo de mecanização da agricultura brasileira deve-se, em grande parte ao crescimento do cultivo da soja ocorrido nas últimas três décadas.

Segundo o IBGE (2005), o perfil das áreas produtoras de soja no Brasil vem sofrendo alterações. Na década de 70, mais de 80% da safra de soja foi produzida na Região Sul, porém na década de 90 a mesma se consolidou na região Centro-Oeste, mantendo-se ainda nos dias atuais, como a principal região produtora de soja do País. A expansão do cultivo da soja para a região Centro-Oeste favoreceu a abertura de novas fronteiras agrícolas em direção ao Nordeste e Norte do País, destacando os Estados do Maranhão, Bahia, Piauí, Pará, Rondônia e Tocantins.

No Maranhão, a soja é atualmente plantada principalmente no Centro-Sul e em alguns municípios no Leste do estado, apresentando tendências de crescimento tanto na área colhida, quanto na produção, conforme visto na Figura 2.8, segundo dados do IBGE (2005). Entre 1990 e 1992 não houve muita mudança na área colhida, com ligeira queda em 1991 em relação a 1990, mas que se recupera a partir de 1992. A retração da área colhida e da produção em 1996 foi um reflexo da política cambial brasileira, da época em que se dificultavam as exportações (valorização cambial).

De uma forma geral, pode-se afirmar que o rendimento agrícola da cultura da soja no estado do Maranhão, bem como a área de cultivo, apresentou tendência de crescimento entre 1992 e 2005. Esse aumento no rendimento agrícola é um reflexo do alto padrão tecnológico de produção adotado nas microrregiões do Sul do Estado.

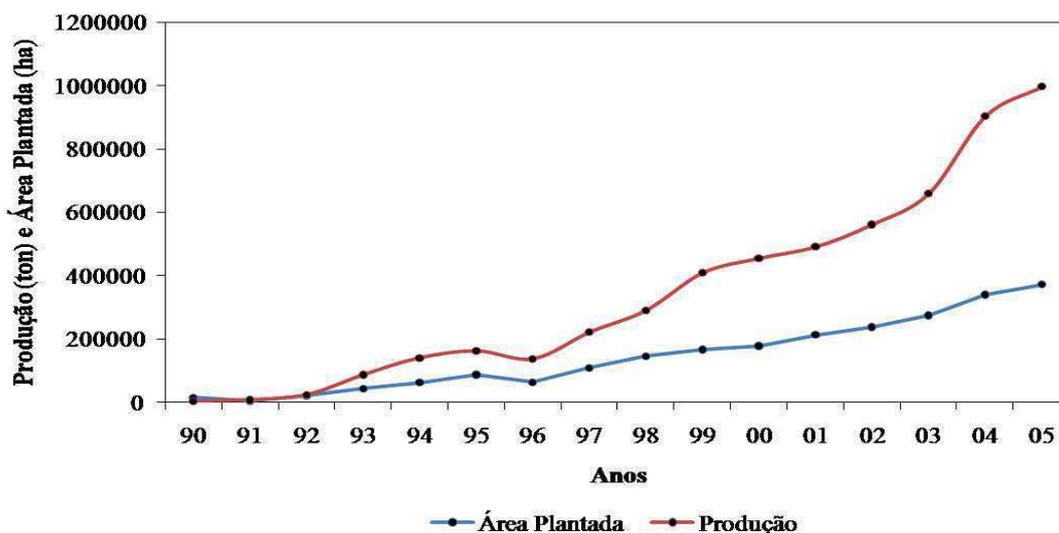


Figura 2.8- Evolução da área plantada e produção de soja no Estado do Maranhão.

Fonte dos dados: IBGE (2005).

Quanto às exigências agroclimáticas, segundo a EMBRAPA SOJA (2003), a disponibilidade hídrica é fundamental nos processos fisiológicos e bioquímicos da soja. Durante o seu ciclo produtivo, a disponibilidade de água é importante, principalmente, nas fases de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. O controle do excesso e da deficiência de água é importante para assegurar boa germinação.

As exigências hídricas da cultura aumentam à medida que a planta cresce. Sob condições de deficiência de água em níveis elevados, durante a fase de floração-enchimento de grãos, pode ocorrer o fechamento dos estômatos, restringindo a transpiração e o conseqüente aumento da temperatura interna da planta, provocando o enrolamento e queda prematura das folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando na redução do rendimento de grãos (EMBRAPA SOJA, 2003). Durante o ciclo produtivo, a cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, necessita entre 450 a 800 mm de água, dependendo das condições climáticas, da cultivar, do manejo da cultura e da duração do ciclo. Em condições de deficiência de água no solo recomenda-se semear apenas cultivares adaptadas à região e à condição de solo e em época recomendada e de menor risco climático, com adequada umidade em todo o perfil do solo e adotar práticas que favoreçam o armazenamento de água pelo solo.

A profundidade do sistema radicular da planta varia com a disponibilidade de água no solo. Segundo Mota (1975), as ocorrências de deficiências de água além de reduzir o rendimento alteram a forma de crescimento das plantas. Em boas condições de umidade do solo, o sistema radicular é menos profundo. Por outro lado, em condições de deficiência de água as raízes tendem a se aprofundar, tornando-se mais finas e longas.

A soja é mais bem adaptada às temperaturas do ar entre 20°C e 30°C; sendo a condições de temperatura do ar ideal para seu crescimento e desenvolvimento em torno de 30°C.

Segundo a EMBRAPA SOJA (2003), a semeadura, sempre que possível, deve ser realizada na faixa de temperatura do solo adequada, ou seja, entre 20°C a 30°C, evitando temperaturas abaixo de 20°C. O ideal é que seja semeada em condições térmicas de 25°C, o que torna a emergência mais rápida e uniforme. Temperaturas abaixo de 10°C podem reduzir o crescimento vegetativo ou torná-lo nulo.

A floração somente é induzida quando as temperaturas estão acima de 13°C, por outro lado, temperaturas elevadas, acima de 40°C, podem provocar distúrbios na floração e diminuir a capacidade de retenção de vagens, os quais são acentuados em condições de deficiência de água no solo. Temperaturas mais altas aceleram a floração, podendo tornar a planta mais baixa, com agravamento se, simultaneamente, houver deficiência hídrica e/ou fotoperiódica durante a fase de crescimento (EMBRAPA SOJA, 2003).

Ainda de acordo com a EMBRAPA SOJA (2003), as altas temperaturas podem ainda acelerar a maturação, sendo prejudicial à qualidade das sementes quando vêm associadas a períodos de alta umidade; por outro lado, se associadas a condições de baixa umidade, predispõem a semente a danos mecânicos durante a colheita. Temperaturas baixas na fase da colheita, associadas a período chuvoso ou de alta umidade, podem provocar atraso na data de colheita, bem como haste verde e retenção foliar, além de problemas fitossanitários.

2.2.2 - Cultura do Milho

O milho ocupava o primeiro lugar no volume de produção de grãos no mundo, sendo que a América detém mais de 56% dessa produção, a Ásia 26%, a Europa 11% e a África apenas 7% (FAO, 2004).

Segundo dados do IBGE (2005), o milho é plantado em todas as regiões do Estado do Maranhão. As microrregiões de Pindaré, Gerais de Balsas, Alto Mearim e Grajaús são as que apresentam os maiores percentuais de produção. Por outro lado, as maiores contribuições de área plantada referem-se as microrregiões de Pindaré, Médio Mearim, Presidente Dutra, Alto Mearim e Grajaú.

A área colhida com milho no Estado (Figura 2.9) entre 1990 e 1995 apresentou tendência de crescimento, de 500.000 ha para cerca de 650.000 ha, respectivamente. No ano agrícola de 1995-1996 a área colhida foi reduzida em aproximadamente 56%, em relação ao ano agrícola de 1994-1995 como consequência das dívidas adquiridas pelo setor agrícola. As

sucessivas renegociações dessa dívida resolveram o problema de liquidez que o setor enfrentava o que foi muito importante para estabelecer gradativamente a tendência de crescimento da área plantada no período subsequente.

Os níveis de produção, entre 1990 e 1995 (Figura 2.9) oscilaram entre 136.000 e 360.000 toneladas, respectivamente. Como reflexo da redução da área colhida nos anos subsequentes a produção declinou em 48,5% no ano agrícola de 1995-1996, mantendo-se estável no período seguinte. Porém, em decorrência das variações climáticas provocadas pelo fenômeno El-Niño no período de 1997-1998 a produção voltou a cair, chegando a 144.278 toneladas. A partir de então, os níveis de produção voltaram a aumentar acompanhando o crescimento gradativo da área plantada.

Segundo a EMBRAPA MILHO e SORGO (2003), os solos mais recomendados para a cultura do milho são os de textura média, como os latossolos, com teores de argila em torno de 30-35%, ou mesmo argilosos, com boa estrutura, que possibilitam drenagem adequada. Esses solos apresentam boa capacidade de retenção de água e de nutrientes disponíveis às plantas.

Não se recomenda o plantio em solos arenosos (teor de argila inferior a 15%), pois apresenta baixa capacidade de retenção de água devido à grande lixiviação e evaporação, os tornando normalmente mais secos, o que dificulta a absorção de nutrientes. Solos do tipo argila expansiva também não são recomendados, pois apresentam forte agregação, que os tornam mais rasos, afetando as condições de permeabilidade, armazenamento de água e a penetração do sistema radicular, que normalmente apresenta grande potencial de desenvolvimento (EMBRAPA MILHO e SORGO, 2003).

Conforme descrito em EMBRAPA MILHO E SORGO (2003), durante o ciclo produtivo da cultura, que dura em média 120 dias, o milho é principalmente influenciado pela radiação solar, precipitação pluvial e temperatura do ar, os quais atuam nas atividades fisiológicas interferindo diretamente na produção de grãos.

O aumento do rendimento do milho é proporcional à radiação solar a qual a cultura está submetida, principalmente durante a fase reprodutiva. A redução do aproveitamento efetivo de luz solar pela planta, em torno de 30 a 40%, em função da baixa disponibilidade de energia solar e da estrutura da planta, como a distribuição espacial das folhas, acarreta em atraso da maturação.

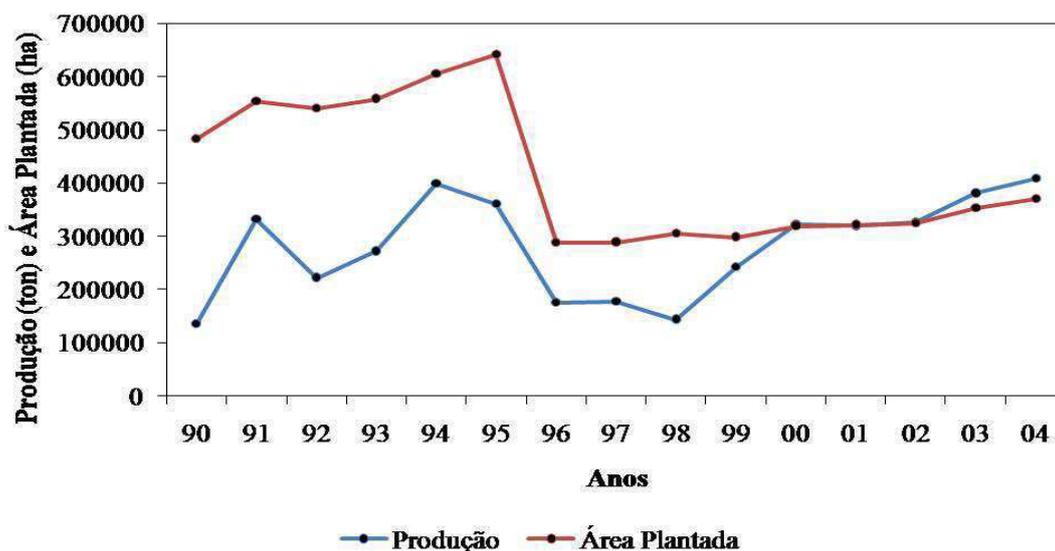


Figura 2.9 - Evolução da área de produção e produção de milho no Estado do Maranhão (1990-2004). Fonte de dados: IBGE (2005).

Segundo Fancelli e Dourado Neto (2000), durante a fase de germinação o solo deve estar com temperatura entre 25°C e 30°C, sendo que as temperaturas de 10°C e 40°C são consideradas críticas podendo acarretar em prejuízo à germinação.

As temperaturas do ar acima de 26°C e abaixo de 15,5°C, respectivamente, aceleram e retardam a floração. Quando a temperatura está acima de 35°C, o rendimento e a composição protéica do grão podem ser alterados. Temperaturas acima de 33°C durante a polinização reduzem sensivelmente a germinação do grão de pólen. Verão com temperaturas médias diárias inferiores a 19°C e noites com temperatura média inferior a 12,8°C não são recomendados para produção de milho. Temperaturas noturnas superiores a 24°C proporcionam um aumento da respiração de tal forma que a taxa líquida de fotossíntese cai e, com isso, há redução da produção. Redução da temperatura abaixo de 15°C ocasiona retardamento na maturação do grão (EMBRAPA MILHO e SORGO, 2003).

Ainda segundo EMBRAPA MILHO e SORGO (2003), o milho é uma cultura típica de sequeiro. Durante o ciclo produtivo a cultura necessita entre 500 e 800 mm de água para obtenção de máximas produtividades e no mínimo de 350 a 500 mm para que produza sem necessidade de irrigação.

2.2.3 - Cultura do Arroz

O arroz é plantado anualmente, a nível mundial, numa área de cerca de 147 milhões de hectares, com uma produção de 527 milhões de toneladas, sendo suplantado, entre as plantas cultivadas, somente pelo trigo. É uma planta anual de dias curtos que se destaca pela grande

adaptabilidade, sendo atualmente cultivado desde os 53° de latitude Norte, na China, até os 35° de latitude Sul, na Austrália, assim como desde alguns metros abaixo do nível do mar, como acontece na Índia, até mais de 2000 m de altitude, como no Nepal, segundo Yoshida (1981), citado por Pereira *et al.* (1999).

No Brasil, essa cultura tem ocupado o terceiro lugar em volume de produção de grãos, perdendo em importância apenas para o milho e para a soja, sendo cultivada em todo o território nacional.

Segundo Pereira *et al.* (1999), na região Nordeste, o arroz é plantado nos ecossistemas de várzeas e terras altas, sendo completamente diferentes das variedades e práticas agrícolas utilizadas para cada situação. No ecossistema de várzea, o arroz é mais comumente plantado com irrigação por inundação de tabuleiros, mas também é plantado nas várzeas sem irrigação, sistematização do terreno e drenagem, numa condição conhecida por várzea úmida, dependente de chuvas. No ecossistema de terras altas, é plantado em solos geralmente bem drenados e com total dependência das chuvas. Mais recentemente, têm surgido algumas experiências de plantio com irrigação suplementar por aspersão, principalmente nos Estados da Bahia e Maranhão. O plantio no ecossistema de terras altas é responsável por 85% da produção e por 94 % da área plantada na região

Segundo dados do IBGE (2005) o Estado do Maranhão é o maior produtor nordestino de arroz, seguido pelo Piauí, Ceará e Bahia, caracterizando-se assim a elevada concentração da produção de arroz na região Meio-Norte. Essa cultura é cultivada predominantemente em condições de sequeiro em pequenas propriedades, com baixo grau tecnológico, uma vez que a maioria da população – sobretudo nas áreas rurais - se situa em classes de baixa renda. Há também em menor proporção, o cultivo irrigado e de terras altas, sob condições de mecanização.

O arroz, assim como o milho, é plantado em todas as microrregiões do Estado. De acordo com dados do IBGE (2005), entre 1990 e 1995 a área plantada com a cultura do arroz se manteve estável em torno de 700.000 ha. No ano seguinte, a área de produção foi reduzida em 52,3%, passando para 400.000 ha, como reflexo das dívidas do setor agrícola. Posteriormente, a área de produção se estabilizou, com ligeiro aumento nos anos subsequentes, conforme Figura 2.10. Em média, o Estado plantou cerca de 580.000 ha de arroz entre 1990 e 2004.

A média de produção do Estado, entre 1990 e 2004, foi de 667.000 toneladas. A evolução da produção, evidenciada na Figura 2.10, mostrou que os anos agrícolas de 1992 e 1998 apresentaram os menores totais de produção, em torno de 400.000 toneladas. Essa redução esteve associada à variabilidade espacial e temporal das chuvas, com longos períodos de

estiagem, provocados pelo fenômeno El-Niño. Por outro lado, os anos agrícolas de 1990-1991, 1993-1994 e 1994-1995 alcançaram os maiores níveis de produção, em torno de 1.000.000 de toneladas de arroz.

O ciclo da cultura varia entre precoce (100 dias) e médio (120 dias), sendo a temperatura, fotoperíodo e umidade os fatores climáticos mais importantes, para o crescimento e o desenvolvimento do arroz, cujos efeitos são descritos a seguir, segundo a EMBRAPA ARROZ e FEIJÃO (2003).

Durante a fase de germinação a faixa ótima de temperatura está compreendida entre 20°C e 35°C, entre 30°C e 33°C para a floração e de 20°C a 25°C para a maturação. A ocorrência de altas temperaturas diurnas (superiores a 35°C) pode causar esterilidade das espiguetas, aceleração do ciclo e redução da produção. Por outro lado, temperaturas abaixo de 20°C provocam o retardo no processo de crescimento e uma diminuição no número de perfilhos. A fase mais sensível do arroz às altas temperaturas é a floração. A segunda fase de maior sensibilidade é a pré-floração ou, mais especificamente, cerca de nove dias antes da emissão das panículas.

Durante a fase vegetativa, a radiação solar tem relativamente pouca influência sobre o rendimento agrícola e os seus componentes. Entretanto, o rendimento agrícola é fortemente afetado pela radiação solar durante as fases reprodutiva e de maturação.

Outro fator limitante ao rendimento agrícola da cultura do arroz de sequeiro é a disponibilidade de água durante o ciclo produtivo, sendo condicionada à variabilidade da distribuição das chuvas. Longos períodos de estiagem durante a fase produtiva podem ocasionar perdas totais ou parciais de produção.

A fase vegetativa é a menos sensível a déficit hídrico, embora possa prejudicar o desenvolvimento da cultura. A fase reprodutiva constitui o período de maior sensibilidade a deficiência hídrica podendo ocorrer esterilidade das flores e menor número de grãos. O arroz de sequeiro, não deve ser plantado em locais que tenham menos que 200 mm de chuvas por mês, principalmente no ‘emborrachamento’ e floração.

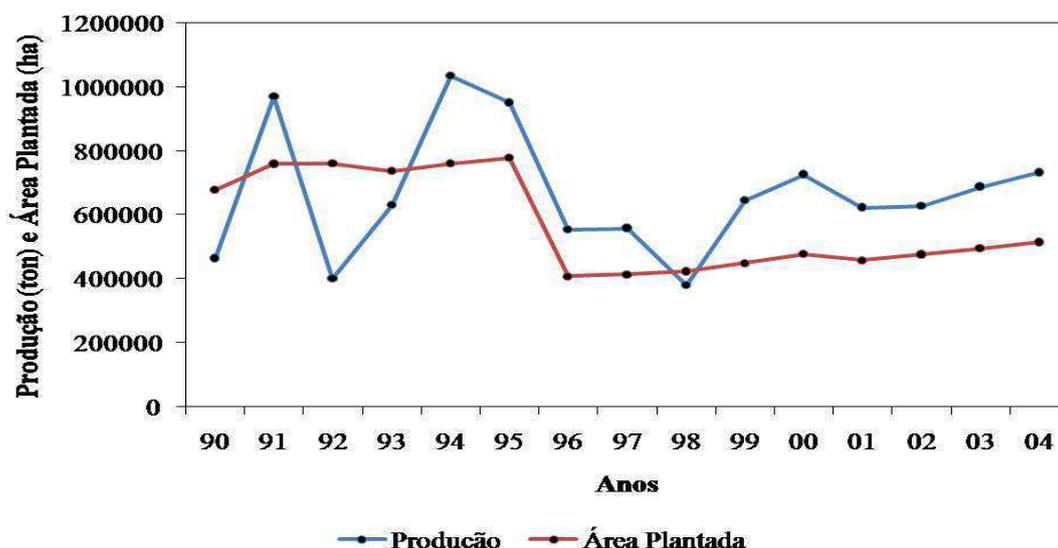


Figura 2.10 - Evolução da área de produção e produção de arroz no Estado do Maranhão (1990-2004). Fonte dos dados: IBGE (2005)

Uma vez atendidas às exigências climáticas e nutricionais, o arroz de sequeiro apresenta poucas restrições quanto aos tipos de solos. Os solos com boa capacidade de retenção de água e que sejam capazes de suprir as plantas nos períodos de falta de chuvas e propiciar boas condições de drenagem e arejamento são os ideais. Nessas condições, os solos argilosos devem ser os preferidos, enquanto que os arenosos só poderão ser usados em regiões onde não ocorram períodos prolongados de seca durante o ciclo da cultura.

2.3 – Aplicações da geoestatística

Os estudos que tratam da variabilidade espacial dos fenômenos naturais, praticamente se iniciaram no começo do século passado, com pesquisas voltadas à variabilidade de atributos dos solos, que por sua vez vieram a aperfeiçoar as práticas agrícolas.

A estatística clássica considera a não dependência espacial, a qual foi questionada por Krige (1951). Esse autor fez experiências que identificaram as dependências entre amostras de dados espacializados, dando origem ao método geoestatístico da “krigagem”, influenciando Mathernon (1963), que desenvolveu na França a Teoria das variáveis regionalizadas, a qual estabelece que os valores de uma variável estejam de alguma maneira, relacionado à sua disposição espacial e, portanto, as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do que aquelas tomadas a distâncias maiores, a partir do pressuposto que, as variâncias fazem sentido quando as distâncias entre as amostras, ou seja, a posição espacial entre elas são consideradas, consolidando a partir de então a geoestatística como ciência.

Os métodos geoestatísticos têm sido cada vez mais utilizados por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, oferecendo uma importante contribuição nos estudos da variabilidade espacial e mapeamento de variáveis.

Segundo Freitas (2000), o semivariograma consiste em uma ferramenta estatística que permite determinar a variação espacial de um determinado atributo, possibilitando verificar a discrepância entre valores próximos e determinar a distância a partir da qual se considera essas discrepâncias como casuais.

Landim (2000) argumentou que nas variáveis regionalizadas deve existir certa continuidade espacial, o que permite que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser usados para parametrizar a estimação de pontos onde o valor da variável seja desconhecido. Segundo ele, não há sentido lógico em estimar ou interpolar usando a krigagem quando não há constatação de continuidade espacial dos dados sobre uma determinada área, sendo o único meio disponível para verificar tal condição a análise variográfica. Ainda segundo o autor, normalmente a continuidade espacial não é verificada quando há um número insuficiente de pontos para modelar o variograma.

Vieira (2002) sintetiza a análise geoestatística em três etapas distintas: a análise exploratória dos dados, a análise estrutural e as estimativas para locais não amostrados.

Segundo Couto *et. al.* (2002), um dos fatores limitantes para a consolidação da agricultura de precisão é o número de amostras necessário para representar espacialmente a distribuição de nutrientes sobre uma determinada área. Eles concluíram que os métodos de interpolação são ferramentas imprescindíveis para a estimativa de fertilizante a ser distribuído em taxa variável. Nesse sentido elaboraram um estudo testando três métodos usuais de interpolação (krigagem ordinária, distância normal e inverso do quadrado da distância) em um conjunto de 110 observações relacionadas com o teor de fósforo disponível (P) em um talhão comercial de 100 ha sob Latossolo Vermelho Distrófico típico, localizado na Fazenda Modelo, Campo Verde, Mato Grosso. Os resultados obtidos sugerem que o método da krigagem foi o que melhor representou a distribuição espacial dos valores de P quando comparados aos outros métodos, além de mostrar maior economia na aplicação do fertilizante, quando comparado à forma tradicional.

Silva *et. al.* (2003) avaliaram a distribuição e a dependência espacial de atributos químicos do solo e o rendimento agrícola de milho de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico, utilizando a estatística descritiva e a geoestatística com base no ajuste de semivariogramas, sendo constatada presença de dependência espacial. Os semivariogramas foram definidos conforme melhor coeficiente de correlação entre os dados originais e os dados

estimados, definidos pela técnica de validação cruzada, a qual consiste em retirar, individualmente, cada ponto medido da área estudada e o seu valor é estimado via krigagem como se ele nunca existisse.

Lourenço e Landim (2004) recomendaram o uso da geoestatística como ferramenta de aplicabilidade para se fazer o mapeamento contínuo da cobertura vegetal, por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, como forma de analisar e monitorar a variabilidade da vegetação e indicação de áreas de risco em bases probabilísticas.

Os métodos geoestatísticos também se mostraram importantes na elaboração de mapas de risco à saúde pública, por meio da identificação de áreas com maior concentração de metais pesados em uma região com grande concentração urbana e industrial na Baixada Santista, São Paulo, segundo Lourenço e Landim (2005). Eles elaboraram mapas das distribuições espaciais do elemento chumbo por intermédio da krigagem ordinária; posteriormente, utilizando-se a krigagem indicativa, identificaram-se as áreas com valores de contaminação do solo superiores aos níveis máximos aceitáveis pelo órgão de controle ambiental do Estado de São Paulo, originando um mapeamento com áreas com maior probabilidade de risco à saúde pública. Os mapas resultantes mostraram-se ferramentas promissoras para auxiliar a tomada de decisão quanto às questões de políticas públicas relacionadas à saúde e ao planejamento ambiental.

O uso da água e os impactos ambientais sobre os recursos hídricos na bacia do Ribeirão em Lavras - MG foram avaliados por Alves *et. al.* (2005), por meio da caracterização da estrutura e magnitude de dependência espacial e mapeamento da vazão, lançando mão da geoestatística com o auxílio do semivariograma, definindo os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem. Os autores ressaltaram que a geoestatística pode ser utilizada para caracterizar a estrutura e magnitude de dependência espacial e mapear a variabilidade da vazão das nascentes perenes da referida bacia.

Uma análise adequada das propriedades químicas do solo é de relevante importância na estratégia do manejo de irrigação, adubação, prevenção e recuperação de áreas agrícolas. Segundo Leão *et. al.* (2007) a prática da irrigação tem contribuído durante séculos para o desenvolvimento da atividade agrícola nas regiões semi-áridas, no entanto, quando mal manejada, torna-se nociva e contribui de forma negativa para preservação das características químicas e físicas dos solos, refletindo no rendimento agrícola dos mesmos e na economia da região. Diante desse contexto, o autor utilizou a geoestatística em uma área no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, Condado - PB, com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do fósforo disponível em um Neossolo Flúvico. Os resultados demonstraram maior descontinuidade na distribuição espacial do fósforo nas camadas superficiais do solo em

decorrência do manejo do mesmo que alterou a dependência espacial do fósforo nessa camada em relação à camada mais profunda. Esse resultado ressaltou a importância da aplicação da geoestatística na identificação da variabilidade espacial dos teores de fósforo presentes no solo sobre a área em questão.

A geoestatística, segundo Almeida *et. al.* (2007), mostrou ser uma ferramenta eficaz na modelagem ambiental de poluentes em sedimentos de lagos. A partir de pontos amostrados, a krigagem indicativa permitiu reconstruir superfície representativa das concentrações de Hg em sedimentos de lagos. Através do emprego da geoestatística pode-se observar que a concentração de Hg varia espacialmente com dependência das concentrações das amostras da vizinhança.

Dentre as diversas variáveis climáticas que influenciam de forma direta e indireta o comportamento da vida na Terra encontra-se a precipitação pluviométrica que é uma das principais variáveis utilizadas em projetos urbanos, agrícolas e ambientais.

Devida sua importância, esse atributo climático é objeto de diversos estudos científicos que visam caracterizar sua variação tanto no espaço como no tempo. A sua importância no contexto agrícola tem despertado o interesse na análise de sua variabilidade espacial sobre determinadas regiões. Porém, conforme estabelecido por Assad e Castro (1991) e Assis (1993), muitos dos trabalhos não levam em consideração a variabilidade espacial entre os valores observados, deixando dessa maneira, de verificar a amplitude de dependência espacial entre as amostras.

Vieira *et. al.* (1991) ajustaram modelos de dependência espacial para análise da intensidade de chuvas máxima para o interior do Estado de São Paulo, os quais foram interpretados e aplicados à agricultura local. Os resultados evidenciaram que o litoral e o interior do Estado apresentam padrões espaciais distintos, provavelmente associados aos efeitos orográficos.

Camargo (1998) ressalta que as principais razões pelas quais os resultados obtidos pela krigagem produziram resultados mais significativos em relação aos outros métodos de estimação estão associadas aos pesos, os quais são determinados a partir de uma análise de correlação espacial baseada no semivariograma (os pesos são determinados meramente em função da distância), a área de influência na interpolação é indicada pelo alcance (raio de busca é arbitrário), leva em consideração o modelo de anisotropia, isto é, detecta as direções de maior e menor continuidade espacial do fenômeno (Anisotropia é ignorada).

Segundo Holawe e Dutter (1999) e Silva Junior (2001), no método de interpolação por Krigagem o erro ou a variância da estimativa pode ser determinado, ponderando os vizinhos do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de ausência de tendência, ou seja, em média,

as diferenças entre os valores observados e estimados para o mesmo ponto devem ser nulas, e a variância mínima, ou seja, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor observado e o estimado, as mesmas devem ser mínimas.

Essas características o qualificam como um dos métodos mais consistentes no processo de interpolação de variáveis climáticas. O diferencial em relação aos outros métodos está na forma como são distribuídos os pesos em relação aos pontos amostrados. Na “krigagem” utiliza-se uma distância estatística entre os pontos, que expressa tanto a distância como a estrutura de variabilidade dada pela semivariância ou covariância. O método não leva só em consideração a distância entre o ponto observado e o estimado, mas a distância entre os pontos observados, a qual influencia na distribuição dos pesos.

Os métodos geoestatísticos têm sido cada vez mais utilizados por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento, oferecendo uma importante contribuição nos estudos da variabilidade espacial e mapeamento de variáveis.

Gomes e Cruz (2000) analisaram a distribuição espacial dos percentis 75 da precipitação decenal para o estado de São Paulo por meio da geoestatística. Com base nos parâmetros estimados pelo variograma (efeito pepita, patamar e alcance) foi realizado a krigagem e a confecção de mapas dos percentis, cuja distribuição espacial reflete a influência da circulação atmosférica no estado, apresentando alta variabilidade.

O uso de semivariograma também foi utilizado por Silva e Guimarães (2001) para verificar a dependência temporal da precipitação média mensal e anual no município de Uberada - MG, os quais constaram a não existência de dependência temporal entre as amostras.

Gomes (2001) realizou o mapeamento da precipitação decenal para o estado de São Paulo utilizando a geoestatística a partir do ajuste de semivariogramas para modelar a dependência espacial e a krigagem como interpolador e estimador. Os modelos se mostraram eficientes na verificação da variabilidade espacial da precipitação decenal, podendo subsidiar estudos que visem analisar a disponibilidade hídrica sobre o Estado.

A geoestatística também foi utilizada por Cardim (2001) para estudar a variabilidade espacial de índices climáticos formados pela combinação linear da precipitação e temperatura do ar, desenvolvidos por análise de componentes principais.

Zamboti (2001) mapeou as chuvas de verão sobre o Estado do Paraná através da análise espacial resultante de um estudo geoestatístico dos dados. Segundo ele, a dependência espacial é esperada em variáveis climáticas e assim, o tratamento estatístico a ser dado a elas, não pode ignorar este fato. O autor argumenta ainda que essa condição habilita o uso da

geoestatística, e deixar de usá-la, é falta de coerência com os princípios fundamentais da estatística.

Siqueira *et. al.* (2003) estudaram a variação espacial e temporal da precipitação pluviométrica mensal no Estado de Minas Gerais, utilizando a análise geoestatística. Eles concluíram que a precipitação pluviométrica mensal do Estado de Minas Gerais apresentou-se autocorrelacionada no espaço e no tempo e que as estimativas de precipitação pluviométrica mensal devem levar em consideração o modelo de dependência espacial caracterizado pelo semivariograma. Constataram ainda que não é possível utilizar um único modelo de semivariograma escalonado para caracterizar a distribuição espacial da precipitação pluviométrica e que o mapeamento dos atributos climáticos é uma forma eficiente de visualizar a variação dessas variáveis com o tempo.

Mello *et. al.* (2003) analisaram três metodologias para estimativa da chuva intensa, ressaltando-se a média aritmética, a média ponderada pelo inverso do quadrado da distância e a predição geoestatística (krigagem). Observou-se que os modelos possuem bons indicadores estatísticos e a validação produziu erros baixos, mostrando que a “krigagem” geoestatística pode produzir resultados mais precisos e deve ser considerado na estimativa da chuva intensa.

As melhores datas para plantio de milho, adotadas no Zoneamento de Riscos Climáticos do Estado de São Paulo, são baseadas nas variações espaço-temporais do Índice de Satisfação das Necessidades de Água da planta (ISNA), sendo a média ponderada o método de interpolação utilizado na espacialização desse parâmetro. Segundo Assad *et. al.* (2003), esse método não considera a propagação espacial do erro da estimativa, o que permite interpretações imprecisas sobre as melhores datas de plantio, principalmente nas situações de início e de final do ciclo. Na busca de métodos mais precisos esses autores compararam os métodos da média ponderada, krigagem ordinária e krigagem por indicação na espacialização dos índices agrometeorológicos para avaliar sua variação espacial. Eles constataram que o método da krigagem por indicação foi o mais apropriado para espacializar o ISNA e definir a melhor data de plantio do milho, permitindo uma análise mais confiável da qualidade da informação gerada, associada à sua incerteza espacial. Os autores ressaltam ainda que os métodos geoestatísticos podem ser usados como alternativa aos modelos inferenciais determinísticos na espacialização do ISNA.

Valeriano (2003) elaborou um mapeamento de variáveis agroclimáticas com vistas aos estudos regionais, na escala 1:1.000.000, para o Estado de São Paulo. Os dados pluviométricos foram interpolados com subsídio de análises geoestatísticas da variabilidade e da anisotropia, estratificadas em função da predominância de alinhamentos no relevo em estruturas

direcionais diferentes. Os resultados mostraram que os dados de precipitação apresentaram variabilidade espacial marcada por tendência geográfica variáveis mensalmente, grande componente aleatória e por anisotropia diferenciada entre as regiões estabelecidas, Interior (Bacia Sedimentar do Paraná) e Litoral (Cinturão Orogênico do Atlântico). As regiões apresentaram anisotropia em graus e direções diferentes, que foram variáveis ao longo do ano. A interpolação por krigagem anisotrópica resultou em imagens coerentes com as análises de tendência e em conformidade com feições geomorfológicas.

Segundo Salgueiro e Picini (2005), a precipitação por ser uma variável aleatória com estrutura de correlação espacial, a geoestatística pode ser indicada para análise da variabilidade espacial, sendo importante na avaliação da eficiência de redes pluviométricas. O autor argumenta ainda que os métodos geoestatísticos, além de permitirem a avaliação da precipitação anual média e de auxiliar na realização de interpolações em pontos não amostrados, com o menor erro de estimativa, permitem quantificar esse erro, possibilitando a determinação da estrutura de dependência espacial da precipitação.

Mousinho *et. al.* (2006) avaliaram, utilizando técnicas estatísticas e geoestatística, a variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o Estado do Piauí. A estatística descritiva evidenciou que os dados se ajustaram a distribuição normal, condição necessária para a aplicação da geoestatística. Os percentis apresentaram grande variabilidade espacial, com forte estrutura de dependência espacial, o que possibilitou a interpolação dos valores permitindo a visualização da variabilidade espacial e a regionalização da sua distribuição. Essas informações podem servir de apoio aos programas de zoneamento agrícola do Estado do Piauí.

Folhes *et. al.* (2007) investigaram os padrões espaço-temporais das chuvas por meio de modelagem geoestatística aplicada aos dados de precipitação média anual e mensal, na área referente à porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul. Preliminarmente, eles verificaram a existência de tendência geográfica nos dados de médias anual e mensal de precipitação, a qual foi removida. Em seguida aplicaram a análise geoestatística dos resíduos para a determinação dos parâmetros geoestatísticos dos semivariogramas e identificaram os modelos que melhor se ajustaram aos variogramas experimentais e as direções de anisotropia. Os mapas gerados através da interpolação por krigagem evidenciaram as relações existentes entre a pluviosidade e a natureza topográfica do terreno da bacia que varia do plano ao montanhoso, além de evidenciar, como era de se esperar, que os erros são menores nas zonas com maior densidade de pontos amostrados. Eles enfatizaram ainda que a variação diferenciada da precipitação sugere que os principais mecanismos atmosféricos responsáveis pelas precipitações ocorrem com a mesma

magnitude no espaço da bacia. Em resumo, a regionalização dos dados de médias de precipitação por krigagem ordinária anisotrópica permitiu observar as significativas mudanças sazonais do comportamento espacial do atributo modelado, através de imagens coerentes com as análises de tendência geográfica e em concordância com o relevo da porção paulista da bacia do rio Paraíba do Sul.

Devido a importância da erosividade das chuvas no contexto da conservação do solo e água Montebeller *et. al.* (2007) estudaram a sua variabilidade espacial no Estado do Rio de Janeiro, por meio de análise geoestatística. O modelo matemático ajustado ao semivariograma experimental, para ambos os índices, foi exponencial. A partir dos parâmetros dos modelos ajustados, foi possível gerar mapas de erosividade pelo método da krigagem, que apresenta vantagens em relação aos métodos convencionais. Além disso, também foram gerados mapas de variância de krigagem. As maiores variâncias de krigagem foram observadas nas regiões Litorâneas e Norte, que são as que apresentam menores densidades de amostragem, sendo os locais indicados para a alocação de postos pluviométricos. Os resultados encontrados mostram que não foi obtida dependência espacial para ambos os índices, quando utilizados os conjuntos de dados com 36 pontos. Segundo eles, esse fato se deve, provavelmente, à baixa densidade e à distribuição não uniforme entre os pontos amostrados. O resultado encontrado foi denominado “efeito pepita puro”, e como não há dependência espacial, a estatística clássica poderia ser utilizada para explicar a variação dessas variáveis, se esses apresentassem distribuição normal. Entretanto, os parâmetros estatísticos apresentados rejeitam a hipótese de normalidade, para os dois conjuntos de dados. A não-existência de normalidade não compromete a análise de dependência espacial proposta neste trabalho. Com o aumento do número de dados para 93, eles observaram que os índices de erosividade apresentam dependência espacial, comprovando que análise com poucos dados pode inviabilizar o uso da geoestatística. Deve-se ressaltar que, embora possa haver efeito do procedimento de inferência da erosividade a partir de dados pluviométricos, o grau de dependência espacial obtido por esse conjunto de dados é classificado como forte, conforme Zimback (2001), confirmando a existência da dependência espacial para esses índices.

Um dos objetivos especificados no trabalho de Caram (2007) foi analisar espacialmente a precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais, por meio de técnicas geoestatísticas e comparar os métodos de interpolação Inverso do Quadrado da Distância e Krigagem Ordinária. Ele constatou que a precipitação anual do Estado de Minas Gerais apresentou moderada dependência espacial, sendo mais bem ajustada pelo modelo esférico.

Houve uma supremacia da interpolação por Krigagem em relação ao Inverso do Quadrado da Distância, identificada pelos menores erros médios e os resultados da validação cruzada.

Vendrusculo *et. al.* (2003) empregaram a geoestatística na análise da distribuição espacial da precipitação sobre o Estado de São Paulo. Eles verificaram que o semivariograma relativo à precipitação anual mostrou dependência espacial para um alcance de 48,5 km, com constatação de isotropia e ajuste pelo modelo esférico. A análise do mapa de variabilidade espacial obtido pela interpolação por krigagem confirmou a influência da altitude nos altos índices de precipitação da costa litorânea do Estado de São Paulo.

Moura e Guimarães (2008) analisaram o comportamento espacial das chuvas totais mensais no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba utilizando o semivariograma. Preliminarmente, eles verificaram que nos meses em que há maior ocorrência de chuva tem-se uma distribuição simétrica da variável precipitação, ao contrário do que acontece nos meses secos. Na verificação da dependência espacial, através da geoestatística, não foi possível ajustar modelos clássicos de semivariogramas aos valores de semivariâncias experimentais, o que induz à conclusão de não dependência espacial da variável estudada. Segundo os autores, a interpolação, utilizando métodos geoestatísticos, não são recomendadas para essa variável, sob condições de baixa densidade e distribuição espacial irregular de estações climatológicas.

O mapeamento de variáveis climáticas, como chuvas intensas, é de fundamental importância para o manejo ambiental. Segundo Mello *et. al.* (2008), para tal, ferramentas estatísticas para interpolação espacial devem ser devidamente analisadas e caracterizadas. Nesse sentido, os autores analisaram a estrutura de dependência espacial da chuva intensa, por geoestatística, associada a diferentes tempos de duração e de retorno, visando a subsidiar o mapeamento das chuvas no Estado de Minas Gerais. Foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano, sendo o melhor definido pela técnica de validação cruzada, e em caso de similaridade, também foram considerados o maior grau de dependência espacial e o menor efeito pepita, além da análise visual do ajuste do modelo ao semivariograma experimental. Eles concluíram que o erro médio produzido pela Validação Cruzada foi muito baixo, demonstrando o potencial da krigagem geoestatística para interpolação da chuva intensa. Os ajustes do semivariogramas resultaram em graus de dependência espacial moderados, demonstrando que estes dados possuem estrutura de dependência espacial.

Diante do exposto, o emprego da geoestatística com o objetivo de identificar e avaliar a estrutura espacial das variáveis pode representa uma abordagem importante para a análise da interação entre os aspectos climáticos e agrícolas de uma determinada região.

2.4 – Aplicações da estatística multivariada

A análise multivariada corresponde a métodos estatísticos desenvolvidos para descrever e analisar dados que envolvem o conhecimento de múltiplas variáveis simultaneamente, sendo de uso corrente em áreas do conhecimento onde se verificam relações de dependência e interdependência entre as variáveis. A dependência pode ser modelada a partir de técnicas de análise de regressão múltipla, análise de correspondência múltipla e análise discriminante. Por outro lado, para modelar a independência entre variáveis, têm-se os métodos de análise: fatorial, agrupamento, correlação canônica, componentes principais e alguns métodos não paramétricos.

A literatura mostra que as técnicas de análise multivariada têm sido utilizadas em várias situações por vários pesquisadores. Ehrendorfer (1987) investigou a possibilidade de identificar áreas homogêneas de precipitação na Áustria com respeito aos processos subjacentes na escala sinótica, por meio da análise em componentes principais, de forma a contribuir para a compreensão da variabilidade espacial da climatologia da precipitação nos meses de verão e inverno. Os três primeiros autovalores significativos foram identificados, onde as componentes principais associadas esclareceram 68,3% e 79,4% da variação total da precipitação de verão e inverno, respectivamente. O modo Varimax de rotação aplicado a essas componentes permitiram uma subdivisão da Áustria em três regiões homogêneas, em que a série temporal das mesmas confirmou a estabilidade espacial dessas regiões e chama a atenção para as diferenças sazonais. As três componentes são identificadas pela atribuição de tipos de tempo em grande escala aos quais são associadas à precipitação produzida na região em que a respectiva componente principal é dominante. Os resultados desse estudo associado a grande variedade de aplicabilidade revelam ACP como ferramenta útil em identificar grupos homogêneos de precipitação.

Pedro Júnior *et. al.* (1995) avaliaram o efeito da temperatura do ar e da radiação solar no rendimento agrícola do arroz irrigado por inundação na região de Pindamonhangaba, Vale do Paraíba - SP, por meio de modelo agrometeorológico de regressão linear múltipla. Os valores de produtividade estimados pelo modelo mostraram diferenças menores que 10% quando comparados com os valores obtidos no campo.

Comrie e Glenn (1998) determinaram regiões pluviometricamente homogêneas para os Estados Unidos, considerando a sazonalidade e variabilidade da precipitação mensal, aplicando a técnica de componentes principais com rotação oblíqua. A pesquisa forneceu uma regionalização da climatologia da precipitação, e mostrou sua utilidade para estudos da variabilidade do clima.

Sansigolo e Nery (1998) associaram às técnicas de análise em componentes principais e agrupamento no estudo das precipitações no Sul/Sudeste do Brasil. A análise em

componentes principais foi aplicada para derivar os padrões de variabilidade temporal e espacial das precipitações. Eles afirmaram que esse procedimento elimina informações redundantes do conjunto de dados, separando o sinal de grande escala do ruído. Por outro lado, a análise de agrupamento hierárquico aglomerativo, aplicada às cargas fatoriais espaciais e aos escores temporais mais significativos, foi utilizada para identificar grupos homogêneos de precipitação, visando sua regionalização e melhor compreensão de seus padrões sazonais e interanuais. Os resultados desse estudo ressaltaram que a região apresenta grande variabilidade sazonal, com ciclo anual bem definido, com o primeiro fator comum temporal explicando 52% e o segundo 33% da variância total. Os três primeiros fatores comuns espaciais explicam 37%, 15% e 7% da variância regional. O primeiro e o terceiro estão significativamente associados às anomalias de TSM do Pacífico e o segundo às do Atlântico Sul.

A variabilidade interanual da precipitação pluvial foi relacionada com a variabilidade dos rendimentos da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] no Estado do Rio Grande do Sul, considerando os eventos El Niño Oscilação Sul (ENOS) por Berlato e Fontana (1999) no período agrícola de 1975/76 a 1994/95. Os resultados mostraram que a precipitação do período dezembro a março explica cerca de 80% da variação interanual dos rendimentos e que o fenômeno El Niño favorece a cultura da soja, ocasionando, na maioria das vezes, rendimentos e produções recordes dessa cultura no Estado. A variabilidade interanual da precipitação pluvial do período de dezembro a março é o principal fator determinante da variabilidade dos rendimentos da soja no Rio Grande do Sul. As estiagens, principalmente as ocorridas no período dezembro a março, constituem a principal adversidade climática à cultura da soja.

Segundo Seto *et. al.* (2000), a técnica de análise de componentes principais permite reduzir o número de variáveis envolvidas no estudo, considerando apenas as componentes que explicam grande parte da variância dos dados originais. Nesse caso, o processo de regionalização é feito selecionando-se os fatores mais significativos, onde o grupo formado pela primeira componente não é correlacionado com o grupo formado pela segunda componente, e assim sucessivamente, são, portanto grupos totalmente independentes.

Elmore e Richman (2000) utilizaram uma matriz da similaridade baseada na distância euclidiana, usada geralmente na análise de agrupamento, como uma alternativa viável para a análise de similaridade em ACP. Para análise em componentes principais, a distância euclidiana foi convertida na similaridade euclidiana. Segundo os autores, a análise por componentes principais baseada na similaridade euclidiana resultante, identifica os parâmetros que estão próximos, fornecendo desse modo uma escolha de nova matriz de similaridade. O conceito usado cria a similaridade euclidiana e estende a utilidade de ACP abrindo uma escala

larga das medidas de similaridade disponíveis aos investigadores, para ser escolhidas baseadas nas características que desejam identificar.

Cardim (2001) fez uso das técnicas de componentes principais e agrupamento no sentido de mapear as principais variáveis climáticas, especificamente precipitação pluvial e temperatura do ar, sobre o estado de São Paulo. Com a técnica de agrupamento definiu seis grupos homogêneos quanto aos padrões de precipitação pluvial e temperatura do ar. Através da técnica de componentes principais estabeleceu índices pluviométricos, térmicos e pluviotérmicos, definindo, segundo ele, uma classificação climática mais eficiente que as classificações utilizadas no Brasil, que, em geral, se assemelham as de Köppen.

Em sistema de sequeiro, o rendimento das culturas é altamente dependente das interações entre suas fases fenológicas e as variações climáticas provocadas principalmente pela irregularidade do regime pluviométrico. Nesse sentido, Silva *et. al.* (2002) desenvolveram modelos de previsão de rendimento das culturas de feijão, milho, algodão herbáceo e mandioca em sistema de sequeiro em função das anomalias significativas de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico, caracterizadas pelos picos superiores a 0,5 do desvio-padrão da série no período de novembro a março. Os resultados evidenciaram que esses modelos poderão ser utilizados com razoável precisão na identificação da tendência de rendimento das culturas de sequeiro e na elaboração de estratégias de combate aos impactos das secas na agricultura de subsistência do Nordeste do Brasil.

No sentido de dividir a Espanha em zonas climaticamente homogêneas, baseadas na precipitação sazonal, Muñoz-Dias e Rodrigo (2004) compararam as técnicas de análise de agrupamento e de componentes principais. A técnica de agrupamento identificou três grupos na primavera e inverno, e quatro grupos no verão e outono. Obteve resultados similares quando aplicou a técnica de componentes principais. Essa comparação indica que a análise de agrupamento é apropriada para estabelecer os padrões espaço-temporal da distribuição da precipitação sobre a Espanha.

Hong Wu *et. al.* (2004) desenvolveram um modelo agrícola de avaliação de risco de seca foi desenvolvido para Nebraska, EUA, considerando o milho, feijão e soja com base em variáveis derivadas do índice de precipitação padronizado e no índice de seca específico-colheita usando técnicas multivariadas. Este modelo pode ser usado para avaliar o risco agrícola em tempo real da seca para colheitas específicas em horas críticas antes e durante a estação de crescimento. Este modelo tem sido utilizado pelos gestores e produtores.

Marion (2004) ajustou, a partir de modelo simples de balanço hídrico da cultura, equações para estimativa de rendimento de grãos de soja a partir da relação existente entre a

disponibilidade hídrica e o consumo de água pela cultura da soja, visando subsidiar futuros estudos estratégico na previsão, seguridade agrícola e monitoramento de safras em Santa Catarina.

Nery *et. al.* (2005) estudaram a variabilidade da precipitação pluvial no Estado do Paraná e sua associação com a temperatura da superfície do Pacífico. Como parte do trabalho, eles fizeram uso da técnica de componentes principais e agrupamento hierárquico, utilizando critérios de ligação simples, ligação média, agrupamento por variância mínima e método de Ward, onde após análise sistemática decidiram pelo uso do último. Para o estudo da variabilidade espacial da precipitação pluvial total anual eles aplicaram a análise de Componentes Principais (modo S), resultando em cinco autovalores significativos. Os autovetores associados foram então agrupados, estabelecendo-se assim, a partir de um corte subjetivo do dendograma, quatro grupos homogêneos. Os resultados indicaram que a precipitação sobre o Estado do Paraná, sofre a influência do fenômeno El Niño e La Niña, não só quanto à intensidade da precipitação, como também quanto à frequência de dias chuvosos e a variabilidade espacial.

Em um trabalho mais amplo, Keller *et. al.* (2005) usou a técnica de análise de agrupamento hierárquica com o objetivo de delimitar regiões homogêneas sobre o Brasil, utilizando como variáveis classificatórias: a proporção de pântadas secas, medidas de posição, escala e forma das distribuições de frequência de quantidade de chuva. Os resultados permitiram identificar 25 zonas pluviometricamente homogêneas em todo o território brasileiro, contribuindo para estudos de riscos climáticos na agricultura.

Faria *et. al.* (2005) utilizaram dados de solos, clima e da cultura em um modelo para estimar o rendimento agrícola de uma variedade de trigo na região dos Campos Gerais, Paraná. Os resultados das simulações, apresentados em mapas e em gráficos, considerando diferentes níveis de probabilidade, indicaram uma forte influência da geada, enquanto que o estresse hídrico apresentou influência moderada no decréscimo de produtividade.

Cardim e Cataneo (2005) estabeleceram a relação dos índices climáticos obtidos por Cardim (2001) com o rendimento agrícola média anual da cultura de feijão no estado de São Paulo. Por meio da geoestatística eles analisaram a variabilidade espacial do rendimento agrícola média anual da cultura do feijão por décadas, onde a dependência espacial foi determinada por meio da função semivariograma, o qual foi ajustado pelo modelo esférico ou exponencial. Em seguida por processo de interpolação por Krigagem foram estimados valores de produtividade para pontos não amostrados. O mesmo processo foi realizado para os índices climáticos, os quais foram correlacionados com o rendimento agrícola. Os resultados demonstraram a importância da

precipitação pluvial no rendimento agrícola da cultura do feijão, e que as altas temperaturas, provavelmente, são prejudiciais.

Carvalho *et. al.* (2005) desenvolveram um modelo de previsão de produtividade para a cultura do café, em sete municípios do Estado de Minas Gerais. Submeteram-se à análise harmônica por séries de Fourier, séries de produtividades representativas de cada município, das quais se extraíram os coeficientes até o sétimo harmônico, submetendo-os à regressão linear múltipla nos três primeiros componentes principais de um conjunto de 33 variáveis inerentes à produção cafeeira. O modelo mostrou-se inconsistente, apresentando erros das estimativas bastante discrepantes, evidenciando a complexidade de modelagem de previsão de safras para a cultura do café.

Anjos e Nery (2005) analisaram o rendimento de grãos de soja, trigo e milho no Estado do Paraná, correlacionando-os às diversas variáveis meteorológicas, tais como: precipitação pluvial, temperaturas (de relva, de geotermômetros de 9, 15 e 21 horas, máxima, mínima e média) e umidade relativa do ar. As análises de regressão múltipla e ajustes polinomiais mostram que modelos estatísticos podem ser úteis na produção de safras de grãos, ressaltando que os fatores climáticos têm relativa participação no total de rendimentos de grãos, pois as condições do tempo podem causar os conhecidos azares climáticos, sempre imprevistos na agricultura.

Lyra *et. al.* (2006) aplicaram primeiramente o método de classificação de Ward para agrupar os meses com precipitação pluvial mensal similar no estado de Táchira na Venezuela. Na composição dos agrupamentos constatou-se uma variação sazonal da precipitação, com três períodos estatisticamente definidos como: seco, transição e úmido. Posteriormente, eles aplicaram novamente o método para cada período especificado acima, onde os períodos secos e úmidos apresentaram quatro regiões homogêneas de precipitação mensal similar e o de transição três. No período seco, a distribuição de probabilidade recomendada para as estimativas mensais é a exponencial, com exceção da região homogênea com os maiores valores de precipitação pluvial do período, onde a gama se sobressai. No período chuvoso, a distribuição normal predomina, com exceção de agosto, em que a gama prevalece. Já nos meses de transição, destacam-se as distribuições gama em abril e normal em novembro.

Esses resultados sugerem que a análise multivariada, contemplando as técnicas de análise de componentes principais, agrupamento e regressão múltipla, é uma ferramenta importante no sentido de avaliar relações entre variáveis e que pode ser utilizada especificamente no gerenciamento do rendimento agrícola de culturas.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Área de estudo

O Estado do Maranhão está situado no extremo Oeste do Nordeste do Brasil, entre 1° e 10° de Latitude Sul, e 41,5° e 48,6° de Longitude Oeste, com uma área de 331.983 Km². É limitado ao Norte pelo Oceano Atlântico; a Leste e Sudeste pelo Estado do Piauí; ao Sul e Sudoeste pelo Estado de Tocantins e a Oeste pelo Estado do Pará, sendo constituído por 21 microrregiões geográficas: 1-Área Urbana de São Luis, 2-Litoral Ocidental, 3-Lençóis maranhense, 4-Gurupi, 5-Baixada maranhense, 6-Rosário, 7-Baixo parnaíba maranhense, 8-Santa Quitéria, 9-Itapecuru Mirim, 10-Pindaré, 11-Médio Mearim, 12-Chapadinha, 13-Coelho Neto, 14-Caxias, 15-Presidente Dutra, 16-Alto Mearim e Grajaú, 17-Imperatriz, 18-Chapada do Alto Itapecuru, 19-Chapada das Mangabeiras, 20-Porto Franco e 21-Gerais de Balsas, conforme identificado na Figura 3.1.

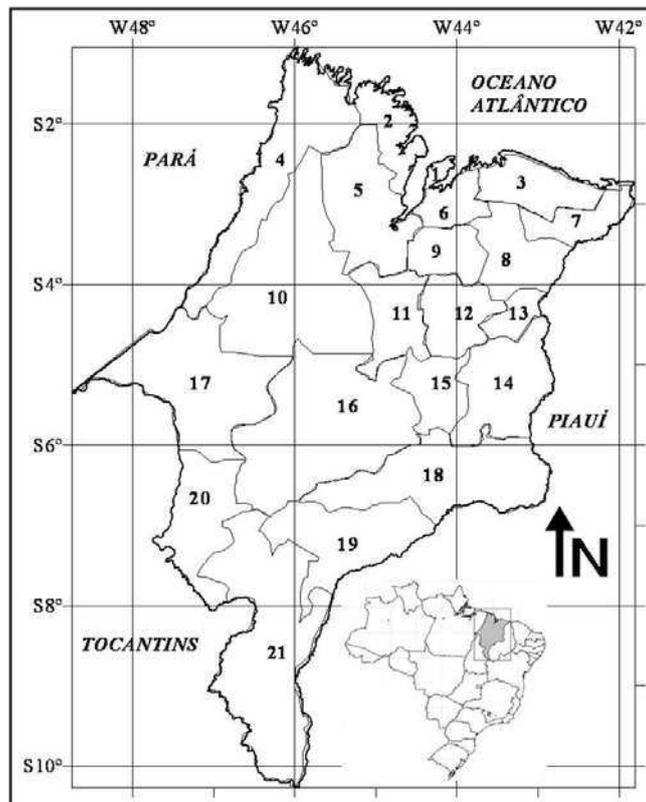


Figura 3.1 - Localização geográfica do Estado do Maranhão-Brasil.

3.2-Dados Utilizados

3.2.1 - Precipitação Pluvial

Os dados de precipitação pluvial mensais foram obtidos do acervo da Agência Nacional de Águas (ANA), por intermédio do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb, disponível em <http://www.hidroweb.ana.gov.br/>. Foram selecionados os postos pluviométricos que apresentaram uma série completa, sem falhas, o que resultou em 76 postos, com registros diários compreendidos entre 1985 e 2004. A Figura 3.2 mostra a distribuição espacial dos postos pluviométricos, cuja relação encontra-se no Apêndice 3.1.

3.2.2 - Temperatura do Ar

Os dados observados de temperatura média, máxima e mínima do ar mensais durante o período de 1985 a 2004, obtidos do acervo do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, totalizando 13 estações, cuja distribuição espacial está representada na Figura 3.2. Foram utilizados ainda dados estimados de temperatura média do ar, segundo método proposto por Leite (1978) para o Maranhão, para os mesmos locais onde foram obtidos os dados pluviométricos.

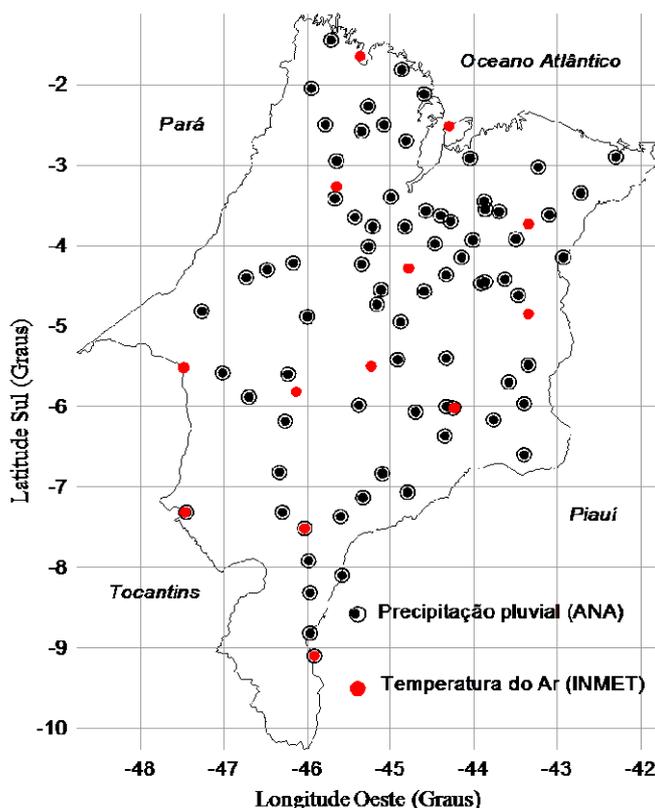


Figura 3.2 - Distribuição espacial das estações de coleta de dados sobre o Maranhão.

3.2.3 - Componentes do balanço hídrico climatológico

Foram utilizados dados das principais componentes do balanço hídrico para Capacidade de Armazenamento de Água (CAD) de 100 mm, quais sejam: evapotranspiração real, armazenamento de água, deficiência hídrica e excesso hídrico, calculados conforme proposto por Thornthwaite e Mather (1955) e evapotranspiração potencial, segundo Thornthwaite (1948).

3.2.4 – Produção agrícola

Os dados de produção, área plantada e colhida para as culturas de soja, milho e arroz, entre 1990 e 2004, para cada localidade produtora, foram obtidos do acervo de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através do Sistema de Recuperação Automática (SIDRA), disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>.

3.2.5 - Temperatura da Superfície do Mar

Foram utilizados dados de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas regiões do El Niño 1+2 (0° -10° Sul e 90° - 80° Oeste) e El Niño 3 (5° Norte – 5° Sul e 150°- 90° Oeste) e Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Norte (5°-20° Norte / 60°-30° Oeste) e Atlântico Sul (0°-20°Sul / 30°Oeste-10°Leste) definidas na Figura 3.3, obtidos em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>.

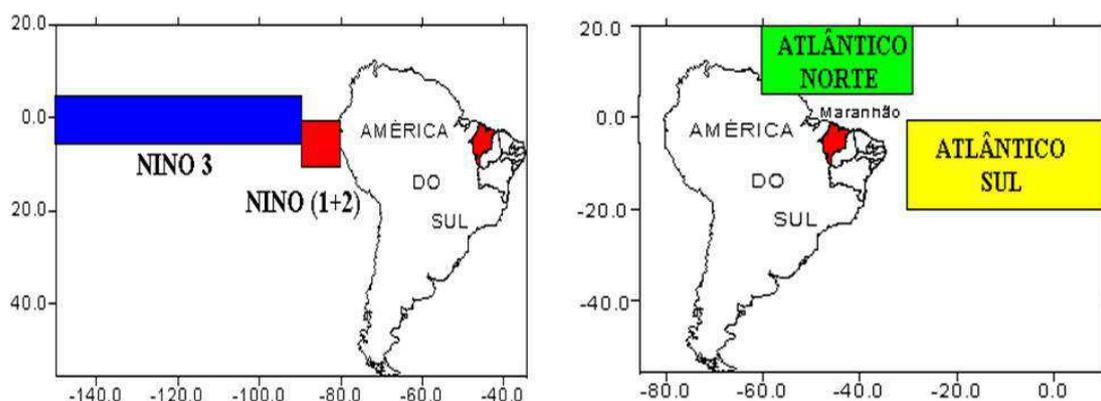


Figura 3.3 – Áreas sobre os Oceanos Atlântico e Pacífico onde foram obtidos os dados de Temperatura da Superfície do Mar.

3.3 - Procedimentos Metodológicos

Para atingir os objetivos propostos nesse estudo, os procedimentos metodológicos foram divididos em 6 fases a saber:

3.3.1 - Fase 1: Análise estatística exploratória

A condição de normalidade dos dados é um fundamento importante para a modelagem multivariada, sob a qual toda inferência estatística linear se desenvolve. Muito embora a aplicação da técnica geoestatística não exija a condição de normalidade dos dados, ela certamente contribuirá para que os dados tenham propriedades estatísticas ótimas, tal como a máxima verossimilhança.

Para verificar se os dados de precipitação pluvial seguem distribuição normal foram analisados os coeficientes de assimetria e curtose e o gráfico Normal P-P plot, o qual possibilita verificar se a distribuição se ajusta a distribuição normal, com a condição de os pontos estarem distribuídos proximamente a uma linha reta.

Nos casos em que os dados não apresentarem condições de normalidade foram transformados pelo critério Box–Cox, para que se ajustassem a distribuição normal ou aproximadamente normal. Este método consiste na estimativa do melhor valor para um parâmetro λ tal que o conjunto de dados transformados Y_T seja normalmente distribuído. A relação entre os dados transformados e os dados originais Y é expressa pela Equação $Y_T = Y^\lambda$, com as seguintes transformações descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Principais transformações utilizadas para ajuste à distribuição normal

λ	$Y_T = Y^\lambda$
-2	$\frac{1}{Y^2}$
-1	$\frac{1}{Y}$
-0,5	$\frac{1}{\sqrt{Y}}$
0	$\log_e Y$
0,5	\sqrt{Y}
1	Sem transformação
2	Y^2

Para verificar se os dados são adequados para a aplicação da ACP foram realizados os testes KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e o de esfericidade de Bartlett (BTS).

Segundo Vicente (1994) o teste KMO estabelece que quando a soma dos quadrados dos coeficientes de correlações parciais entre todos os pares de variáveis é pequena quando comparada com a soma do quadrado dos coeficientes de correlação o índice se aproxima de um. Valores abaixo de 0,5 indicam que o uso da ACP pode ser inadequado, uma vez que a correlação entre os pares de variáveis não pode ser explicada por outras variáveis. Enquanto que, segundo Hair *et. al.*(1998), valores de KMO acima de 0,50, individualmente para cada variável ou para a matriz completa, indicam ser apropriada a aplicação da ACP.

Por outro lado, o teste BTS é usado para verificar se a matriz de correlações é uma matriz identidade, o qual requer que os dados sejam provenientes de uma população normal multivariada. Um valor alto de BTS, associado a um nível de significância baixo, pode-se inferir que é improvável que a matriz de correlações seja uma matriz identidade; caso essa hipótese não possa ser rejeitada, o uso de ACP deve ser reconsiderado.

3.3.2 - Fase 2: Variabilidade espacial da precipitação pluvial

Para analisar a variabilidade espacial da precipitação foi utilizada a geoestatística, a qual corresponde a procedimentos estatísticos aplicáveis a dados espacialmente georeferenciados, no sentido de verificar a estrutura espacial entre as observações. Esta técnica utiliza medidas estatísticas para expressar essa estrutura de dependência, tais como covariâncias, correlações e semivariâncias.

A estrutura de dependência espacial da precipitação mensal foi determinada por meio da função semivariograma, descrita na expressão (3.1). a qual contraria as condições de independência preconizada por diversas técnicas estatísticas.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x+h)]^2 \quad (3.1)$$

em que $N(h)$ corresponde ao número de pares de valores amostrados, $[Z(x_i), Z(x_i+h)]$, separados por uma distância h .

A dependência espacial das amostras de precipitação, determinada a partir do semivariograma, foi obtida por meio do ajuste de um modelo teórico, conforme descrito em Araújo (2004), e resumido na Tabela 3.2.

O modelo teórico é considerado adequado após alguns processos iterativos, cujos parâmetros necessários para sua determinação, conforme esquematizados na Figura 3.4, são: o alcance da dependência espacial (a), também conhecido como “range”, que corresponde à distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas entre si; o patamar, que representa o valor do semivariograma correspondente ao seu alcance, a partir do qual se considera que não existe mais dependência espacial entre as amostras, em decorrência da variância da diferença entre pares de amostras tornar-se invariável com a distância; o efeito pepita (C_0), conhecido como “nugget effect”, que é o valor da semivariância à distância zero e a distância entre o efeito pepita e o patamar (c), também conhecida como “sill”, correspondente ao intervalo onde o semivariograma cresce.

Tabela 3.2 - Modelos teóricos de ajuste do variograma.

Modelos	Semivariograma - $\gamma(h)$	
Efeito pepita puro	0 se $h=0$	$C_0 + C$ se $h>0$
Linear	$C_0 + \frac{c}{a} \cdot h$ se $0 < h < a$	$C_0 + C$ se $h \geq a$
Esférico	$C_0 + c \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1h^3}{2a^3} \right]$ se $0 < h < a$	
Exponencial	$C_0 + c \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h}{a}\right) \right]$ se $0 < h < d$	
Gaussiano	$C_0 + c \left[1 - \exp\left(-3 \frac{h^2}{a^2}\right) \right]$ se $0 < h < d$	

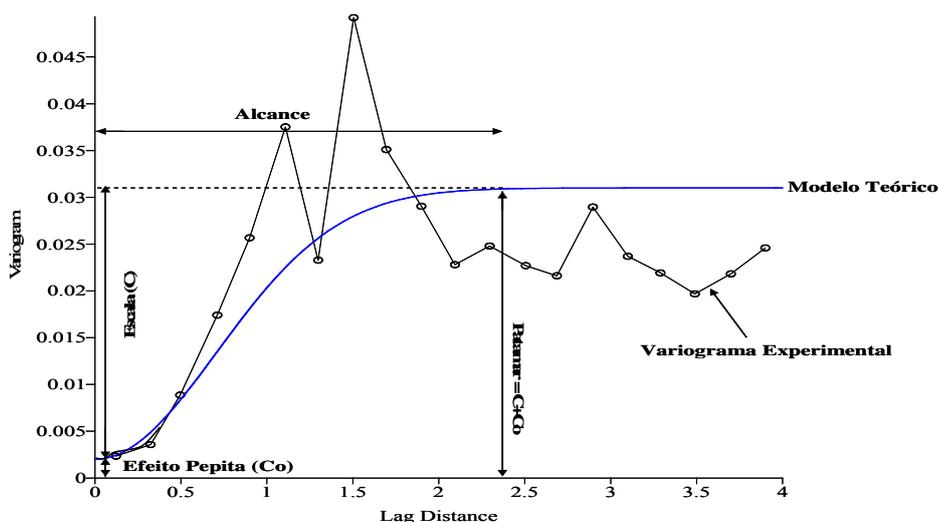


Figura 3.4 - Modelo de semivariograma teórico

Foram testados diferentes modelos teóricos, quais sejam, linear, potencia, exponencial, esférico e gaussiano, no sentido de identificar o melhor ajuste, o qual foi definido pelo IGF (Indicative Goodness of Fit), aqui definido como IQA – Índice de Qualidade do Ajuste, conforme expressão (3.2):

$$IGF = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} \frac{P(i)}{\sum_{j=0}^{n(k)} P(j)} \cdot \frac{D(k)}{d(i)} \left[\frac{\gamma(i) - \gamma^*(i)}{\sigma^2} \right]^2 \quad (3.2)$$

em que N é número de variogramas direcionais; n(k) o número de passos (lags) relativos ao variograma k; D(k) a distância máxima relativa ao variograma k; P(i) o número de pares para o passo i do variograma k; d(i) a distância média dos pares para o passo i do variograma k; $\gamma(i)$ a medida experimental da continuidade espacial para o passo i; $\gamma^*(i)$ a medida modelada da continuidade espacial d(i) e σ^2 a (co)variância dos dados para o variograma (cruzado).

O grau de dependência espacial foi avaliado pelo IDE (Índice de Dependência Espacial), expressão (3.3), a qual relaciona o efeito pepita (C_o) com o patamar (C_o+C), em que C corresponde a semivariância estrutural. Conforme sugerido por Cambardella (1994) e modificado por Zimback (2001), o grau de dependência segue os seguintes intervalos: $\leq 25\%$ - fraca dependência espacial; entre 25% e 75% - moderada dependência espacial e $\geq 75\%$ - forte dependência espacial.

$$IDE = \frac{C_o}{C + C_o} * 100 \quad (3.3)$$

Uma vez verificada a dependência espacial da precipitação por meio do semivariograma, utilizou-se a interpolação geoestatística conhecida como Krigagem para estimar valores da precipitação pluvial para os locais sem informação através da expressão (3.4):

$$Z^*(x_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (3.4)$$

em que $Z^*(x_o)$ é o valor estimado em ponto qualquer em local sem informação do espaço amostral; N corresponde ao número de valores medidos nos pontos utilizados na estimativa; $Z(x_i)$ o número de valores medidos nos pontos utilizados na estimativa e λ_i os pesos, os quais são variáveis de acordo com a variabilidade espacial verificada pelo semivariograma, estando associados a $Z(x_i)$. As estimativas são resultados de combinações lineares dos valores das variáveis observadas nos locais, sendo que os mais próximos têm maiores peso em relação aos mais afastados.

3.3.3 - Fase 3: Regiões homogêneas de precipitação pluvial

A técnica de análise multivariada foi utilizada para definir as regiões homogêneas de precipitação pluvial sobre o Estado do Maranhão, criar e avaliar indicadores regionalizados de rendimento agrícola para as culturas de soja, arroz e milho, os quais foram constituídos das variáveis precipitação, temperaturas média, máxima e mínima do ar, evapotranspiração potencial e real, excesso e deficiência hídrica, armazenamento) e oceanográfica (anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Pacífico e Atlântico Tropical).

Para definir as regiões homogêneas, os dados de precipitação pluvial foram submetidos a técnica de análise de componentes principais, e agrupamento. A técnica de análise de componentes principais (ACP) tem por objetivo a descrição de um conjunto de dados, baseando-se na redução do número de variáveis, as quais devem ser dependentes e correlacionadas entre si (BOUROCHE e SAPORTA, 1982). As novas variáveis sintéticas, denominadas de componentes principais, são combinações lineares das “p” variáveis originais, são linearmente independentes e não correlacionadas entre si, sendo obtidas por meio da expressão (3.5):

$$C_k = a_{1k}x_1 + \dots + a_{jk}x_j + \dots + a_{nk}x_n \quad (3.5)$$

em que C_k representam as componentes principais, “ a_{nk} ” são os autovetores da matriz de correlação e X_n as variáveis originais.

De acordo com essa expressão, e considerando uma amostra com três variáveis de n observações com suas variâncias, conforme representadas na Figura 3.5, onde a origem dos eixos está centrada no meio da nuvem de pontos da amostra, que parecem modelar uma elipse, com um eixo principal CP_1 e eixos secundários CP_2 e CP_3 ; sendo α_1 , α_2 e α_3 os ângulos formados entre os eixos originais X_1 , X_2 e X_3 e os eixos CP_1 , CP_2 e CP_3 , respectivamente. Se o eixo CP_1 passa pelo ponto médio da nuvem de pontos da amostra, sua orientação é completamente determinada pelos cossenos diretores $a_{11}=\cos(\alpha_1)$, $a_{21}=\cos(\alpha_2)$ e $a_{31}=\cos(\alpha_3)$, sendo $a_{11}^2 + a_{21}^2 + a_{31}^2 = 1$.

A primeira componente principal explica a maior parte da variabilidade total dos dados originais, corresponde ao maior eixo da elipsóide (CP_1) e o comprimento desse eixo é proporcional a $\sqrt{\lambda_1}$. O segundo eixo, de menor variância (CP_2) é chamado de segunda componente principal e seu comprimento é proporcional a $\sqrt{\lambda_2}$. O terceiro eixo (CP_3), de variância menor que o segundo, é chamado de terceira componente principal, sendo seu comprimento proporcional a $\sqrt{\lambda_3}$. Em síntese, a análise dos componentes principais toma os eixos X_1 , X_2 e X_3 associados as variáveis originais e coloca-os na direção da maior variabilidade (JOHNSON e WICHERN, 1992).

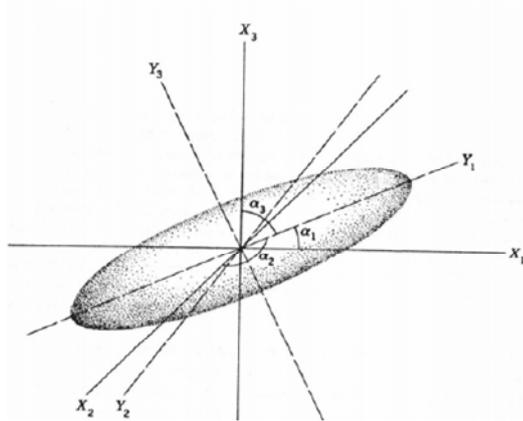


Figura 3.5 - Eixos principais com três variáveis.

As componentes foram extraídas a partir da matriz de correlação, de forma que as correlações entre as j -ésima variáveis padronizadas e as k -ésima componentes foi dada pela expressão (3.6):

$$\text{corr}(Z_j, C_k) = a_{jk} \cdot \sqrt{\lambda_i} \quad (3.6)$$

Essa relação mostra que a matriz de autovetores pode ser transformada em uma matriz “ $p \times p$ ” de correlação chamadas de "Cargas Fatoriais", que são usadas para estabelecer a significância física das componentes, ou seja, se algumas componentes são altamente correlacionadas com quaisquer variáveis, logo estas componentes são um reflexo dessas variáveis (HAAN, 1977).

Uma das dificuldades encontradas na utilização da análise por componentes principais consiste na falta de critérios objetivos para determinar qual o número de componentes que deve ser retido para analisar os dados, a qual depende dos objetivos da pesquisa. Dentre os critérios utilizados destacam-se o de Kaiser, o do diagrama de autovalores e o da porcentagem acumulada de variância explicada.

Para a definição do número de componentes retidas utilizou-se o critério de Kaiser (1960), também conhecido como critério da raiz latente. Segundo Hair *et. al.* (1998), de acordo com esse critério, a melhor resposta quando se utiliza a matriz de correlação, será dada pelo número de fatores cujos autovalores são maiores ou iguais a um. É um método muito utilizado, por ser de fácil aplicação, sendo encontrado nos principais pacotes estatísticos. Porém, ele apresenta algumas críticas, quais sejam: tende a incluir poucas componentes quando o número de variáveis originais é inferior a 20, ou ainda os resultados somente são fidedignos se o número de variáveis estiver entre 20 e 50; discrimina os fatores que tem pequena diferença nos autovalores em torno de um e o critério de seleção, utilizando somente os autovalores como condição para a seleção do número de componentes principais, pode resultar em um número inadequado de componentes (BANET e MORINEAU, 1999).

Nos casos em que os autovalores obtidos na análise por componentes principais apresentarem resultados de difícil interpretação procederam-se a rotação dos fatores principais, retidos segundo o critério de seleção aplicado, a fim de se obter uma máxima representatividade

da técnica de análise por componentes principais. De acordo com Cardim (2001), a transformação ortogonal, através do método varimax, proposto por Kaiser (1958), maximiza a variância das "cargas fatoriais". A rotação é importante quando muitas variáveis possuem altos valores das cargas fatoriais para somente uma componente, dificultando a identificação ou caracterização das variáveis latentes. O resultado são "cargas fatoriais" mais discriminadas, onde algumas são altas, outras poucas são intermediárias e outras são baixas.

A rotação das "cargas fatoriais", segundo Dyer (1975), remove ambigüidades dos dados e não afeta a variância total explicada pelos componentes principais, produzindo valores mais discriminados possibilitando dessa maneira uma melhor interpretação dos dados. Estas considerações foram reforçadas nos trabalhos de Cohen (1983), Seto *et. al.* (2000) e Cardim (2001).

Com o interesse em se determinar o padrão espacial com base em séries temporais climatológicas, para fins de regionalização, utilizou-se a análise por componentes principais no modo S. Nesse modo, os postos pluviométricos representam as variáveis e as precipitações os casos, cuja série é comparada, identificando-se os postos em que a precipitação varia similarmente.

As cargas fatoriais associadas às componentes principais que explicam a maior parte da variabilidade total da precipitação foram submetidas à análise de agrupamento a fim de definir as regiões homogêneas de precipitação.

A análise de Agrupamentos é uma técnica estatística, conhecida como técnica de classificação, usada para gerar uma estrutura de categoria que ajusta um conjunto de observações realizadas sobre diferentes indivíduos. Consiste em dividir um sistema multidimensional em grupos, em cada um dos quais se reúnem os indivíduos que apresentam maior similaridade entre si e dissimilaridade entre grupos (LOPES, 2003; VIANA, 2003).

O grau de similaridade ou dissimilaridade entre indivíduos foi obtido por transformação a partir da matriz de dados originais ou padronizada, através de uma medida de semelhança. A escolha dessas medidas é subjetiva, indo além das características das variáveis e das escalas usadas para a medição. Segundo Viana (2003), o tratamento desta subjetividade deve ser realizado com extremo cuidado para evitar erros de semântica na solução do problema. Normalmente estes indivíduos são agrupados utilizando-se medidas de distâncias entre as características relevantes para o processo de agrupamento.

Na maioria dos casos, a distância euclidiana é utilizada como medida de similaridade para formar grupos homogêneos, conforme proposto por Curi (1983b) e Bussad et.al. (1990), sendo definida pela expressão (3.7):

$$d(\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2) = \left\{ \sum_{i=1}^N (\mathbf{X}_{1i} - \mathbf{X}_{2i})^2 \right\}^{1/2} \quad (3.7)$$

em que X_1 e X_2 são os valores de precipitação mensal observados nos postos pluviométricos 1 e 2, respectivamente.

Os métodos de agrupamento são classificados de acordo com o tipo de estrutura de agrupamento que eles produzem: hierárquicos ou não-hierárquicos.

Os métodos mais simples são os não-hierárquicos que dividem os N objetos em K grupos sem que haja interseção entre os grupos. Estes métodos também são conhecidos como métodos de partição, pois a princípio o método conta com uma formação inicial dos indivíduos nos grupos e a cada interação o método tenta melhorar esta partição, realocando os indivíduos entre os grupos formados anteriormente, sem que o número de grupos se altere e até que o critério de parada seja alcançado.

Os métodos mais complexos são os hierárquicos que produzem um conjunto de dados agregados em que pares de indivíduos ou grupos, são sucessivamente unidos até que todo o conjunto de dados esteja ligado. As técnicas hierárquicas podem ser divididas em dois tipos: as aglomerativas ou ascendentes que partem de N grupos de somente um indivíduo e por junções de grupos alcançam ao final um só grupo e as divisivas ou descendentes que partem de um único grupo com todos os elementos e por divisões de grupo alcançam ao final N grupos de um indivíduo cada (FRAKES e YATES, 2000).

Neste estudo utilizou-se o método hierárquico, com critério de agregação Ward, o qual se baseia na comparação entre a aplicação da medida da soma dos quadrados dos desvios das observações em relação à média dos grupos. Primeiro são calculadas as médias das variáveis de cada grupo; em seguida, é calculado o quadrado da distância euclidiana entre essas médias e os valores das variáveis para cada indivíduo.

A estrutura dos grupos resultante de um método de agrupamento hierárquico aglomerativo geralmente é exibida como um dendograma, também conhecido como um diagrama de árvore.

A decisão quanto ao número de grupos a ser considerado é bastante subjetiva, porém os resultados da análise de agrupamento foram submetidos à análise discriminante visando avaliar a qualidade do esquema classificatório, verificando se os grupos formados são

efetivamente distintos entre si, coesos internamente e se os indivíduos pertencentes estão corretamente classificados, além da decisão quanto ao número de grupos a ser considerado.

As técnicas de agrupamento e análise por componentes principais fornecem um melhor entendimento dos padrões de variabilidade espacial e temporal dos dados, que ficam muitas vezes não evidentes quando se trabalha apenas com seus valores médios ou sazonais, o que justifica o seu uso. Podem ainda explorar o poder de explicação que um número de variáveis tem quando tomadas em conjunto, sendo, portanto o diferencial em relação a outros métodos.

3.3.4 - Fase 4: Caracterização das regiões homogêneas de precipitação pluvial

As principais componentes do balanço hídrico (evapotranspiração potencial e real, excesso hídrico, deficiência hídrica, armazenamento de água), considerando a Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm, foram estimadas para cada região homogênea de precipitação no sentido de caracterizá-las, bem como, para o desenvolvimento dos cenários agroclimáticos que servirão de variáveis explicativas do rendimento agrícola da soja, milho e arroz da respectiva região.

Para estabelecer o período de cultivo das diferentes regiões homogêneas, as mesmas foram caracterizadas também quanto ao início e duração da estação de crescimento, que corresponde ao período em que há disponibilidade de água para a produção agrícola, onde se concentra todas as fases do ciclo vegetativo das culturas de sequeiro. Para essa finalidade utilizou o critério desenvolvido por Frère e Popov (1979), segundo o qual, a definição do período da estação de crescimento depende do total de precipitação pluvial em comparação com a evapotranspiração potencial. Quando os totais pluviométricos, nesse caso mensais, são iguais ou superiores a metade da evapotranspiração potencial, inicia-se o período de crescimento, concomitantemente, o início da estação chuvosa. Por outro lado, o período úmido só inicia quando a precipitação torna-se superior a evapotranspiração potencial, correspondendo ao período de maior disponibilidade hídrica, conforme visto na Figura 3.6.

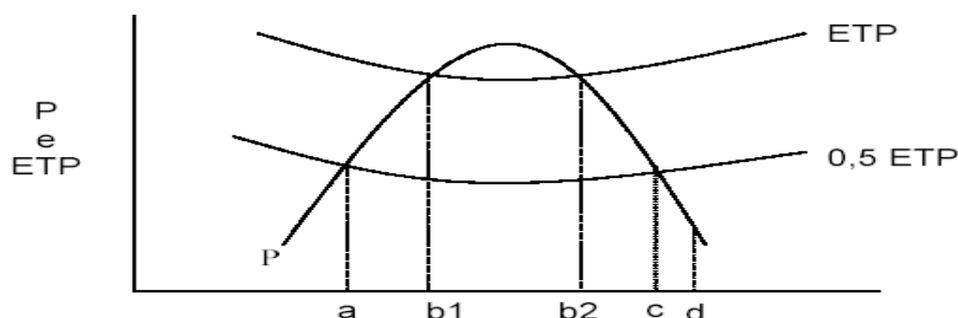


Figura 3.6 - Critério para determinação da estação de cultivo nos trópicos de acordo com Frère e Popov (1979)

1. Início da estação de cultivo e período chuvoso: momento “**a**”, quando a precipitação média é igual ou maior a metade da evapotranspiração potencial;
2. Início do período úmido: momento “**b₁**”, corresponde ao período em que a precipitação média é superior a evapotranspiração potencial. Durante este período o balanço de água no solo é positivo, ou seja, o solo acumula certa quantidade de água;
3. Fim do período úmido: momento “**b₂**”, onde ocorre progressiva redução e eventual interrupção das chuvas. Neste período a precipitação é menor que a evapotranspiração potencial;
4. Fim do período chuvoso: momento “**c**”, quando a precipitação média se torna inferior a metade da evapotranspiração potencial;
5. Fim da estação de cultivo: momento “**d**”, quando a água útil acumulada no solo (máximo de 100 mm) é evapotranspirada.

A estimativa da evapotranspiração potencial, bem como o balanço hídrico para Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm, foi realizada utilizando-se o programa SEVAP – Sistema de Estimativa da Evapotranspiração, de acordo com Belo Filho (2003).

3.3.5 - Fase 5: Determinação de indicadores regionalizados

Foram criadas aleatoriamente diferentes matrizes de dados para as regiões homogêneas que apresentaram o maior percentual de produção das culturas de soja, arroz e milho, onde as colunas foram preenchidas com as variáveis nos meses referentes a estação de cultivo das respectivas regiões e as linhas com os anos (1990 a 2004). A técnica de análise de componentes principais foi aplicada a essas matrizes com a finalidade de criar indicadores regionalizados, constituídos pela combinação linear das variáveis agroclimáticas e oceanográficas, representados pelas componentes principais que acumularam o maior percentual da variância total dos dados, definidas pelo critério do autovalor maior que a unidade, as quais serviram de variáveis explicativas para analisar o rendimento das culturas citadas, por meio de modelos de regressão linear múltipla.

As variáveis mensais utilizadas para criar os indicadores que serviram para analisar o rendimento das culturas de soja, arroz e milho nas principais regiões produtoras foram as descritas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Variáveis utilizadas para compor os indicadores de rendimento agrícola das culturas de soja, arroz e milho nas maiores regiões homogêneas produtoras no Estado do Maranhão

Variável	Abreviatura	Variável	Abreviatura
Precipitação pluvial	P	Deficiência Hídrica	D
Temperatura média do ar	Tm	Excesso Hídrico	Ex
Temperatura máxima do ar	Tx	Armazenamento	AR
Temperatura mínima do ar	Ti	Anomalias de TSM – Niño 12	N12
Evapotranspiração Potencial	EP	Anomalias de TSM – Niño 3	N3
Evapotranspiração Real	ER	Dipolo do Atlântico (TSM	DA
Evapotranspiração Relativa	ER/EP	Atlântico Norte – TSM	
		Atlântico Sul)	

3.3.6 - Fase 6: Avaliação dos indicadores regionalizados de rendimento agrícola

A análise de Regressão Múltipla, segundo Makridakis *et. al.* (1998), é um método de análise multivariada que representa um conjunto de técnicas estatísticas que possibilita a avaliação do relacionamento de uma variável dependente com diversas variáveis independentes. O modelo genérico utilizado para representar a relação entre o rendimento agrícola das culturas de soja, arroz e milho nas maiores regiões produtoras está representado na expressão (3.8):

$$y_i = \beta_o + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (3.8)$$

em que y_i corresponde a variável dependente ou explicada $i = 1, 2, \dots, n$, também chamada de resposta; os termos $(\beta_o + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki})$ correspondem a componente determinística do modelo, que também pode ser designada por componente explicativa, em que β_o é intercepto ou termo independente de variável; β_1 inclinação de y em relação a variável x_1 , mantendo constantes as variáveis x_2, x_3, \dots, x_k ; β_2 inclinação de y em relação a variável x_2 , mantendo constantes as variáveis x_1, x_3, \dots, x_k ; β_k inclinação de y em relação a variável x_k , mantendo constantes as variáveis x_1, x_2, \dots, x_{k-1} ; ε_i erro aleatório em y , para a observação $i, i = 1, 2, \dots, n$, referindo-se a diferença entre os valores observados e os previstos.

O ajuste do modelo foi verificado pelo coeficiente de determinação múltipla (R^2), sendo obtido pela relação entre a variação explicada (SQR) e variação total do modelo (SQT).

Esse coeficiente representa o quanto da variação da variável dependente é explicado pelas variáveis independentes, correspondendo, desta forma, a uma medida da qualidade do ajuste. Para a condição de um bom ajuste o modelo explica boa parte da variação total dos dados, o que resulta em R^2 próximo da unidade.

Porém, o uso desta expressão tem alguns inconvenientes. Considerando uma mesma amostra o seu valor cresce à medida que novas variáveis independentes são inseridas no modelo, sem levar em consideração o número de graus de liberdade perdidos a cada parâmetro estimado. Então a maximização de R^2 , não é o método mais adequado para a escolha do melhor modelo, o qual deve ser parcimonioso, deste modo, o valor de R^2 tem de ser ajustado, tendo em conta, o número de variáveis no modelo. Diante dessa premissa, foi utilizado o coeficiente de determinação ajustado (R^2_A), cuja expressão para sua determinação é dada por (3.9).

$$R^2_A = 1 - \left[(1 - R^2) \frac{n - 1}{n - k - 1} \right] \quad (3.9)$$

em que n é o número de observações das variáveis do modelo e k o número de variáveis independentes.

A existência de regressão linear múltipla em um modelo pode ser testada visando realizar previsões ou estimativas para uma determinada variável dependente com certa segurança. Para isso foi utilizado o teste “F”, que permite verificar se o modelo de regressão é globalmente significativo, porém este teste não indica se todas as variáveis são significativas, ou quais delas são mais importantes. Neste sentido, foi verificado se cada parâmetro é individualmente significativo tendo em conta a presença de outras variáveis explicativas, por meio do teste “t”.

A concordância ou exatidão entre os valores observados e estimados pelo modelo foi expressa pelo índice “d” proposto por Wilmott *et. al.* (1985), conforme expressão (3.10):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{esti} - Y_{obsi})^2}{\sum_{i=1}^n \left(|Y_{esti} - \bar{Y}_{obs}| + |Y_{obsi} - \bar{Y}_{obs}| \right)^2} \right] \quad (3.10)$$

em que Y_{esti} corresponde ao i -ésimo valor previsto ou estimado, Y_{obsi} o i -ésimo valor observado e \bar{Y}_{obs} a média dos valores observados. A concordância se refere à aproximação dos dados estimados aos observados, sendo avaliada pelo afastamento dos pontos cotados no gráfico de regressão em relação à reta de valores iguais, 1:1.

Em resumo, o índice “d”, com variação entre 0 e 1, indica o grau de exatidão entre valores estimados e observados, com a ressalva de que, quanto mais próximo de um (1), melhor a exatidão do modelo em estimar a variável dependente, ao passo que o “R²” indica a precisão do modelo, ou seja, quanto da variação da variável dependente é explicada pelas variáveis independentes.

No sentido de analisar os indicadores criados como variáveis explicativas do rendimento das culturas os efeitos da tecnologia foram removidos da série original de rendimento agrícola, resultando em uma série corrigida do rendimento agrícola. A tendência tecnológica do rendimento agrícola de cada região homogênea foi determinada pela expressão (3.11):

$$Y_{ci} = Y_i - (Y_{xi} - Y_o) \quad (3.11)$$

em que Y_{ci} representa o rendimento agrícola corrigido, Y_i é o rendimento original do ano i ; Y_{xi} rendimento do ano i estimado pelo modelo de regressão linear; Y_o é o rendimento do primeiro ano da série histórica estimado pela regressão.

O software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) foi utilizado nas fases de análise estatística (análise exploratória, componentes principais, agrupamento e análise multivariada). Os modelos de semivariograma foram ajustados interativamente no programa VARIOWIN 2.2. O software SURFER – *Surface Mapping System* (SURFER, 1995) foi utilizado no processo de interpolação por “krigagem” da precipitação mensal.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

Para analisar e modelar a estrutura de variabilidade espacial da precipitação sobre o Estado do Maranhão aplicou-se a técnica de análise geoestatística, com base nos semivariogramas mensais, para identificar os modelos teóricos de ajuste, bem como para realizar a interpolação por krigagem.

4.1.1 - Análise exploratória da precipitação pluvial

A análise exploratória dos dados foi utilizada como ferramenta para identificar padrões de comportamento da precipitação quanto aos aspectos de normalidade. De acordo com a Tabela 4.1, que retrata os valores médios mensais de precipitação pluvial entre 1985 e 2004 no Estado do Maranhão, nos meses de novembro a maio são verificados os maiores totais, com os menores ocorrendo nos meses de junho a outubro, consistentes com os padrões climatológicos regional. Os meses de junho, julho e agosto mostram maior variabilidade, avaliada pelo coeficiente de variação, a qual é explicada pela não ocorrência de chuvas no Centro-Sul, em contrapartida, com precipitações relativamente altas no Centro-Norte do estado. Para os meses de verão a maior uniformidade da distribuição da precipitação em todo estado se reflete nos menores valores do coeficiente de variação. Esses fatos ressaltam a variabilidade espacial da precipitação sobre o Estado do Maranhão.

Nota-se tendência à simetria da precipitação nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, setembro, outubro, novembro e dezembro, cujos coeficientes de assimetria foram inferiores a 1; e tendência à assimetria para os meses de junho, julho e agosto, de acordo com os coeficientes de assimetria superiores a 1, como verificados na Tabela 4.1.

A Figura 4.1 reforça essa tendência, conforme verificado pela distribuição dos pontos em torno da reta normal e dentro dos limites de tolerância de 95%. O afastamento das condições de simetria nos meses de junho, julho e agosto decorre da maior variabilidade espacial da precipitação sobre o Estado nesses meses, conforme indicado pelo coeficiente de variação.

Dessa maneira, as características da precipitação quanto à variabilidade espacial nos meses de maior ocorrência de chuvas, onde se concentra a produção agrícola do Estado,

apresentam condições relativamente favoráveis para a aplicação da técnica geoestatística. Para o período seco, os dados não apresentaram condições ótimas para a aplicação da geoestatística, apesar de não ser uma condição limitante, que poderia prejudicar o ajuste do semivariograma, pois a assimetria é acentuada, como discutido em Guimarães (2005). Nos casos em que a assimetria é acentuada, esse autor sugere que seja feita uma transformação dos dados ou que se utilize outra metodologia para se calcular as semivariâncias experimentais.

Como neste estudo o foco são os meses da estação de cultivo (setembro a maio), quando foram verificadas condições aproximadamente simétricas, o procedimento de transformação dos dados para condições de normalidade não foi realizado.

Esse padrão de distribuição da precipitação com tendência à simetria para o período chuvoso e assimetria para o período seco também foi identificado nos estudos sobre a precipitação pluvial apresentados por Zamboti (2001), Silva *et. al.* (2003), Oliveira *et. al.* (2005) e Siqueira *et. al.* (2007).

Tabela 4.1 - Coeficientes de correlação entre a precipitação pluvial e as coordenadas geográficas e parâmetros estatísticos referentes à precipitação mensal no Estado Maranhão.

Mês	Coeficientes de correlação		Parâmetros Estatísticos		
	P e Lat. (r)	P e Long. (r)	Precipitação Média	Coefficiente Assimetria	Coefficiente de Variação (%)
Jan	0,05	-0,2	222,5	0,66	12
Fev	-0,79	0,16	238,9	-0,05	23
Mar	-0,83	0,25	316,4	0,12	24
Abr	-0,91	0,36	258,4	0,02	37
Mai	-0,89	0,28	136,5	0,75	63
Jun	-0,83	0,2	55,2	1,49	100
Jul	-0,75	0,13	32,8	2,0	129
Ago	-0,66	-0,07	14,2	2,34	105
Set	0,45	-0,55	18,4	0,68	49
Out	0,85	-0,53	40,9	0,77	63
Nov	0,94	-0,51	72,9	0,67	61
Dez	0,88	-0,42	122,5	0,89	36

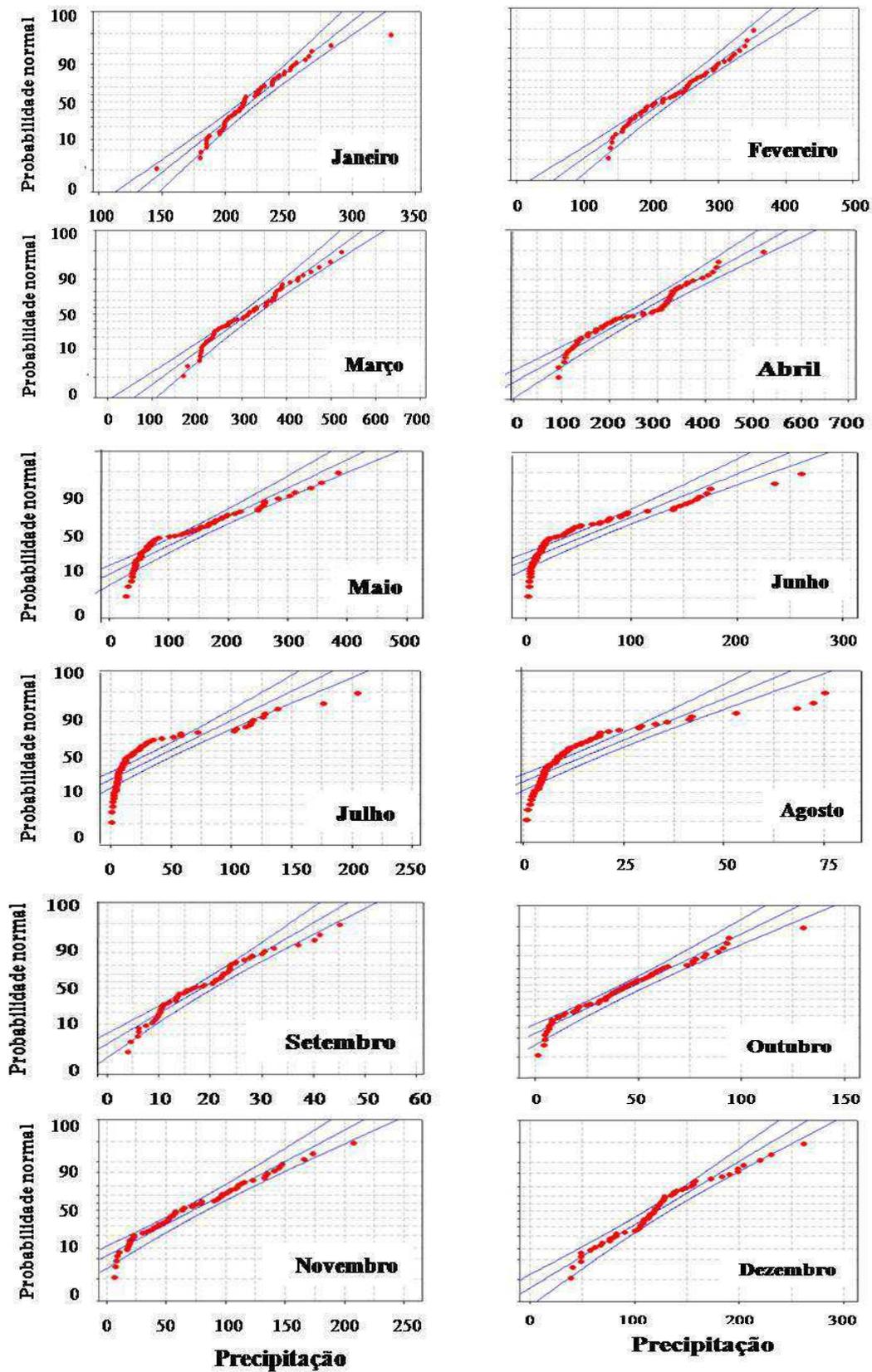


Figura 4.1 - Probabilidade de ocorrência para verificação de normalidade nos dados de precipitação mensal no Estado do Maranhão.

4.1.2 - Análise da tendência espacial da precipitação pluvial

A geoestatística se preocupa com o comportamento das chamadas variáveis regionalizadas que fundamentalmente assume que os valores dentro da área de interesse não apresentem tendência que possam afetar os resultados.

A Figura 4.2 apresenta a distribuição da precipitação mensal na direção Norte-Sul (sentido latitudinal). Constatou-se a existência de tendência nos meses de fevereiro a agosto quando os maiores totais são verificados no norte do estado diminuindo em direção ao sul, com coeficientes de correlação predominantemente negativos e significativos. Por outro lado, verificou-se nos meses de outubro a dezembro, tendência invertida, com os maiores totais se concentrando no sul, diminuindo em direção ao norte do estado, com coeficientes de correlação positivos e significativos. Estes resultados sugerem que a direção norte-sul tem forte influência na precipitação nesses meses.

Ainda na Figura 4.2, nos meses de janeiro e setembro que marcam a passagem do período seco para o chuvoso do Norte e do Sul do Estado, respectivamente, verificou-se distribuição mais uniforme da precipitação, não evidenciando tendência espacial.

Com relação à distribuição da precipitação no sentido longitudinal (Leste-Oeste), observa-se na Figura 4.3 que, em todos os meses do ano, a precipitação é mais uniforme, não evidenciando tendências. Os coeficientes de correlação entre as coordenadas longitudinais e a precipitação em cada posto pluviométrico foram baixos, o que evidencia a menor influência da longitude na precipitação.

As condições preconizadas pelos coeficientes de correlação reforçam a idéia de que a variabilidade espacial da precipitação no Maranhão tem forte influência da latitude e está de acordo com a realidade, pois o estado localiza-se em uma região de transição climática, com grande extensão latitudinal, onde o regime de chuvas é basicamente condicionado ao deslocamento meridional dos principais sistemas atmosférico produtores de chuvas, como a Zona de Convergência Intertropical, sistemas frontais e Zona de Convergência do Atlântico Sul.

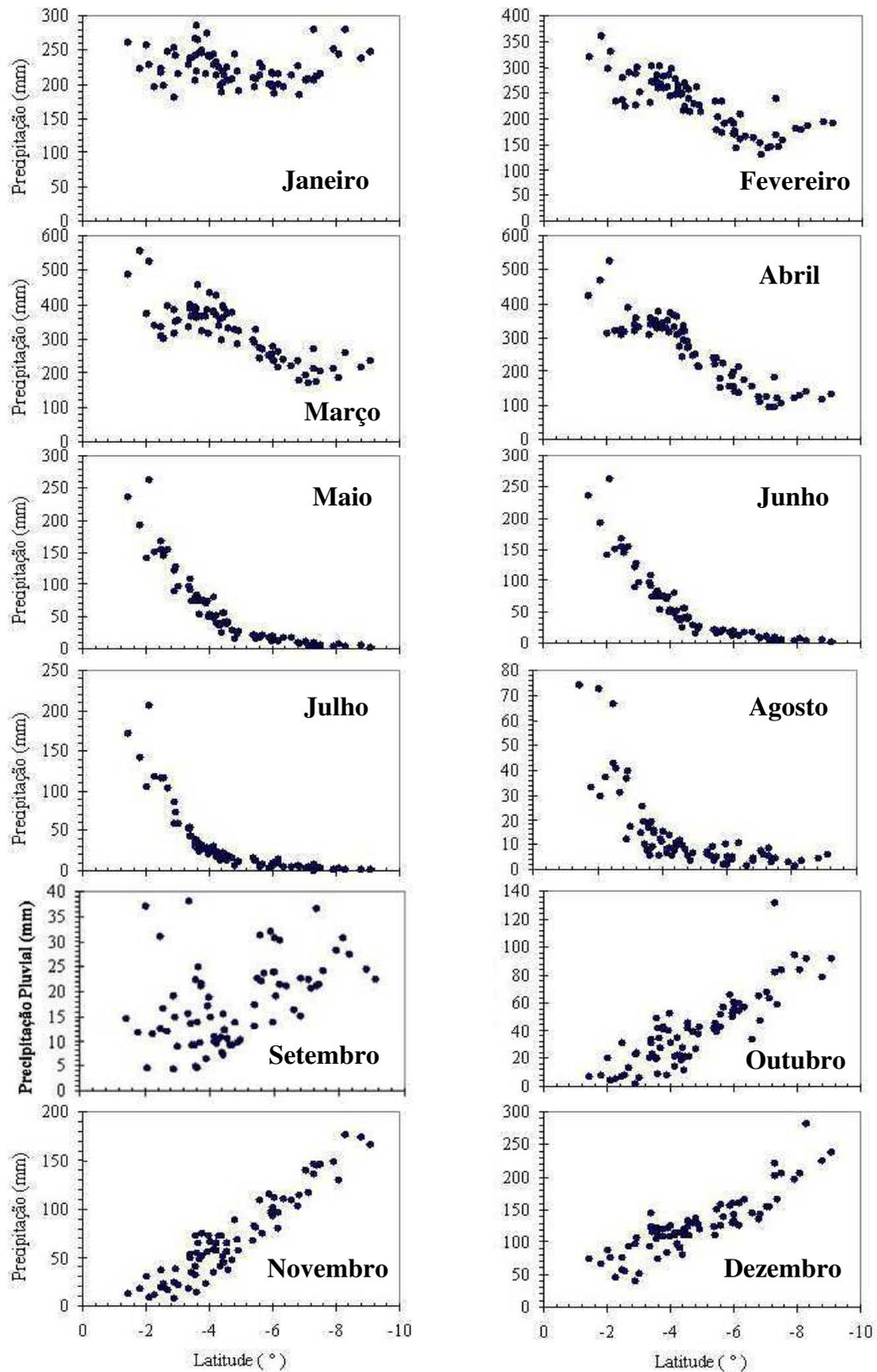


Figura 4.2 – Relação entre a precipitação mensal no Estado do Maranhão e a latitude.

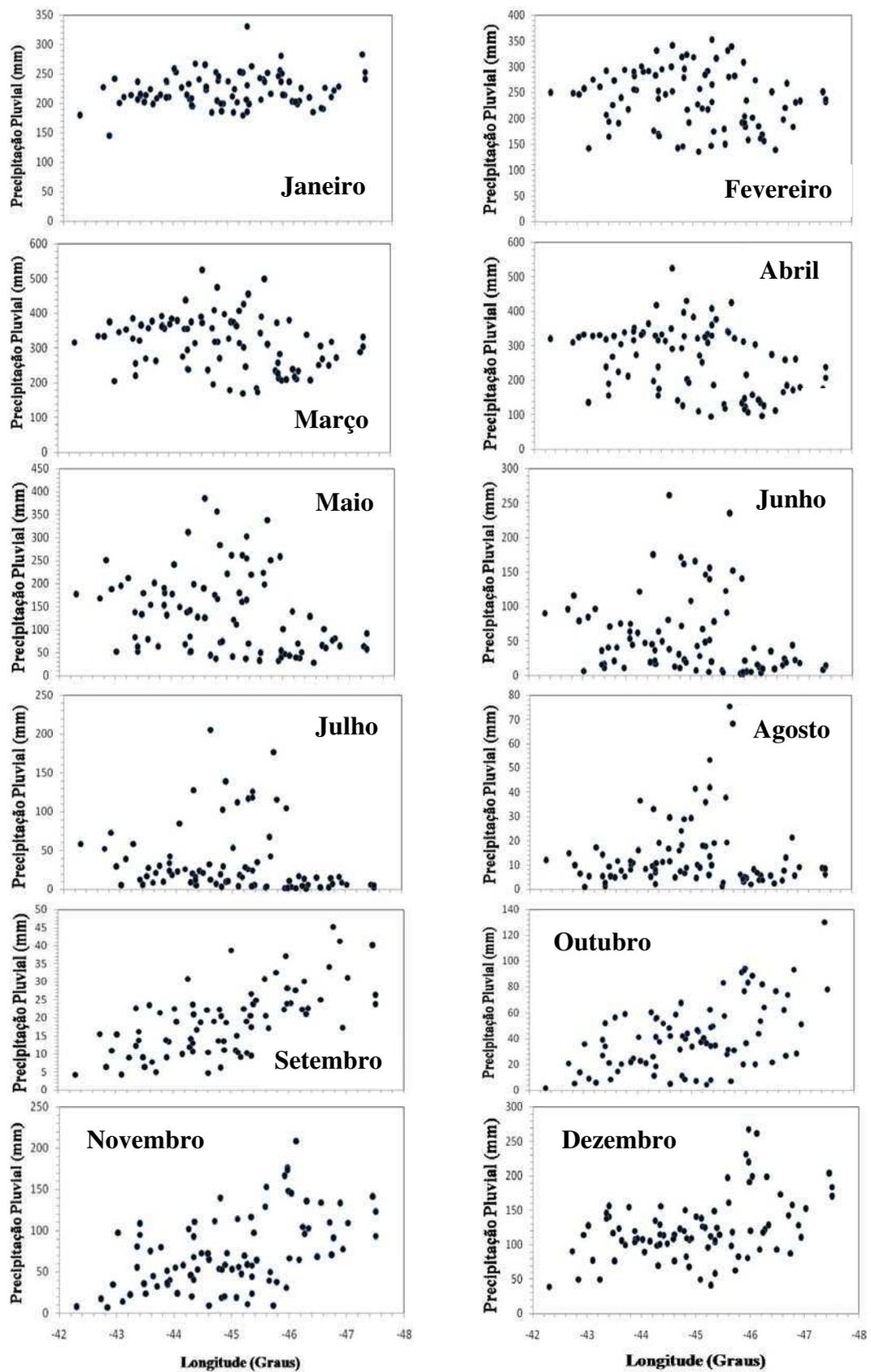


Figura 4.3 – Relação entre a precipitação mensal no Estado do Maranhão e a longitude.

4.1.3 - Análise variográfica da precipitação pluvial

Para a obtenção do variograma, que permite avaliar a estrutura de dependência espacial dos dados, supõe-se que a variável, neste caso a precipitação, tenha variação fracamente estacionária, onde os valores esperados, assim como sua covariância espacial, sejam os mesmos em uma determinada área.

Portanto, é necessário que os valores dentro da área de interesse não apresentem tendência que possam afetar os resultados, o que não fica evidente neste estudo, pois a precipitação apresenta variação sistemática, principalmente no sentido latitudinal, considerando-se os meses de fevereiro a agosto, quando os valores mais altos de precipitação pluviométrica se concentram no centro-norte do estado, e os meses de outubro a dezembro, com totais pluviométricos menores sendo observados no centro-sul, conforme evidenciado na seção anterior. Essa tendência na distribuição dos totais de precipitação pode afetar o ajuste do semivariograma fazendo com que a definição do patamar não seja clara.

Nesse sentido, para estudar a variabilidade espacial da precipitação nesses meses utilizou-se da geoestatística para situações não estacionárias, em que a inferência é feita basicamente sobre os resíduos resultantes da remoção da tendência espacial, conforme sugerido por Landim (2002).

Os mapas de superfície variográfica dos valores de precipitação mensal, espacialmente distribuídos para detectar as direções preferenciais de variabilidade, mostraram que os semivariogramas para os meses de janeiro e setembro têm a propriedade de possuir a mesma estrutura de dependência espacial em todas as direções caracterizando aproximadamente uma condição de isotropia, em que a variabilidade é idêntica em todas as direções (Figuras 4.4a e 4.4i). Porém, os meses de fevereiro a agosto e outubro a abril apresentaram variação anisotrópica (variabilidade diferentes em todas as direções), conforme apresentado no mapa da superfície variográfica (Figuras 4.4b a 4.4l).

Cabe esclarecer que o programa que realiza a análise variográfica (VARIOWIN) considera as direções Leste-Oeste (0°), Nordeste-Sudoeste (45°), Norte-Sul (90°) e Noroeste-Sudeste (135°). Dessa maneira, em fevereiro (Figura 4.4b), o eixo de maior variabilidade da precipitação correspondeu à direção Norte-Sul, mantendo-se nos meses de março e abril (Figuras 4.4c e 4.4d), com ligeira inclinação para a direção Nordeste-Sudoeste.

Nos meses de maio a agosto (Figuras 4.4e a 4.4h) há uma inversão do eixo de maior variabilidade para a direção Noroeste-Sudeste. O eixo de menor variabilidade da precipitação se manteve na direção Leste-Oeste, para os meses de fevereiro a julho (Figura 4.4 a 4.4g). Por outro

lado, para o mês de agosto (Figura 4.4h) o eixo de menor variabilidade da precipitação direciona-se para a posição Nordeste – Sudoeste.

O eixo de maior variabilidade, principalmente nos meses de fevereiro a maio, sugere uma associação ao movimento migratório da Zona de Convergência Intertropical em direção ao Norte do Estado do Maranhão.

Nos meses de outubro a dezembro há uma inversão do eixo de maior variabilidade da precipitação em relação aos meses de fevereiro a agosto, predominando na direção Nordeste-Sudoeste. Verifica-se também a inversão do eixo de menor variabilidade da precipitação para a direção Noroeste-Sudeste, em relação a agosto, com ligeira tendência do mesmo se posicionar na direção Leste-Oeste no mês de dezembro.

A anisotropia evidenciada pela investigação conduzida mostrou que a direção de maior continuidade espacial do fenômeno coincidiu com a direção de avanço da maior parte das chuvas nesses meses, as quais são condicionadas pelos principais sistemas meteorológicos atuantes.

Ressalta-se que a anisotropia é uma característica muito frequente nos elementos da natureza, isto é, a variabilidade ou distribuição espacial de tais elementos ocorre mais intensamente numa direção e menos intensamente em outra direção. No caso do mapeamento da precipitação, ao longo de uma região extensa, é pouco provável que ela se espalhe igualmente em todas as direções, haja visto que sua distribuição depende de alguns fatores dentre os quais se podem citar a posição geográfica, a extensão territorial, as características físicas da superfície e a atuação dos diferentes sistemas atmosféricos.

De acordo com o exposto, constatou-se que a análise variográfica da precipitação mensal apresentou-se estruturada espacialmente, ou seja, existiu uma função estrutural, com semivariância modelável.

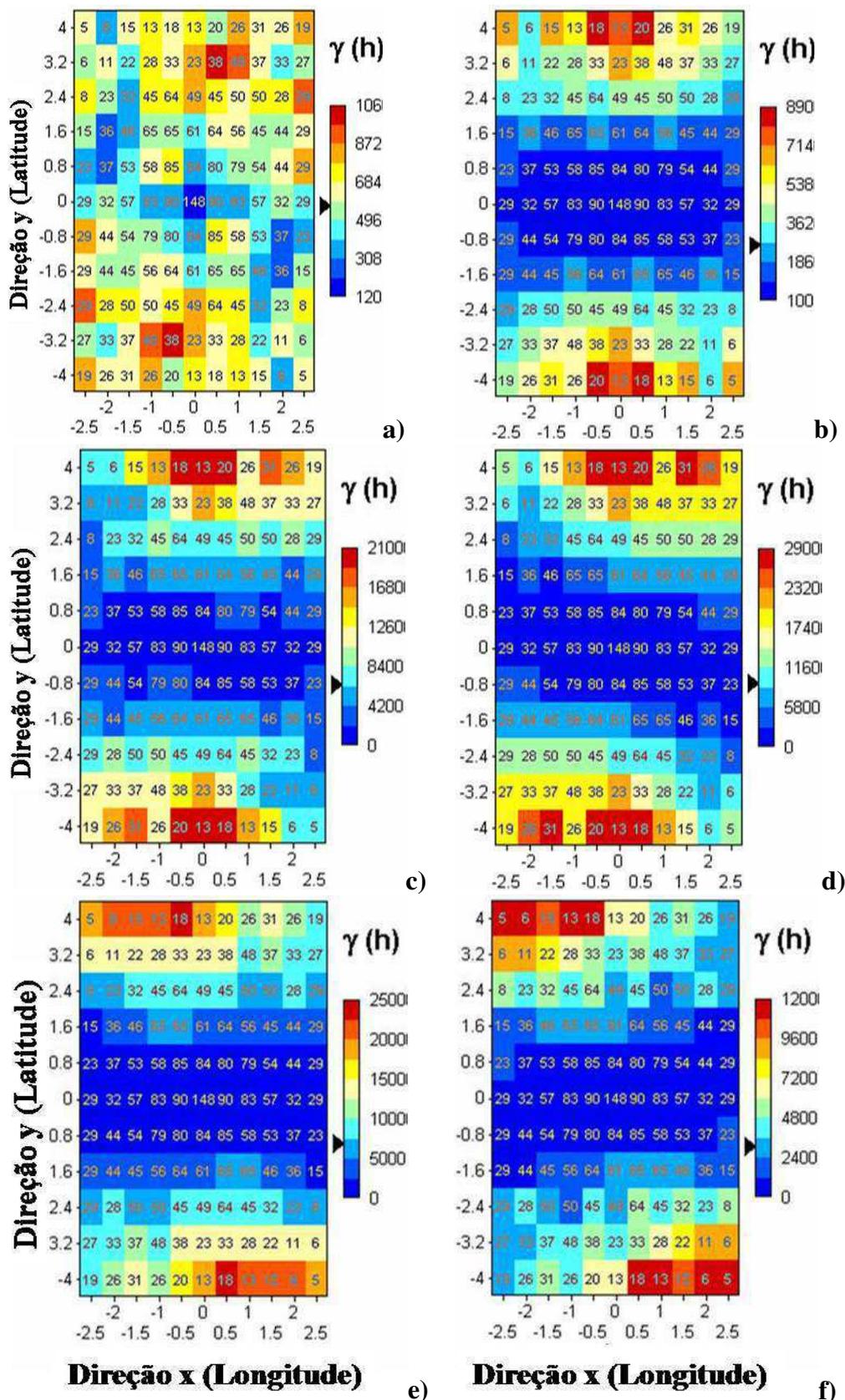


Figura 4.4 - Mapa Variográfico da Precipitação mensal no Estado do Maranhão: a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro e l) dezembro.

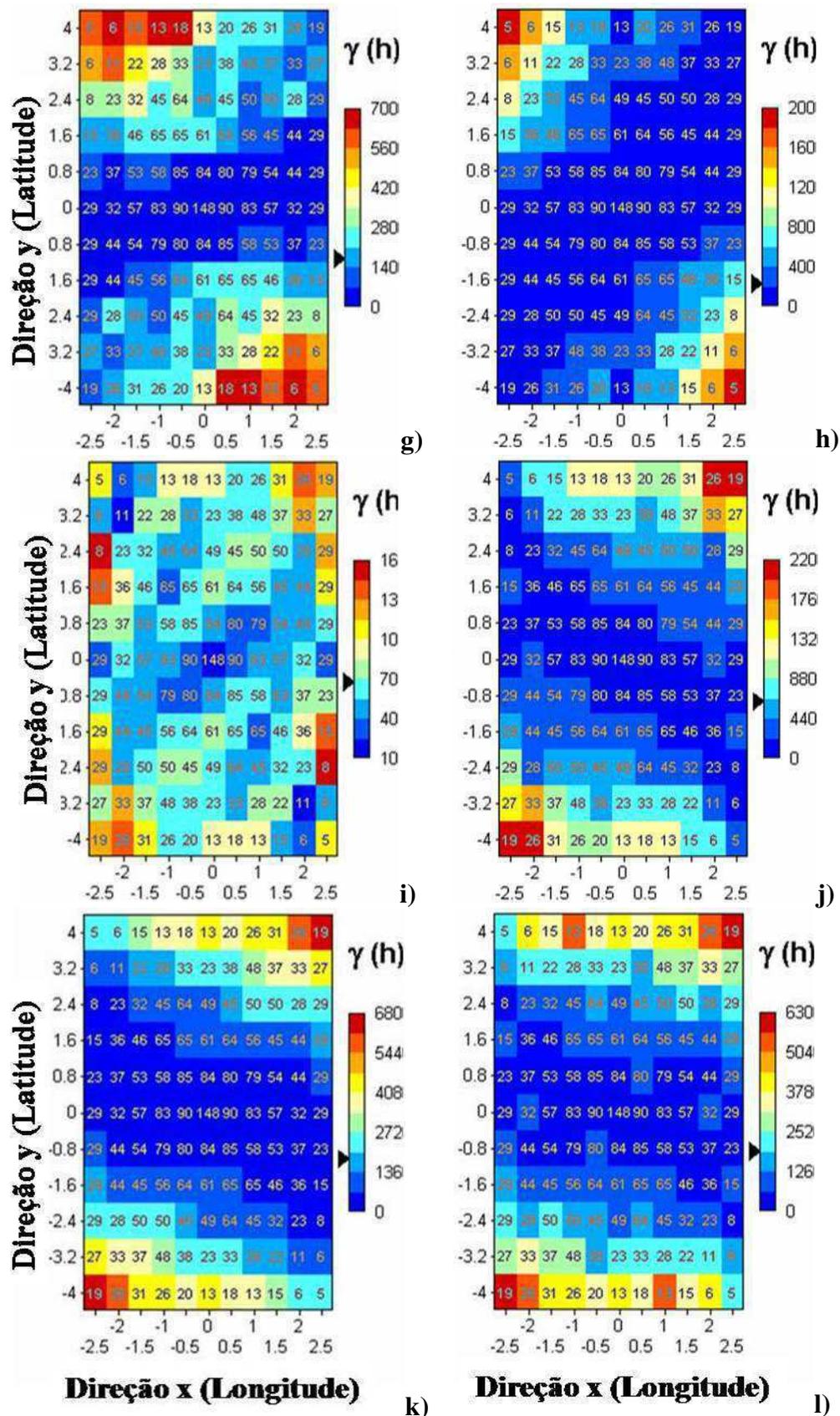


Figura 4.4 - Continuação: Mapa Variográfico da Precipitação mensal no Estado do Maranhão: a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, k) novembro e l) dezembro.

A precipitação mensal apresentou dependência espacial, uma vez que em nenhum dos meses se verificou efeito pepita puro o que determinaria uma distribuição aleatória da precipitação. O efeito pepita (C_0) reflete a descontinuidade entre valores separados por distâncias menores do que a usada no intervalo de amostragem, assim, quanto maior for o seu valor, mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão, neste caso a precipitação.

Na Figura 4.5 estão representados os modelos de semivariogramas teóricos ajustados aos dados. No caso da precipitação dos meses de janeiro e setembro o modelo de semivariograma teórico isotrópico exponencial foi o que permitiu melhor ajuste ao semivariograma experimental, segundo Índice de Qualidade do Ajuste (IQA). O alcance (A_0) de dependência espacial para o mês de janeiro ($1,76^\circ$) foi menor que aquele referente ao mês de setembro ($3,64^\circ$). Isso demonstra que no mês de janeiro a precipitação se distribui de forma mais homogênea em uma área de menor raio, e que no mês de setembro há maior descontinuidade na distribuição espacial da precipitação.

Na análise da intensidade de dependência espacial, que objetiva facilitar a comparação do grau de dependência espacial, utilizou-se critérios sugeridos por Cambardella *et al.* (1994) e modificados por Zimback (2001), para modelos com patamar, ou seja, o índice de dependência espacial, o qual foi calculado pela razão entre a semivariância espacial (C) e o patamar ($C+C_0$), dado em porcentagem. No caso da precipitação dos meses de janeiro e setembro (Figura 4.5), únicos meses em que os modelos apresentaram patamar, o índice de dependência espacial foi de 0,85 e 0,92, sendo classificado como de forte dependência.

Tendo em vista que a maior variabilidade da precipitação nos meses de fevereiro a agosto e outubro a dezembro ocorreu em direções diferentes, de acordo com o mês analisado, foram obtidos variogramas nessas direções com abertura angular de 45° .

Para os meses de fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro (Figura 4.5), a precipitação apresentou estrutura de dependência espacial revelada pelo modelo potência sem patamar, segundo IQA, o qual foi o que melhor se ajustou, indicando que a precipitação nesses meses apresenta tendência, reforçando a análise anterior, onde se verificou presença de tendência espacial no sentido latitudinal.

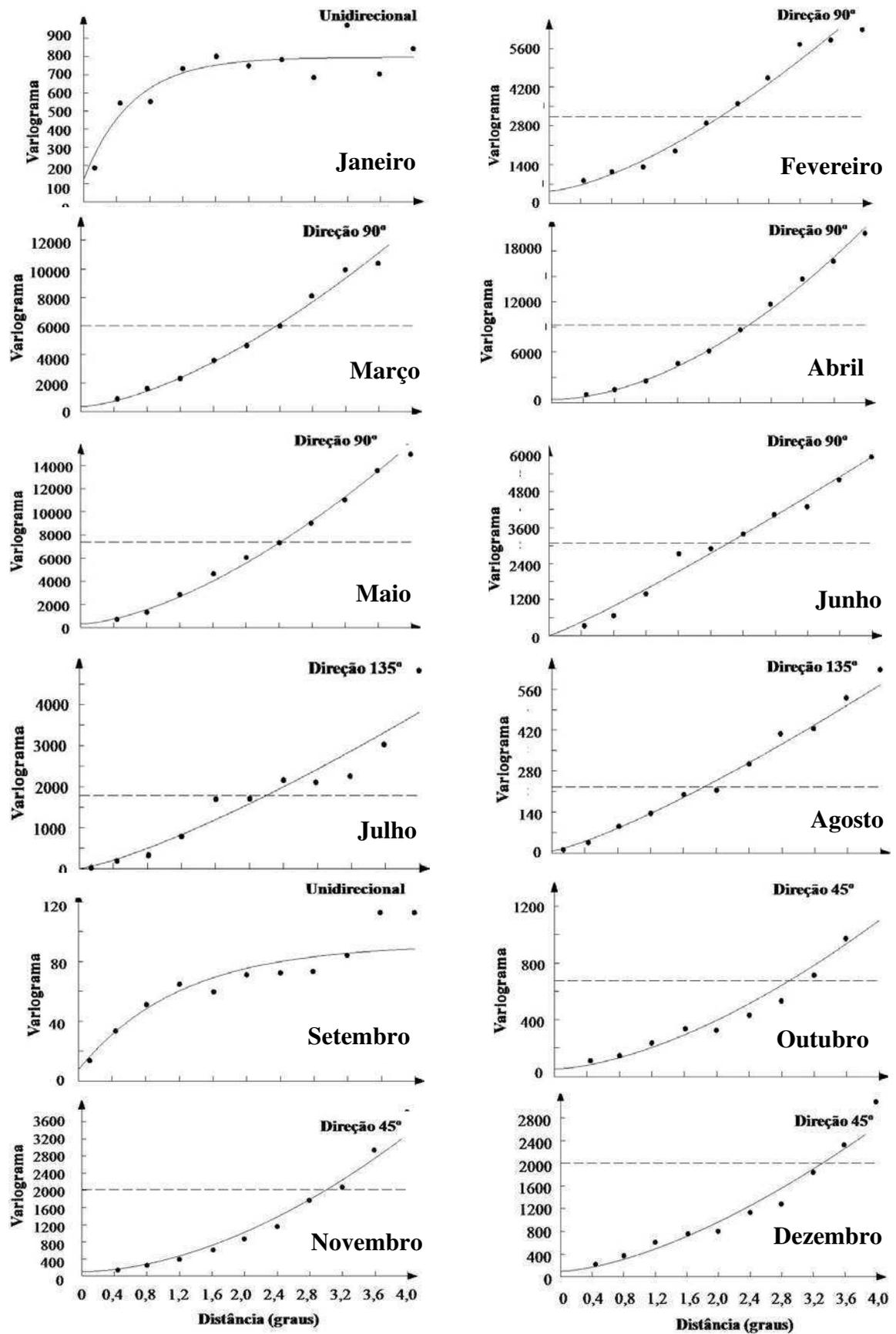


Figura 4.5 - Variogramas da precipitação mensal no Estado do Maranhão.

Como a distribuição dos dados mostrou uma tendência regional de decréscimo dos totais pluviométricos em direção ao sul do estado para os meses de fevereiro a agosto e decréscimo para o Norte nos meses de outubro a dezembro foi efetuada a subtração da tendência espacial dos dados através de uma regressão polinomial. Nesses casos, os variogramas foram construídos com os resíduos das tendências. Da mesma forma, as “krigagens” foram realizadas com os valores dos resíduos, os quais foram incorporados posteriormente aos respectivos mapas de tendência para obter a distribuição espacial da precipitação.

A partir do polinômio de primeira ordem gerou-se uma superfície de tendência condizente com o esperado para os dados. Os mapas da superfície de tendência mostram os valores mais elevados na porção Norte do Estado, com tendência de decréscimo para Sudeste, nos meses de fevereiro a agosto (Figuras 4.6). Ainda segundo a Figura 4.6, os meses de outubro a dezembro, a superfície de tendência apresentou totais pluviométricos mais elevados no Sul, decrescendo em direção ao Norte do Estado.

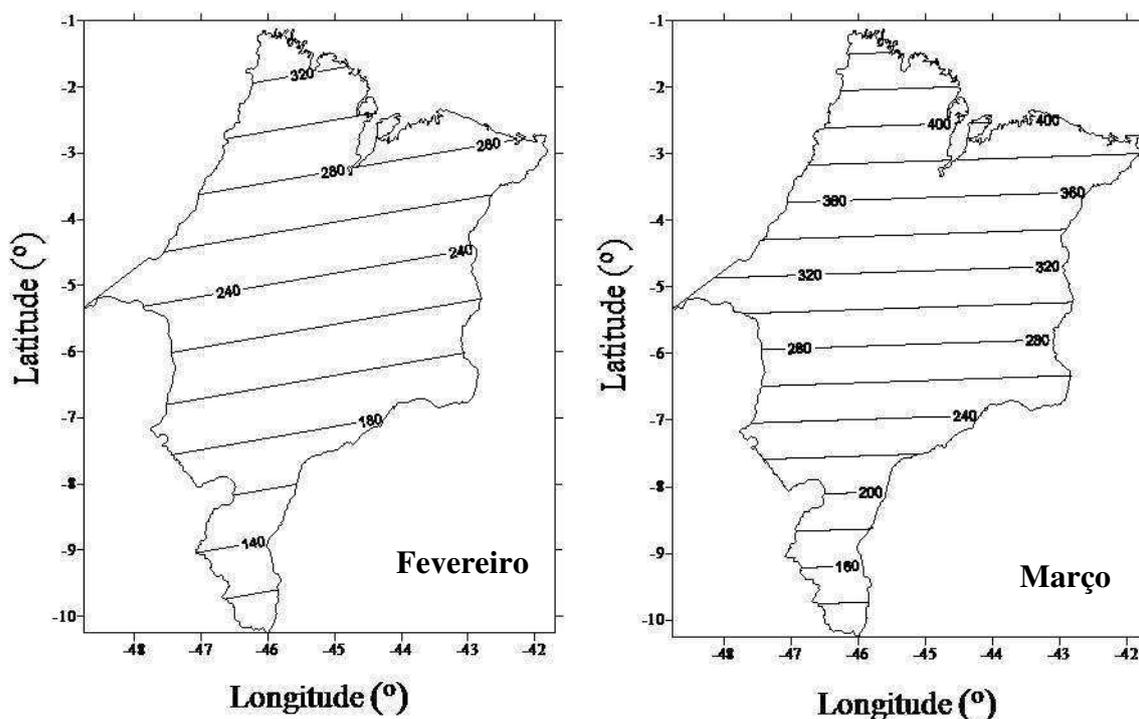


Figura 4.6 - Distribuição espacial da tendência da precipitação mensal no Estado do Maranhão.

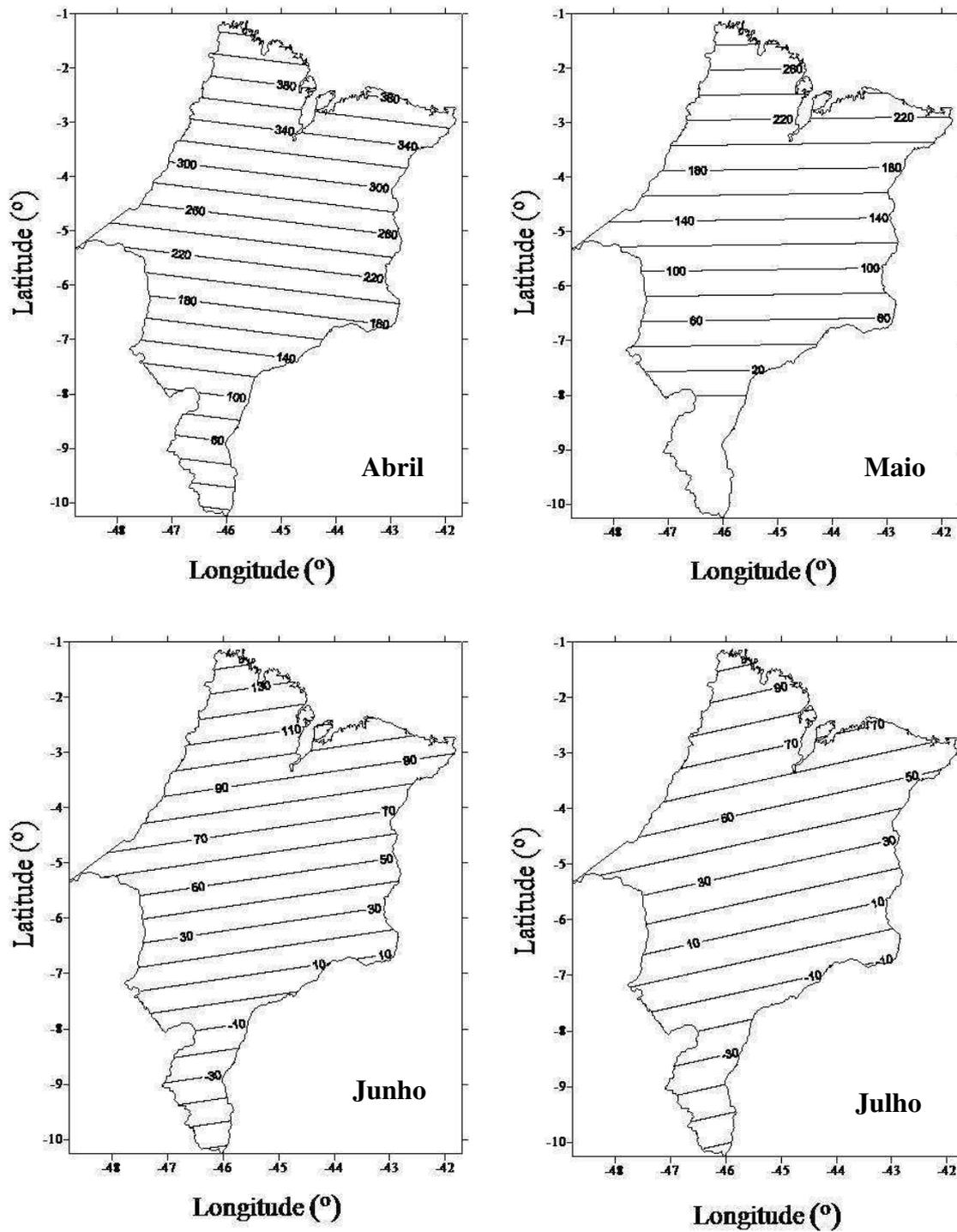


Figura 4.6 – continuação: Distribuição espacial tendência da precipitação mensal no Estado do Maranhão.

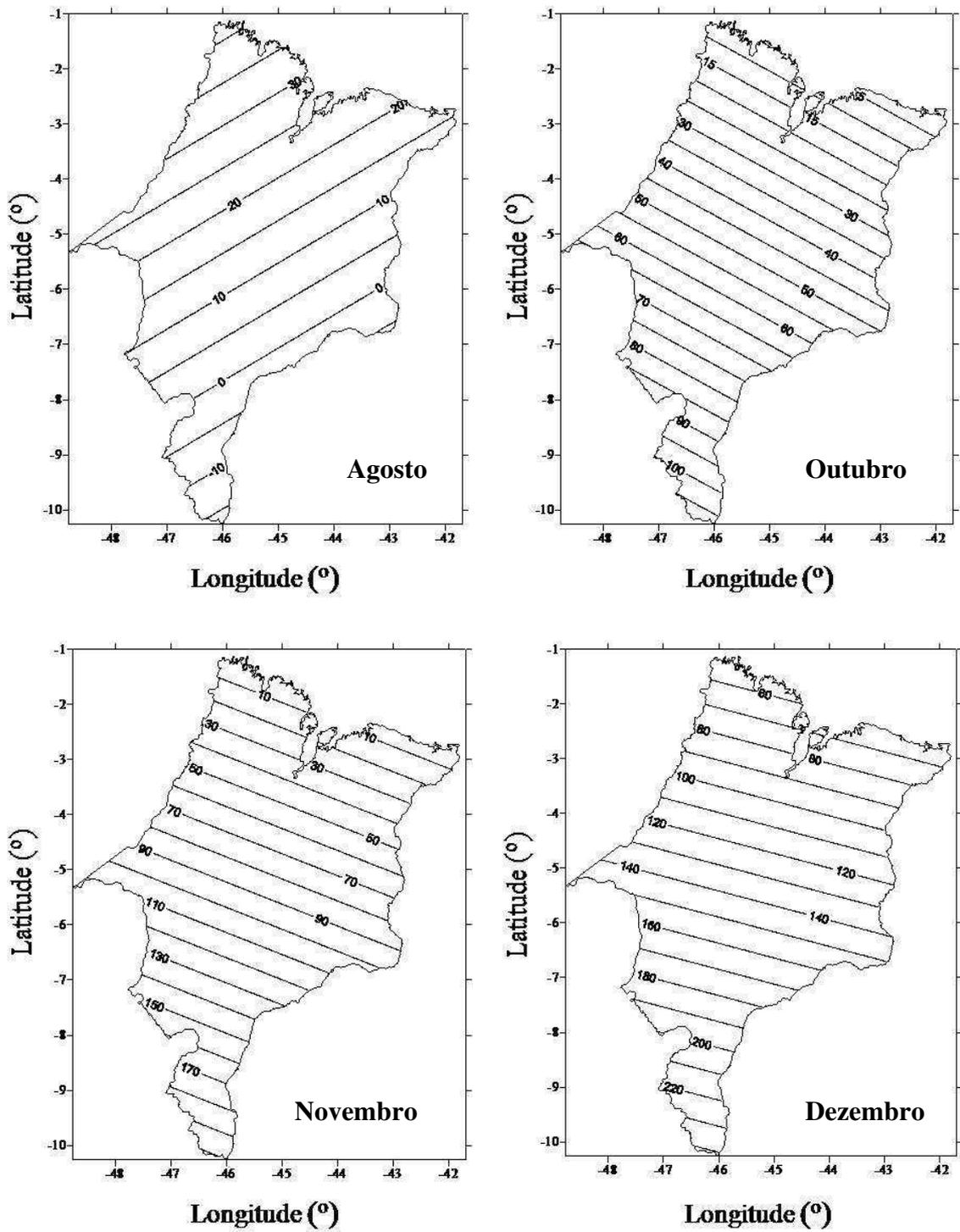


Figura 4.6 – Continuação: Distribuição espacial da tendência da precipitação mensal no Estado do Maranhão.

Foram calculados os variogramas experimentais para os meses que apresentaram anisotropia em quatro direções distintas: 0° (Leste-Oeste), 45° (Nordeste-Sudoeste), 90° (Norte-Sul) e 135° (Noroeste-Sudeste) com abertura angular de 45°. Os variogramas mostraram predominantemente anisotropia zonal, devido à diferença na altura dos patamares para as direções de maior e menor variabilidade, conforme verificado na Figura 4.7.

Para a modelagem de anisotropia zonal da precipitação para os meses de fevereiro a agosto e outubro a dezembro escolheu-se inicialmente os variogramas com o maior e o menor patamar referente a cada mês, conforme proposto em Landim (2002), assumindo que o efeito pepita seja igual ou inexistente.

Uma vez estabelecido os modelos, em ambas as direções, o próximo passo foi combiná-los num único modelo consistente para todas as direções. Os modelos variográficos anisotrópicos resultante, segundo o melhor ajuste, foram predominantemente exponenciais, exceto para o mês de agosto, onde o ajuste foi feito pelo modelo esférico. Os modelos ajustados consistem em variogramas médios entre as direções de maior e menor variabilidade, Figuras 4.7.

Na análise da intensidade de dependência espacial, para modelos com patamar, os resíduos da precipitação nos meses de fevereiro a agosto e outubro a dezembro apresentaram índice de dependência espacial acima de 0,85, sendo, portanto classificados como forte.

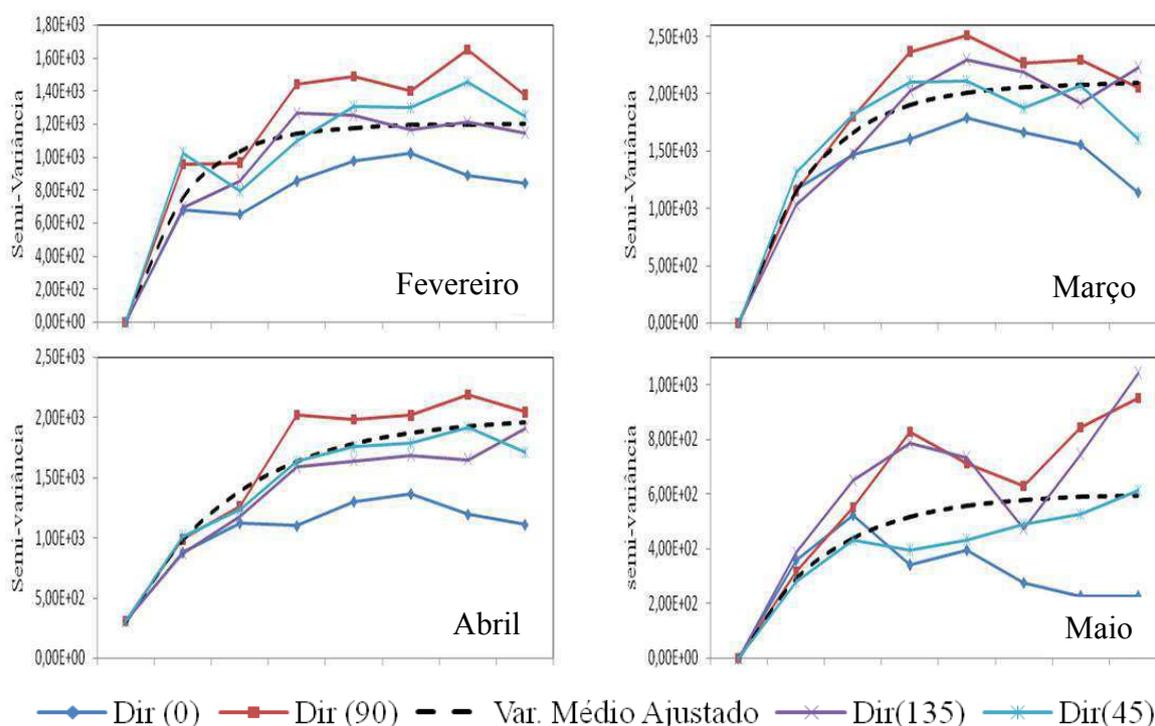
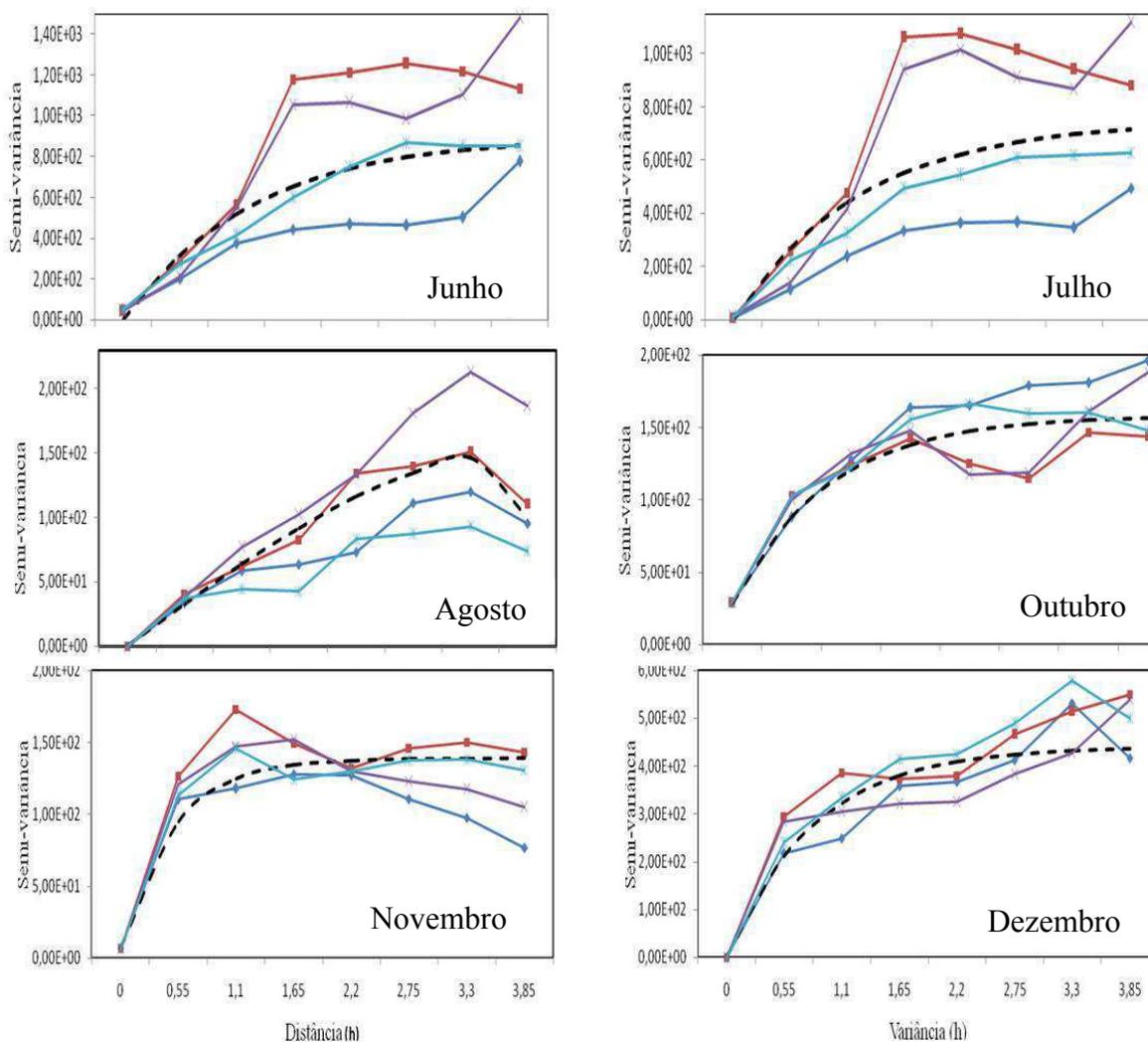


Figura 4.7 - Variogramas dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.



—●— Dir (0) —■— Dir (90) - - - Var. Médio Ajustado —×— Dir(135) —*— Dir(15)

Figura 4.7 – Continuação: Variogramas dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.

Depois de ajustados os modelos, efetuou-se a “krigagem” ordinária dos resíduos de precipitação nos meses de fevereiro, março, abril, maio, junho, julho, agosto, outubro, novembro e dezembro, cuja distribuição espacial é observada na Figura 4.8. Estes resultados referem-se aos valores residuais, havendo necessidade de uma correção para a obtenção da interpolação dos valores de precipitação para os respectivos meses. Isso foi feito acrescentando ao mapa de “krigagem” residual o mapa de tendência linear anteriormente obtido (Figura 4.6).

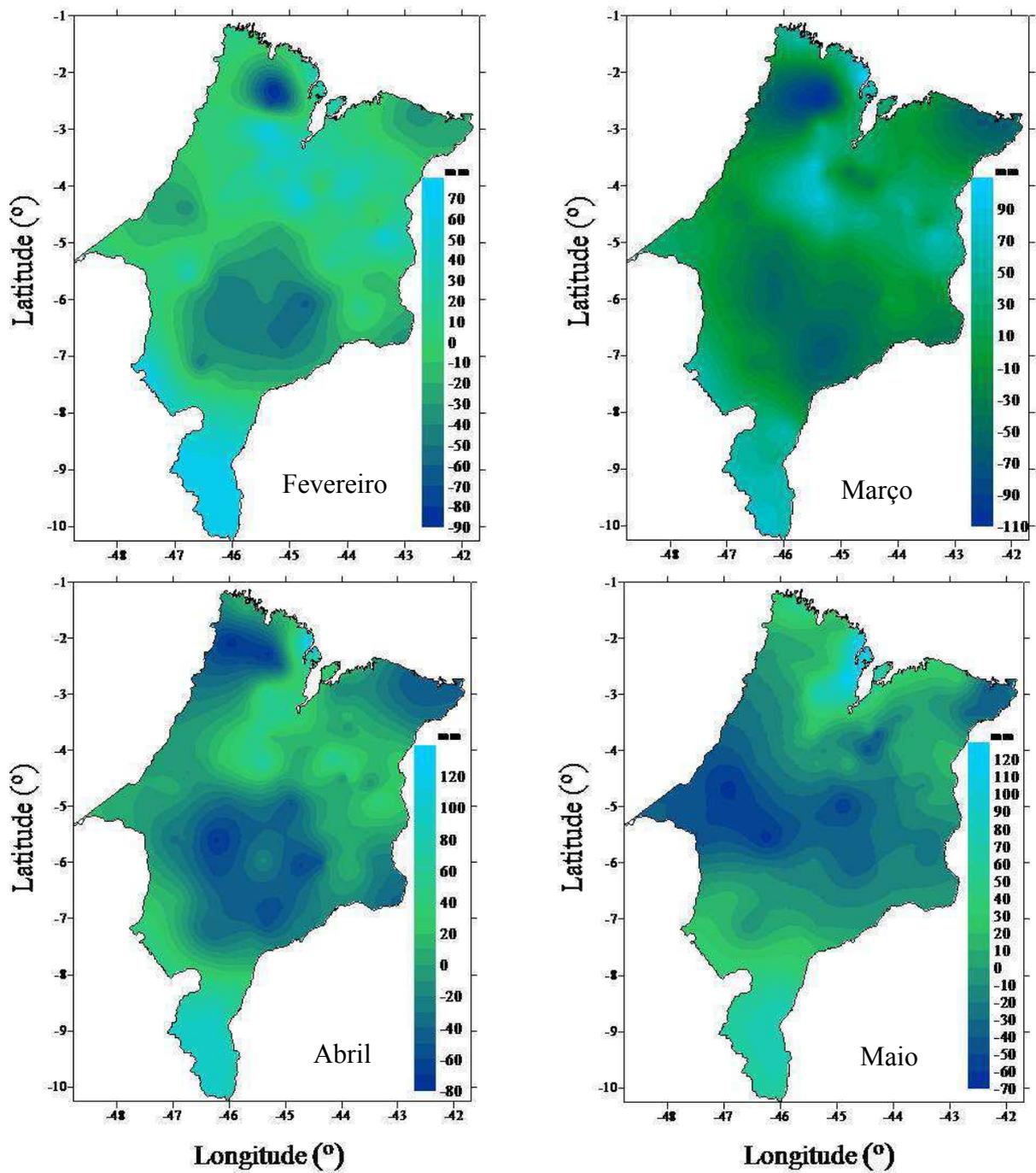


Figura 4.8 – Distribuição espacial dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.

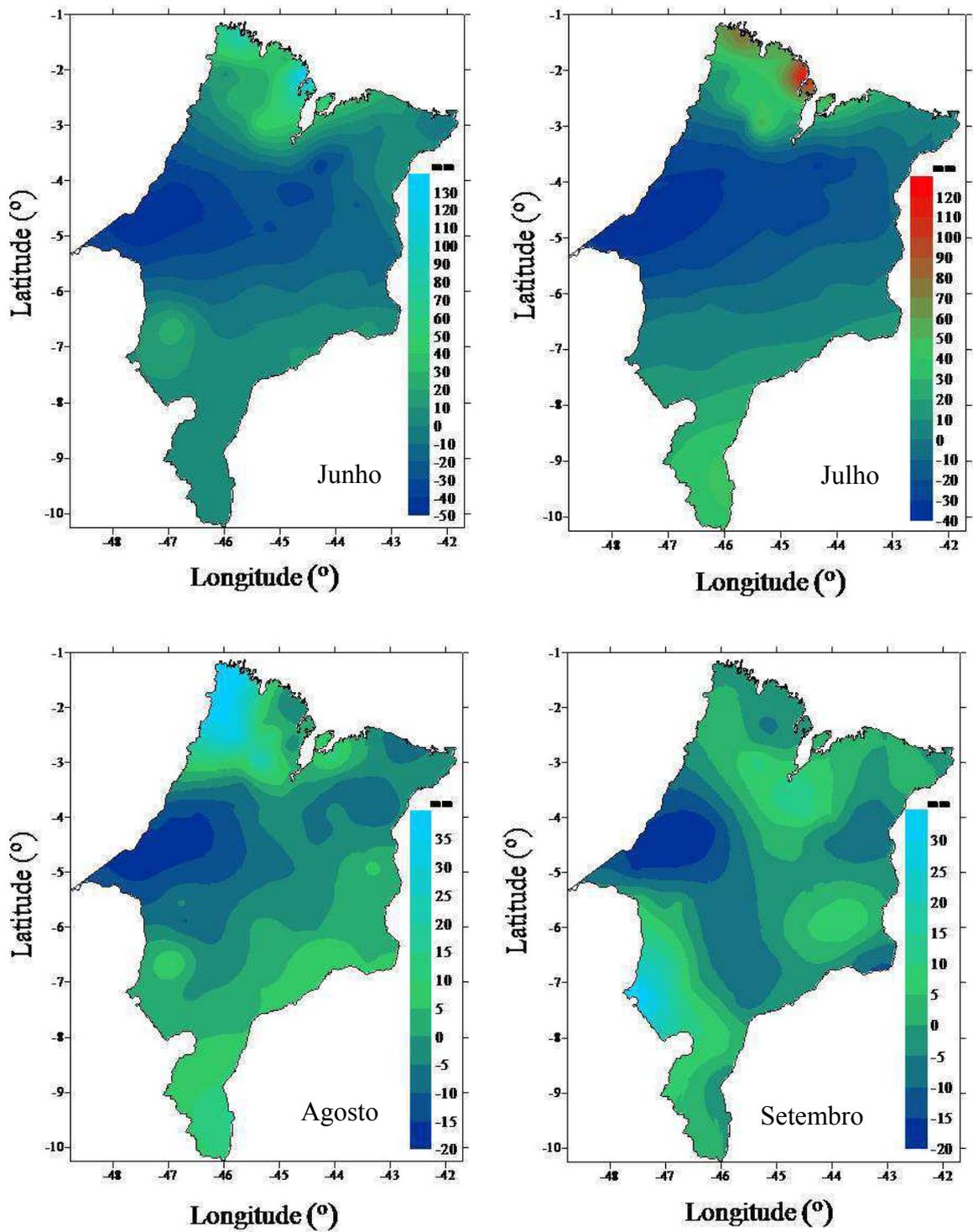


Figura 4.8 – Continuação: Distribuição espacial dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.

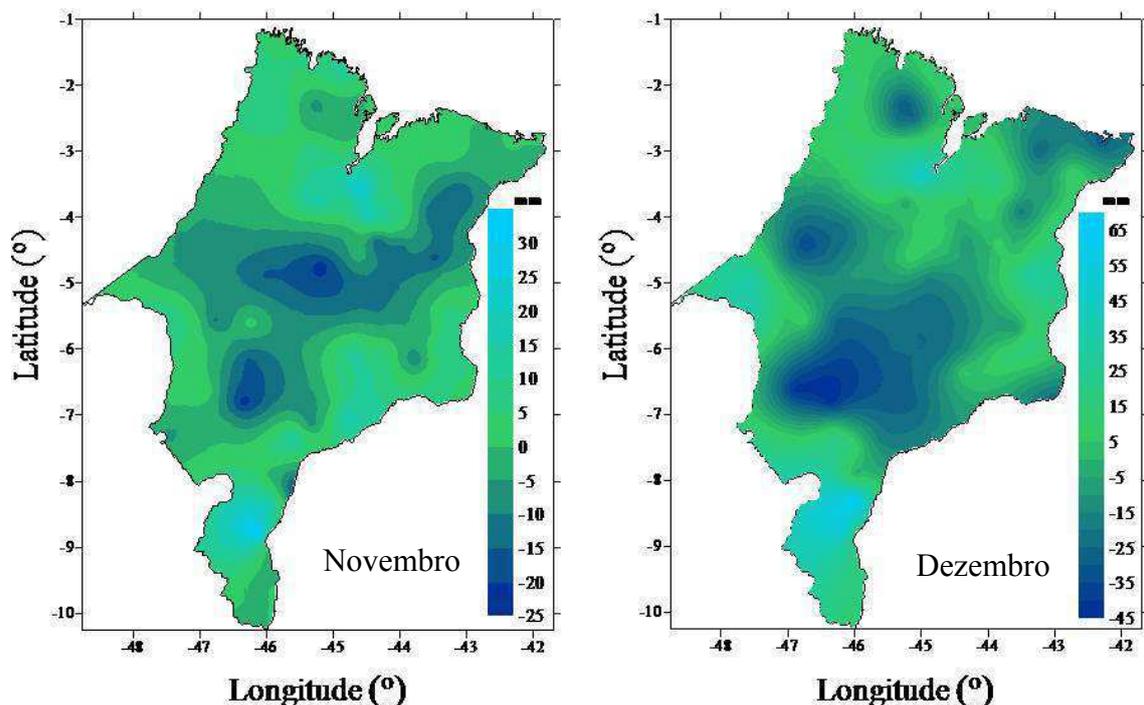


Figura 4.8 – Continuação: Distribuição espacial dos resíduos de precipitação para os meses que apresentaram tendência no Estado do Maranhão.

Nas Figuras 4.9 e 4.10 são apresentados, respectivamente, a distribuição espacial da precipitação sobre o Estado do Maranhão, resultante da interpolação, e os erros padrões das estimativas.

A distribuição espacial da precipitação resultante da interpolação por krigagem ordinária para situações em que os dados apresentam tendência regionalizada (Figura 4.9) e por krigagem ordinária aplicada diretamente nos dados de precipitação (não mostrado), não apresentaram grandes diferenças. Os totais pluviométricos apresentam seus maiores valores no Centro-Norte do Estado, com os menores valores concentrados no Centro-Sul, entre fevereiro e agosto, conforme visto na Figura 4.9. Nessa mesma Figura, nos meses de outubro a dezembro, há uma inversão desses totais, com os maiores valores no Centro-Sul e os menores no Centro-Norte do Estado. Esse padrão de distribuição está relacionado à atuação dos principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no Estado do Maranhão. No Norte, a ZCIT atuando principalmente entre os meses de fevereiro e maio, e no Sul a atuação das frentes frias ou partes delas, oriundas do Sul do Brasil, e a ZCAS, entre os meses de outubro e dezembro.

Porém, os mapas do erro padrão da krigagem com tendência (Figura 4.10), mostra que a distribuição desses valores é bem menor do que nos casos da interpolação por krigagem

ordinária aplicada diretamente nos dados de precipitação (não mostrado). Esse fato reforça a condição de que se o modelo variográfico adotado não for o correto, os erros padrões associados às estimativas por “krigagem” tornam-se maiores.

Os resultados ainda serviram para evidenciar que a densidade de estações utilizadas, bem como, a sua distribuição espacial é representativa para se analisar e modelar a estrutura de dependência espacial dos dados, permitindo a análise da variabilidade espacial da precipitação sobre o estado do Maranhão.

Porém, fica evidente, de acordo com a Figura 4.10, a necessidade de instalação de estações pluviométricas principalmente nos setores Oeste e Sul do Estado, onde foram verificados os maiores valores do erro padrão associados à estimativa da precipitação. No centro e em partes do leste maranhense os valores dos erros padrão foram intermediário, o que também indica a necessidade de melhoria da densidade da rede de observação nessas regiões.

Os resultados apresentados mostraram que as diferenças na distribuição espacial da precipitação sobre o Estado são acentuadas e que os modelos variográficos anisotrópicos relacionados a precipitação mensal no Estado do Maranhão varia mais na direção Norte-Sul, correspondente a direção da anisotropia, do que em outra direção.

Muitos aspectos particulares dos dados ficariam ocultos sem o uso de semivariogramas e da modelagem da anisotropia, mostrando, por exemplo, a tendência da distribuição espacial nos dados de precipitação. Informações como estas não são apresentadas quando se usam apenas parâmetros estatísticos clássicos como médias e variâncias ou então, procedimentos determinísticos. Esse fato mostra a importância da modelagem da anisotropia na reconstrução da distribuição espacial da precipitação sobre o Estado do Maranhão, proporcionando resultados e análises mais representativas.

Os resultados da aplicação da estatística e da geoestatística mostraram ainda que a variabilidade espacial da precipitação mensal pode ser detectada e modelada sobre o estado do Maranhão. Esse fato se deve, provavelmente, à densidade e à distribuição espacial dos pontos de coleta de dados. Revelaram ainda a viabilidade do uso da geoestatística na avaliação da distribuição espacial da precipitação e que a dependência espacial deve ser considerada em estudos que envolvam a precipitação no Estado do Maranhão. O procedimento de remoção da tendência com aplicação da análise variográfica residual permitiu estimativas mais confiáveis em relação à krigagem ordinária, pois reduziu o erro associado às estimativas.

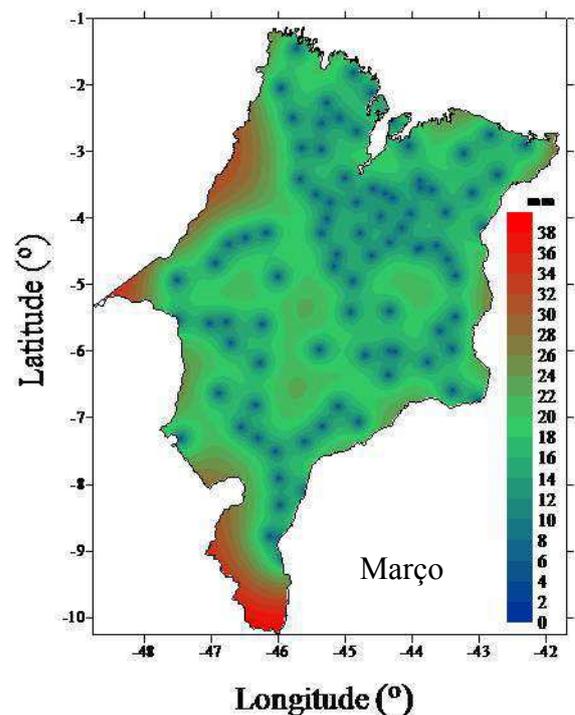
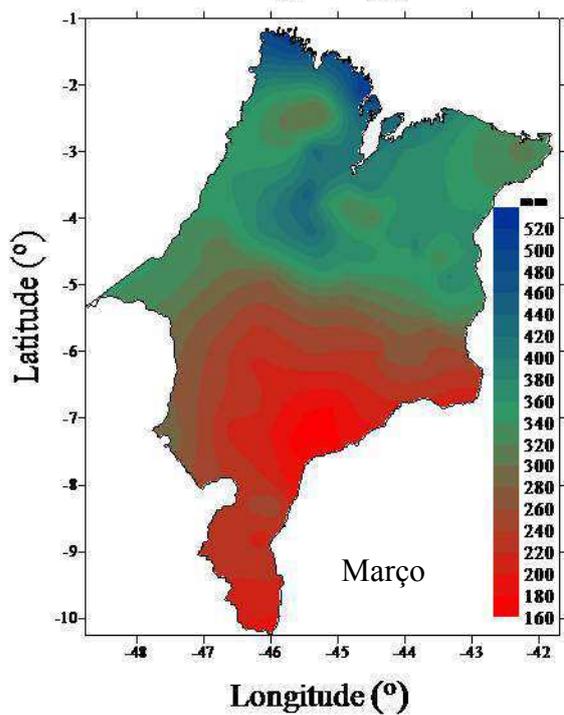
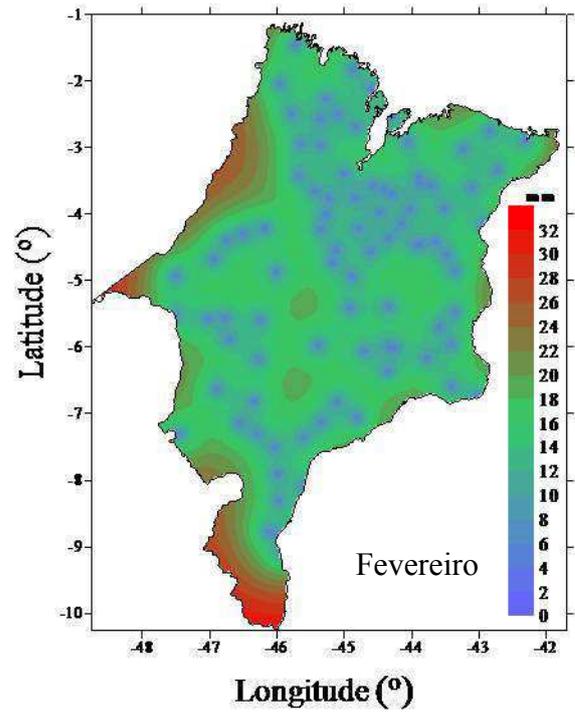
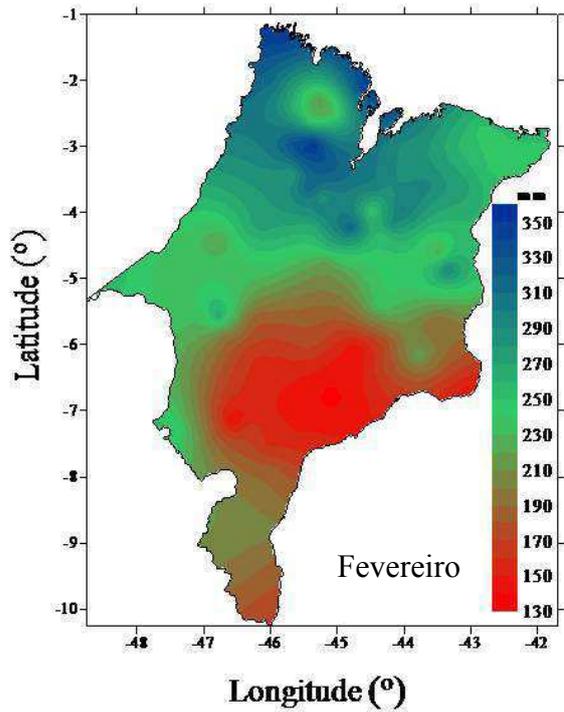
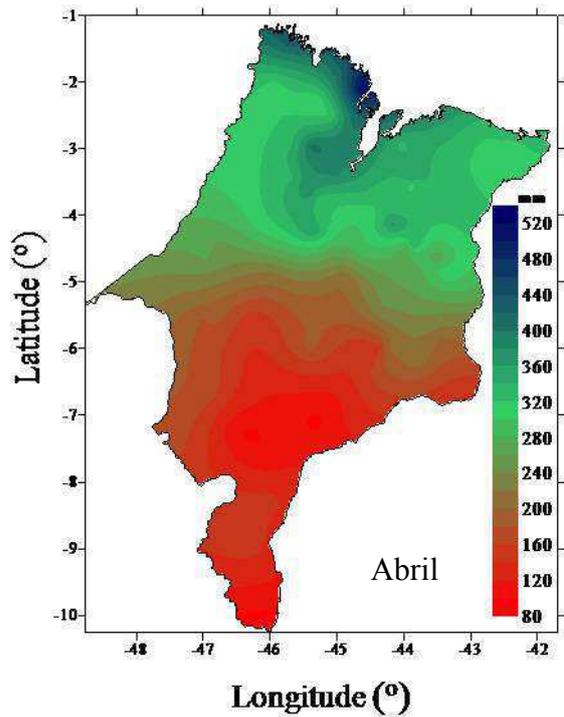
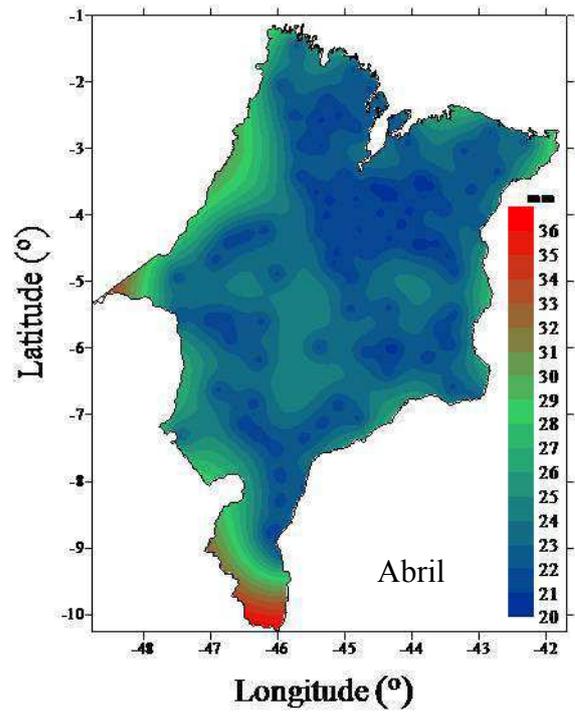


Figura 4.9 - Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

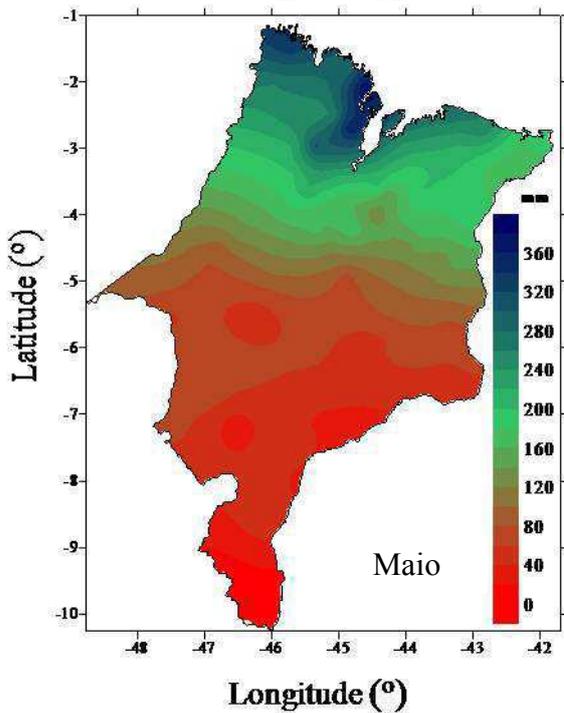
Figura 4.10 - Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.



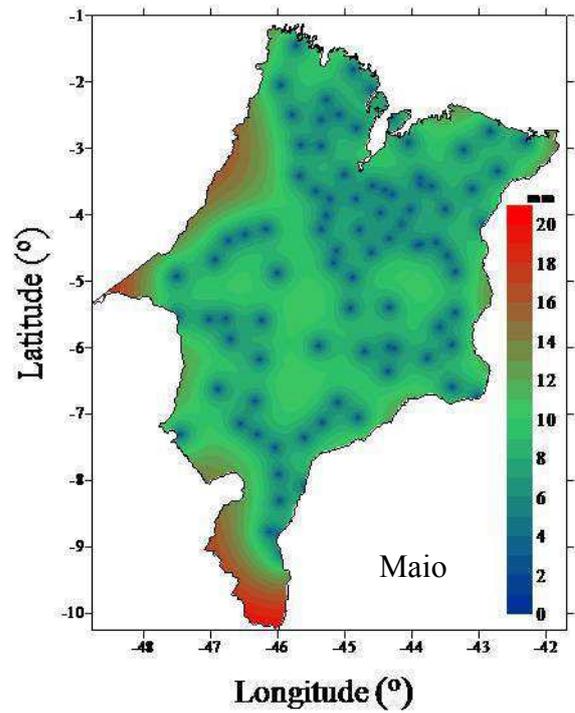
Abril



Abril



Maio



Maio

Figura 4.9 – Continuação: Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

Figura 4.10 – Continuação: Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

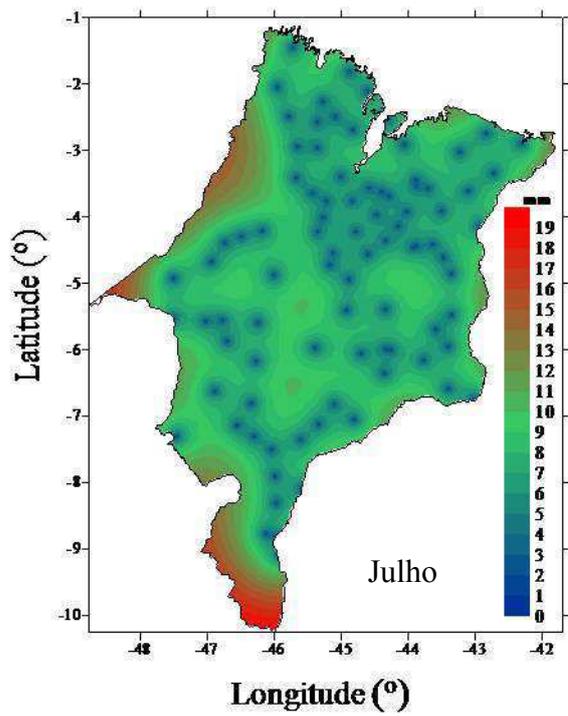
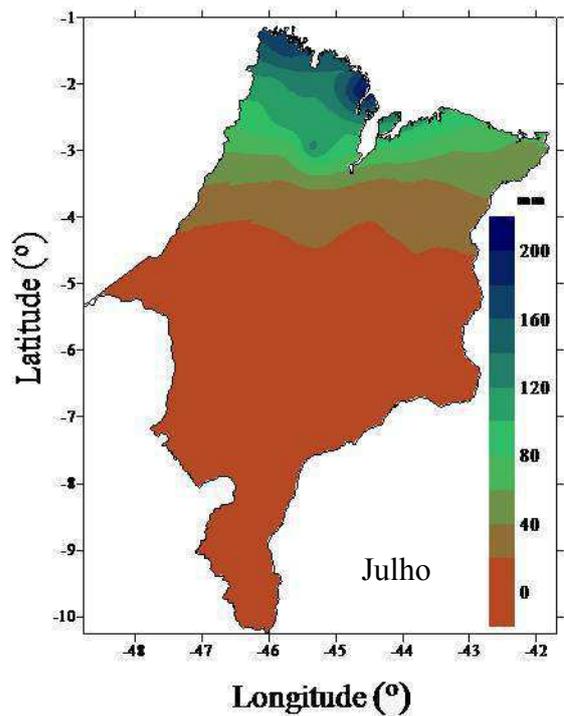
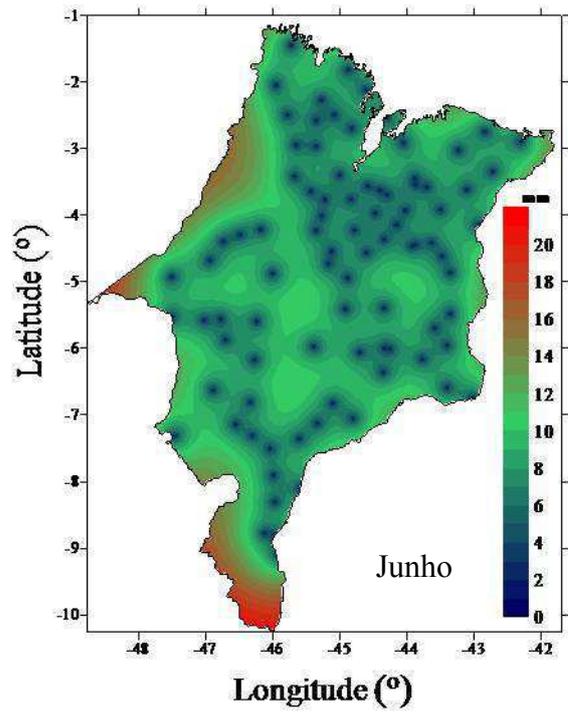
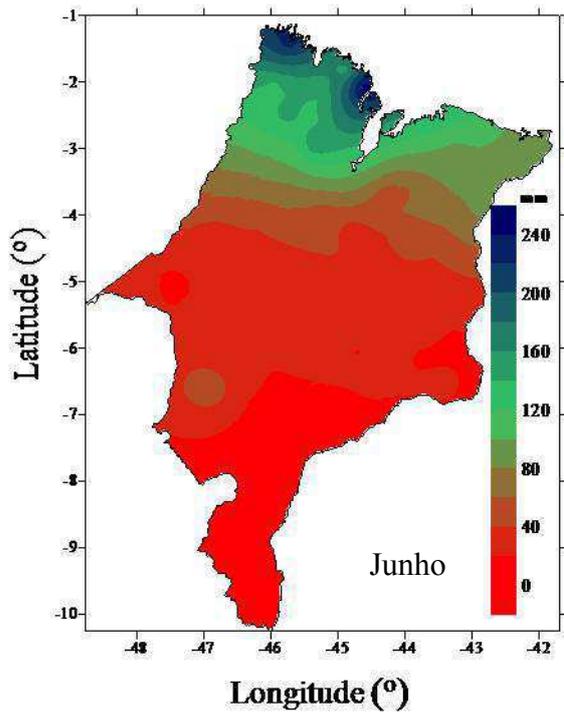


Figura 4.9 – Continuação: Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

Figura 4.10 – Continuação: Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

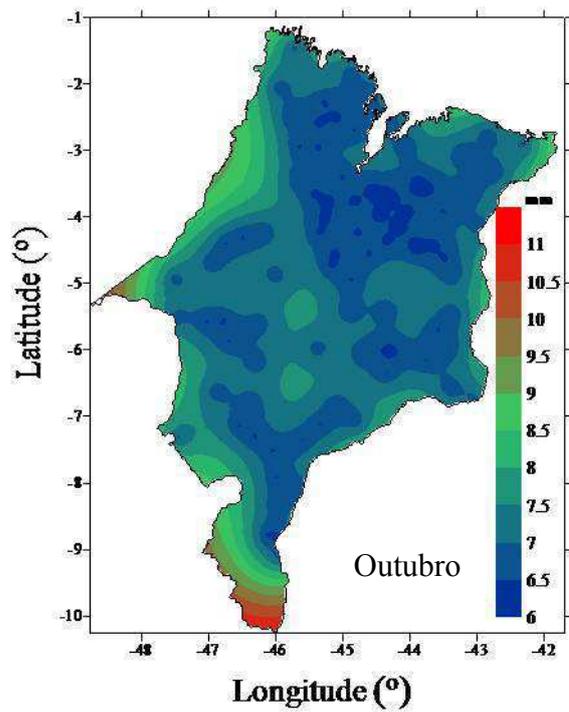
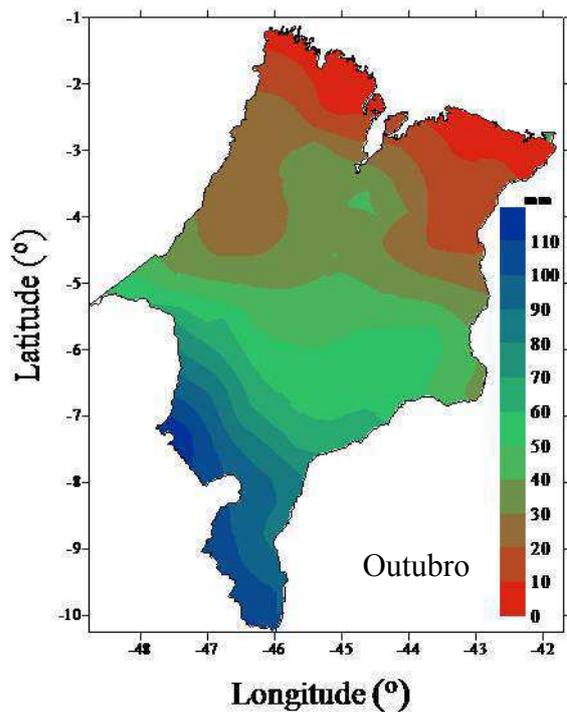
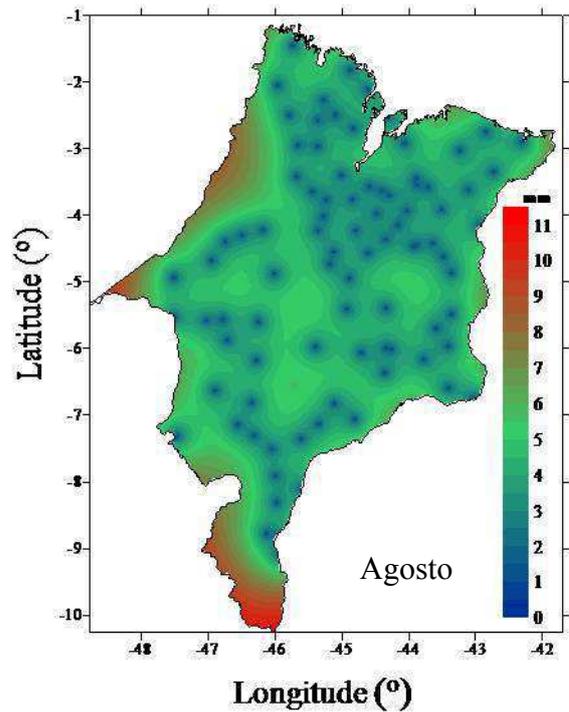
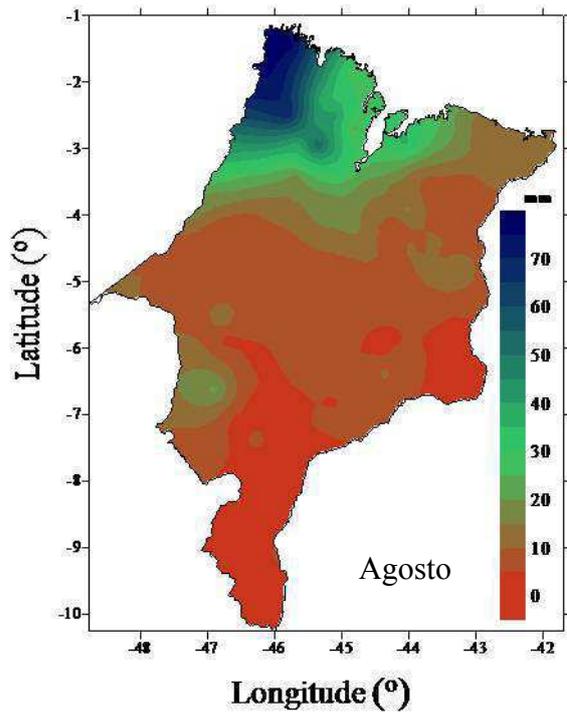


Figura 4.9 – Continuação: Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

Figura 4.10 – Continuação: Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

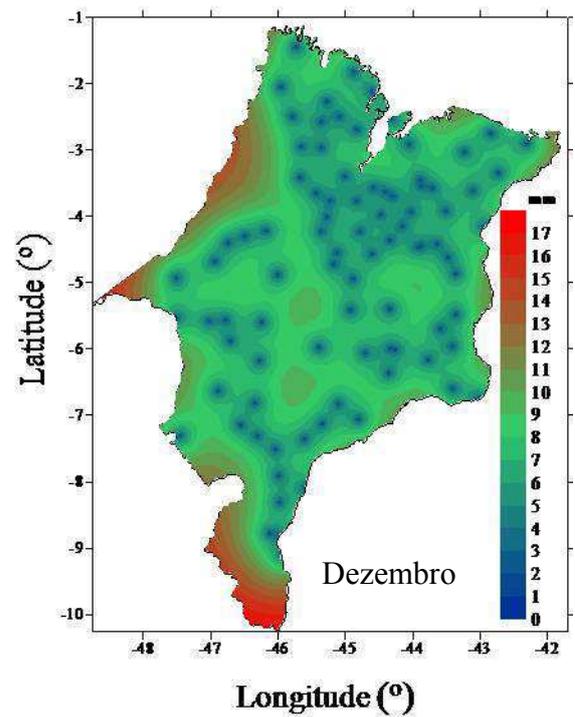
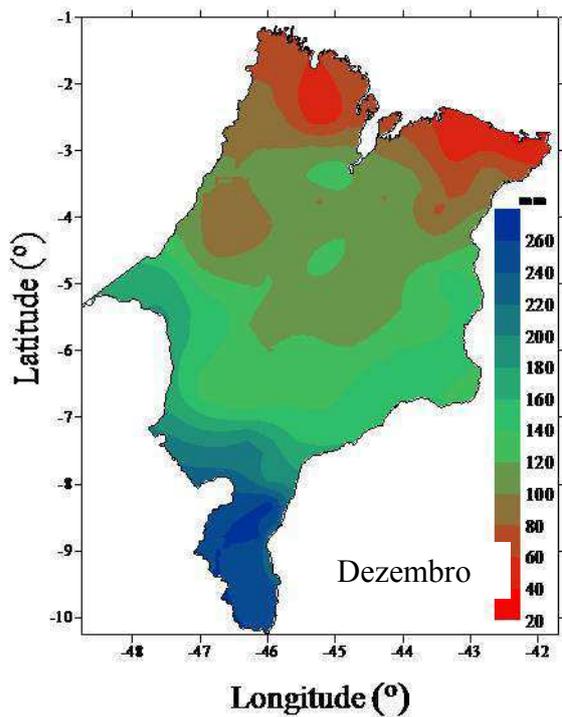
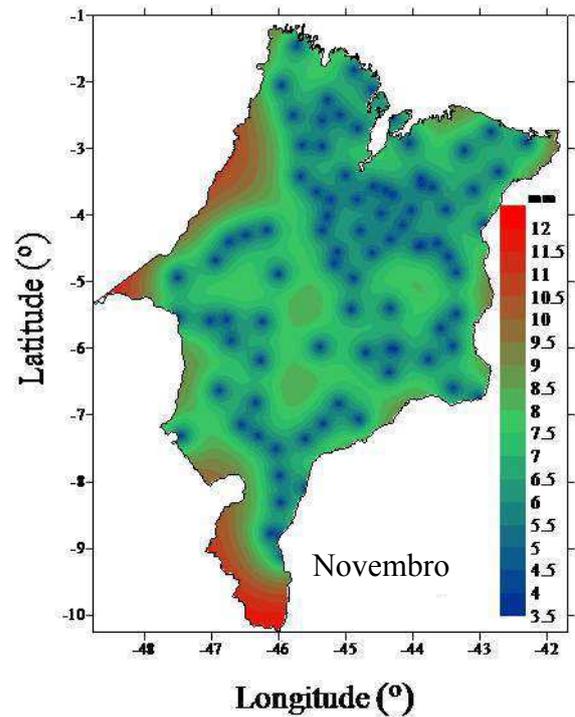
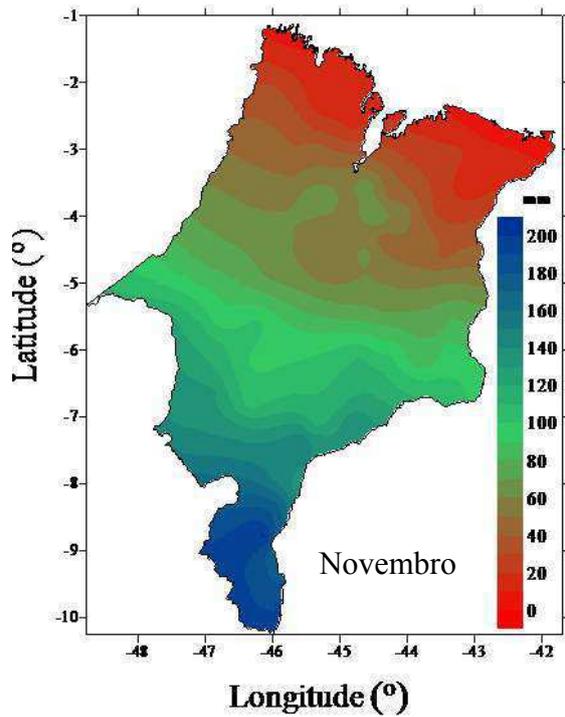


Figura 4.9 – Continuação: Distribuição espacial da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

Figura 4.10 – Continuação: Distribuição espacial do erro padrão da estimativa da precipitação média para os meses com tendência no Estado do Maranhão.

4.2 - REGIÕES HOMOGÊNEAS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

A análise variográfica evidenciou a variabilidade espacial da precipitação sobre o Estado do Maranhão. No sentido de reduzir essa variabilidade espacial, a técnica de análise de agrupamento foi aplicada aos modos principais de variabilidade da precipitação identificados pela técnica de análise por componentes principais, de maneira a delimitar o Estado do Maranhão em regiões homogêneas.

Após definida as regiões homogêneas foi realizada a caracterização das mesmas, quanto aos aspectos agroclimáticos (estação de cultivo e balanço hídrico), produção, produtividade e área plantada referentes as culturas de soja, milho e arroz.

4.2.1 - Análise por componentes principais

A verificação de normalidade da precipitação com base nos coeficientes de assimetria e curtose, nos diagramas de probabilidade mostrou condição próxima à normalidade para os meses de setembro a maio, com afastamento da simetria nos meses de junho, julho e agosto.

O período produtivo do estado está condicionado à precipitação que ocorre entre os meses de setembro a maio, fato que priorizou o seu uso para a regionalização da precipitação, atendendo dessa maneira ao pressuposto de condições próximas à normalidade exigida pela análise de componentes principais.

A medida de adequação de dados KMO, aplicada à matriz de dados pluviométricos e o teste de Esfericidade de Bartlett (BTS), atestaram a validade da aplicação da análise por componentes principais aos dados mensais de precipitação do Estado do Maranhão.

A análise de componentes principais aplicada aos dados pluviométricos referentes ao período produtivo de setembro a maio resultou em 13 componentes principais, explicando 80,4 % da variância, retidos pelo critério mínimo (autovalores maiores que a unidade), conforme apresentado na Tabela 4.2. A rotação varimax com normalização Kaiser discriminou e melhorou a distribuição percentual da variância entre as componentes, apresentando autovalores separáveis e melhor discriminados.

A distribuição espacial das cargas fatoriais (correlação das componentes com as séries de precipitação de cada posto pluviométrico) sobre o Estado do Maranhão, associadas às dez primeiras componentes é apresentada na Figura 4.11.

Tabela 4.2 – Autovalores e variâncias explicadas pelas 13 primeiras componentes principais da precipitação mensal no Estado do Maranhão.

Fatores	Autovalor	Variância (%)	Variância Acumulada (%)
01	13,0	17,1	17,1
02	10,5	13,9	31,0
03	8,6	11,3	42,3
04	6,7	8,8	51,1
05	5,4	7,1	58,2
06	4,4	5,7	64,0
07	3,4	4,5	68,4
08	2,5	3,3	71,8
09	2,0	2,7	74,4
10	1,5	2,0	76,4
11	1,3	1,6	78,0
12	1,2	1,3	79,3
13	1,0	1,1	80,4

A configuração espacial das cargas fatoriais referente a primeira componente principal, que explicou 17,1% da variância total da precipitação, apresentou os maiores valores positivos na parte Norte do Estado, envolvendo a região que vai do Litoral Ocidental até os Lençóis Maranhense (Figura 4.11a). As cargas fatoriais referentes à segunda componente principal (Figura 4.11b), que explicou 13,9% da variância, apresentou os maiores valores positivos na parte Sul do Estado, sobre a região de Gerais de Balsas. A terceira componente (Figura 4.11c), que deteve 11,3% da variância, apareceu correlacionada positivamente com os postos pluviométricos localizados sobre a microrregião de Itapecuru Mirim, no Norte do estado; com 8,8% da variância da precipitação, a quarta componente principal apresentou configuração espacial das cargas fatoriais com os maiores valores positivos centrados entre as microrregiões de Caxias e Chapada do Alto Itapecuru, no leste maranhense (Figura 4.11d). A quinta componente explicando 7,1% da variância da precipitação apresentou os maiores valores sobre a região da Baixada Maranhense (Figura 4.11e). As regiões de Chapadinha e Coelho Neto, no setor leste do Estado, foram definidas pela sexta componente principal, a qual acumulou 5,7% da variância total da precipitação, conforme apresentado na Figura 4.11f. A sétima componente principal, com 4,5% da variância, apresentou os maiores valores das cargas fatoriais sobre a região de Pindaré, no oeste do Estado (Figura 4.11g). A configuração espacial da oitava componente (Figura 4.11h), que explicou 3,3% da variância, apresentou as maiores correlações sobre Sudoeste do Estado, definindo uma área sobre a região de Imperatriz. Sobre a região da

Chapada das Mangabeiras (Figura 4.11i), predominou a nona componente principal, que explicou 2,7% da variância total e com apenas 2% da variância explicada, sendo a décima componente principal centrada no setor Nordeste do Estado, no Baixo Parnaíba Maranhense (Figura 4.11j), onde se observaram os maiores valores das cargas fatoriais.

Essas configurações das cargas fatoriais evidenciaram a variabilidade espacial da precipitação sobre o estado do Maranhão ao longo de toda a sua extensão territorial, e que existem diferentes domínios climáticos, os quais precisam ser devidamente identificados e caracterizados. Dessa maneira, as cargas fatoriais referentes as 13 componentes principais foram então submetidas à análise de agrupamento no sentido de mapear o estado em áreas com padrões homogêneos de precipitação.

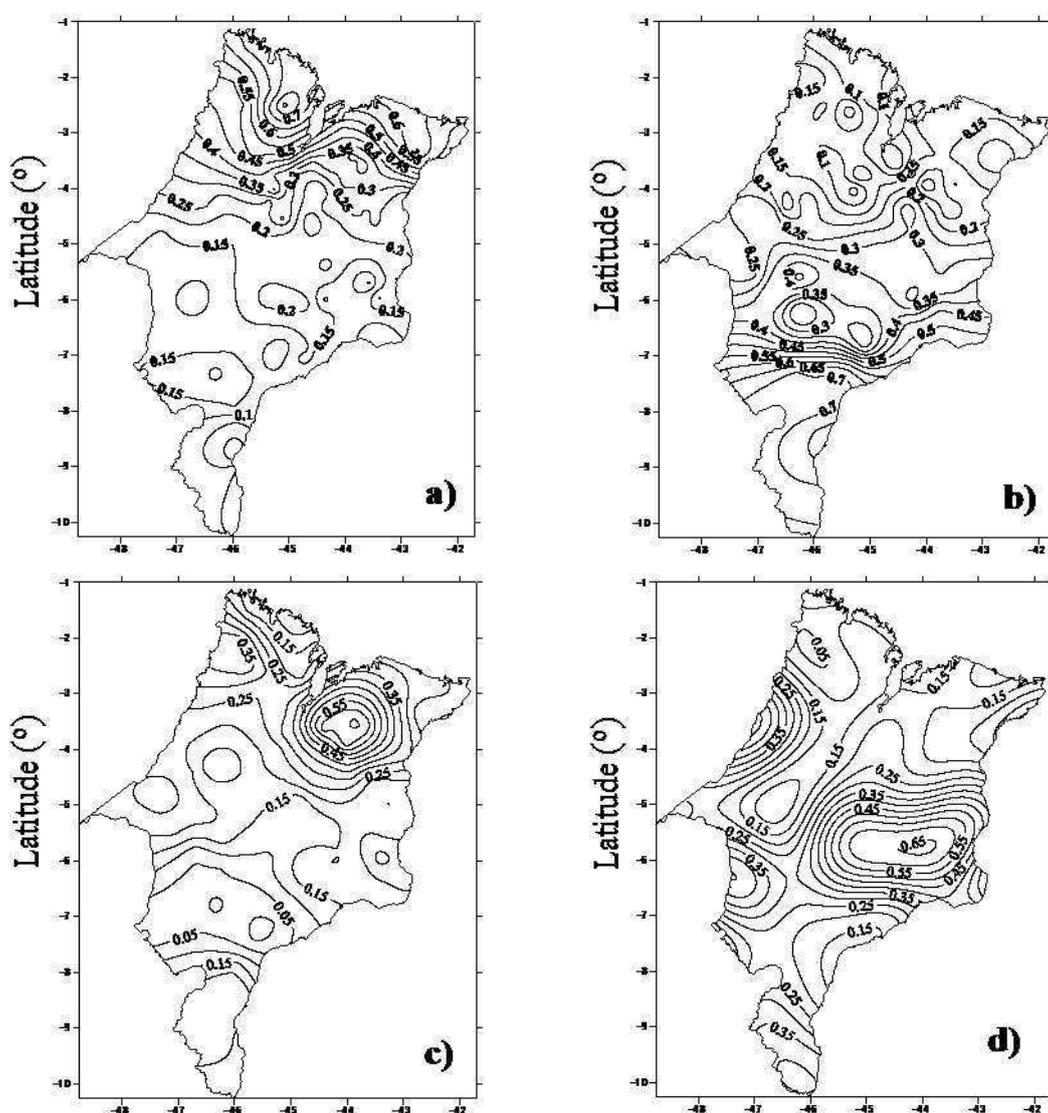


Figura 4.11- Distribuição espacial das cargas fatoriais relativas a precipitação mensal no Estado do Maranhão: a) CF1, b) CF2, c) CF3, d) CF4, e) CF5, f) CF6, g) CF7, h) CF8, i) CF9, j) CF10.

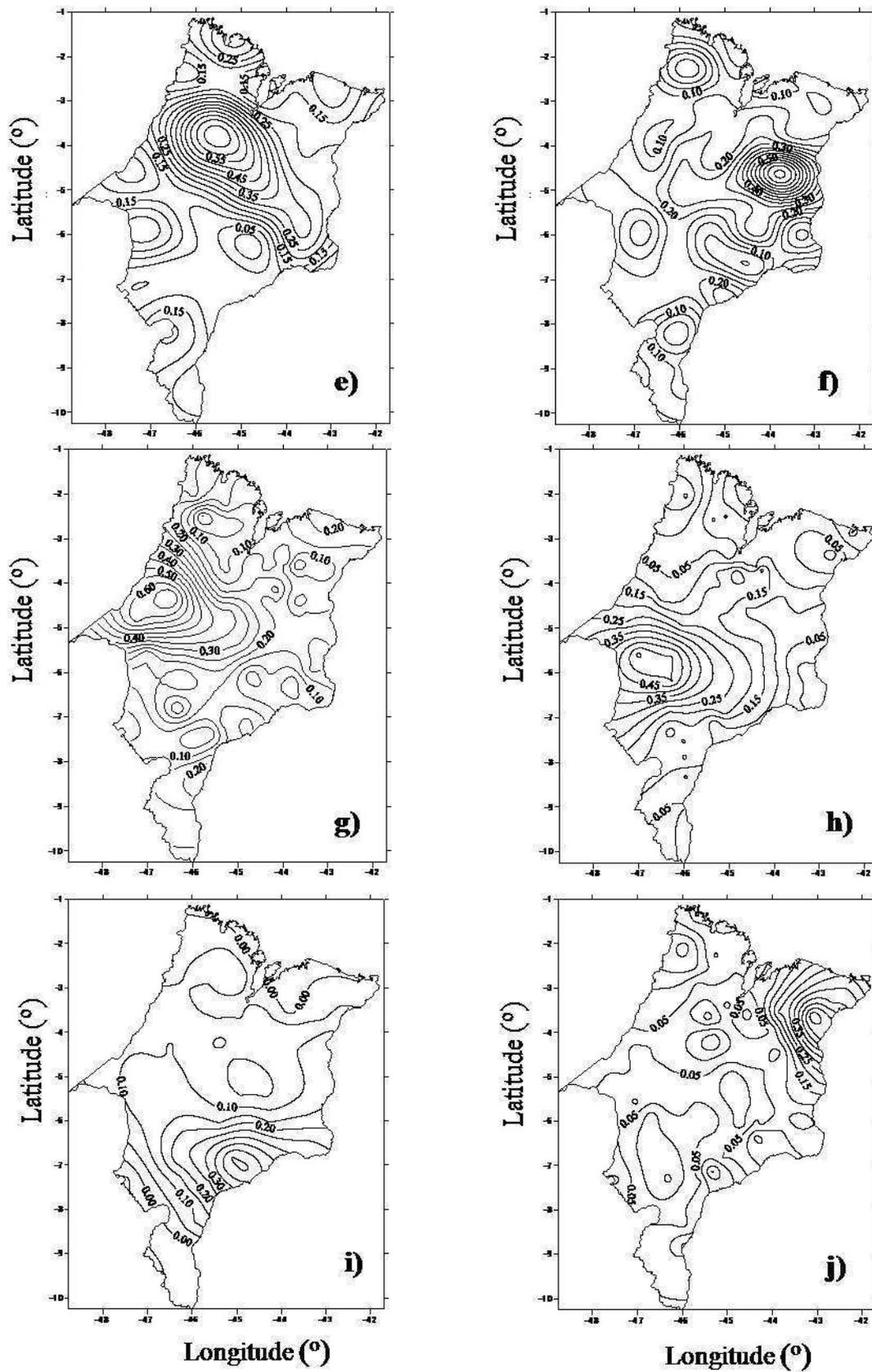


Figura 4.11 - Continuação - Distribuição espacial das cargas fatoriais relativas a precipitação mensal no Estado do Maranhão: a) CF1, b) CF2, c) CF3, d) CF4, e) CF5, f) CF6, g) CF7, h) CF8, i) CF9, j) CF10.

4.2.2 - Análise de Agrupamento

A maioria dos métodos de análise de agrupamento compreende procedimentos relativamente simples e, sem um embasamento teórico estatístico abrangente. Dessa maneira, uma vez definidos os grupos homogêneos é preciso então interpretá-los, descrevê-los e validá-los.

Nesse sentido, foram testados, por análise discriminante, distintos agrupamentos, com números de grupos variando entre 4 e 10. Todos os grupos apresentaram percentagem de acerto de mais de 90%, sendo o agrupamento com 7 grupos o que apresentou a pior configuração, com probabilidade de acerto de 90,8% (69 dos 76 postos). O agrupamento com 10 grupos foi o que apresentou o maior grau de acerto, com 98,7%, (75 dos 76 postos), com o dendrograma que originou esse agrupamento sendo apresentado na Figura 4.12, com nível de corte de 1,16. Foi realocado um posto pluviométrico, do grupo 8 para o grupo 10, pois apresentou melhor coerência espacial, com domínios espaciais representados na Figura 4.13.

A distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação foi condizente com as configurações espaciais das cargas fatoriais com tendência das regiões se formarem nas áreas onde se verificaram os maiores valores das cargas fatoriais. A definição das mesmas refletiu as características regionais, enfatizando a transição dos diferentes regimes pluviométricos tanto no sentido longitudinal quanto no latitudinal. Essas características estão condicionadas á diferentes fatores, como: a posição geográfica do Estado, entre o clima úmido amazônico e semi-árido nordestino; a extensão territorial e latitudinal, o que contribui para a incidência de diferentes sistemas atmosféricos ao longo do ano; além dos aspectos fisiográficos como, vegetação, relevo, etc. Certamente, a interação entre esses diferentes fatores influenciam sobremaneira na distribuição espacial da precipitação ao longo de toda extensão do estado.

A regionalização aplicada às cargas fatoriais associadas às componentes principais que explicam a maior parte da variabilidade dos dados de precipitação enfatizou os diferentes domínios espaciais formados pelos grupos, definindo regiões homogêneas, as quais cobrem áreas com características fisiográficas específicas, refletindo na variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado do Maranhão. De acordo com Sansigolo e Nery (1998), o procedimento de regionalização utilizando as componentes principais, ao invés dos dados originais, elimina informações redundantes do conjunto de dados, pois trabalha especificamente com sinal de grande escala, ou seja, aquele que explica a maior parte da variabilidade dos mesmos desprezando o ruído.

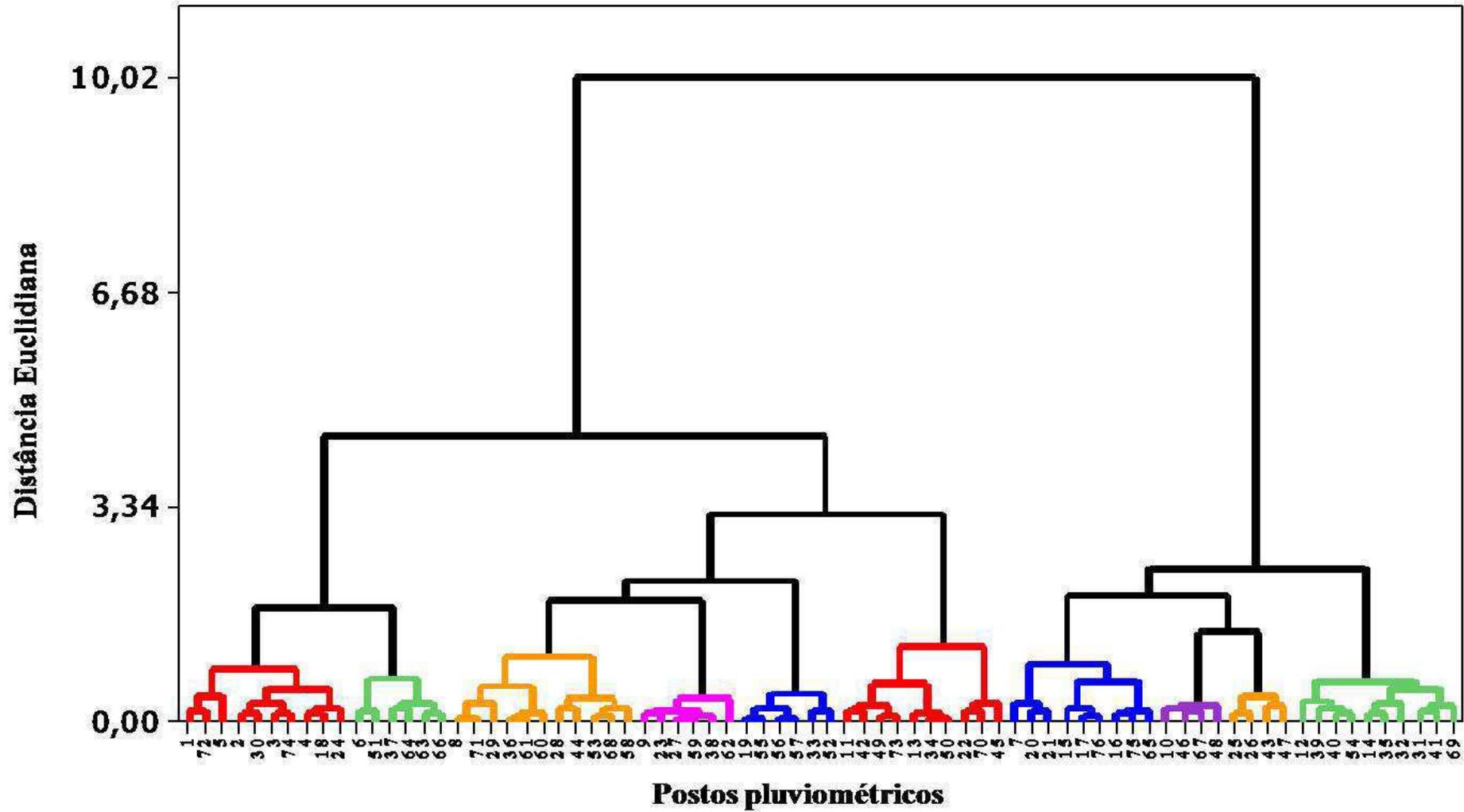


Figura 4.12 - Dendrograma da precipitação pluvial no Estado do Maranhão pelo método Ward com distância euclidiana quadrática.

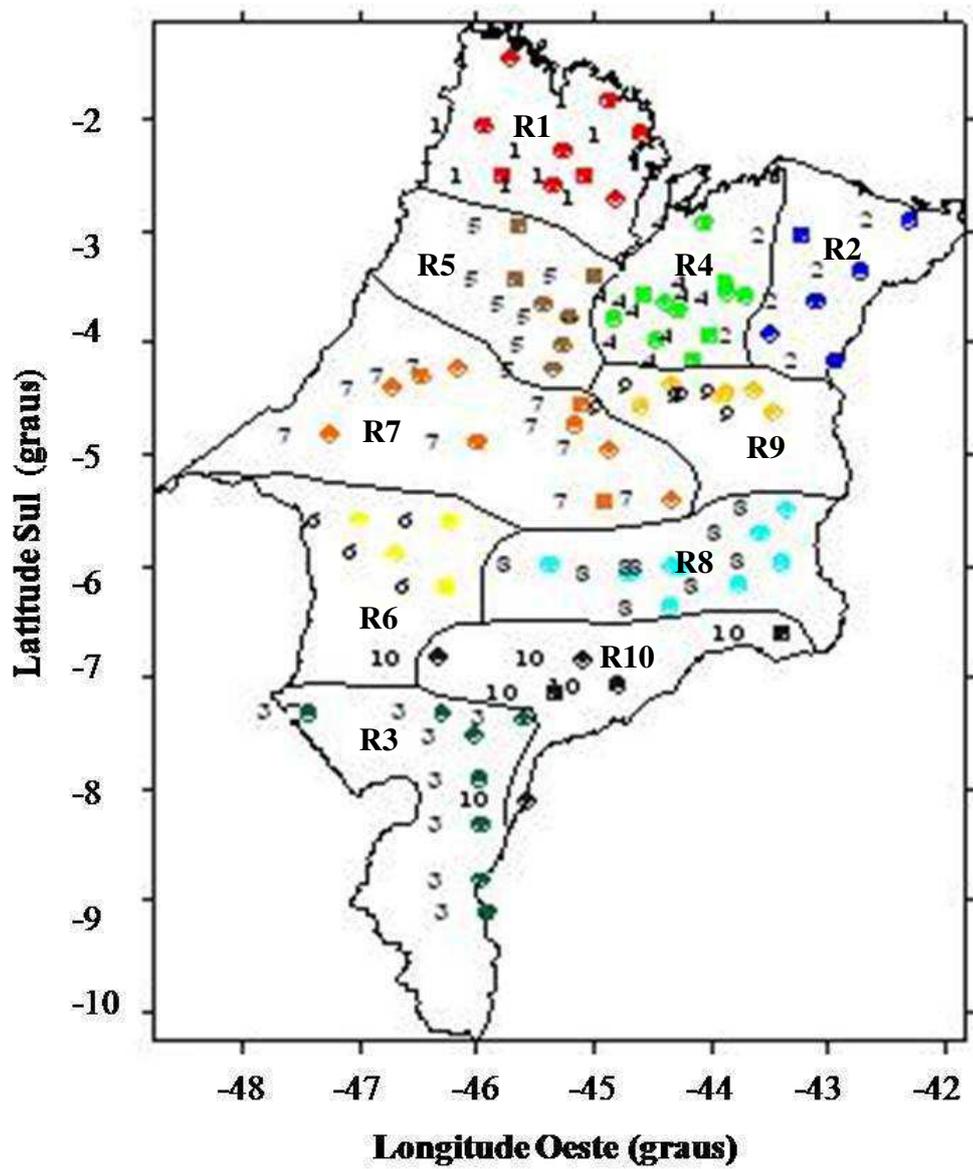


Figura 4.13 - Distribuição espacial das regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.

4.2.3 - Caracterização agroclimática das regiões homogêneas de precipitação pluvial

A região homogênea de precipitação (R1), localizada no Noroeste do Estado, compreende as microrregiões do Gurupi, Litoral Ocidental, parte Norte da Baixada e a Ilha de São Luís, correspondendo à área mais chuvosa do Estado, com uma média de 2055 mm anuais. Nessa região, se observam resquícios do bioma amazônico, onde os efeitos da ZCIT são antecipados em relação as outras regiões, com tempo de permanência mais prolongado em virtude da inclinação do eixo do litoral, entre o Gurupi (1.19° S), no Noroeste, e os Lençóis Maranhense (2.79° S), no Nordeste do Estado. A estação de cultivo, que representa o período produtivo, é a mais prolongada em relação às outras regiões (9 meses) começando em dezembro, com término previsto para agosto, acumulando mais de 97% da precipitação anual, ou seja, 2004 mm (Figura 4.14a).

Nessa região, o mês de janeiro marca o período de reposição de água, caracterizado como de transição entre o seco e o chuvoso da região. Entre fevereiro e julho se configura o período de excesso hídrico totalizando cerca de 900 mm, com os maiores totais verificados nos meses de março e abril, devido à atuação da ZCIT. O mês de agosto marca o início do período de transição entre o chuvoso e o seco, com deficiência hídrica observada entre agosto e dezembro, com total acumulado de 448 mm, sendo os meses mais críticos os de outubro e novembro (Figura 4.14b).

Segundo a Classificação de Thornthwaite (1948), o clima da região é do tipo úmido (B_1), megatérmico (A') com acentuada deficiência de água (w_2) e concentração de verão (a') de 27,3% em relação à evapotranspiração potencial no período mais quente do ano (outubro, novembro e dezembro).

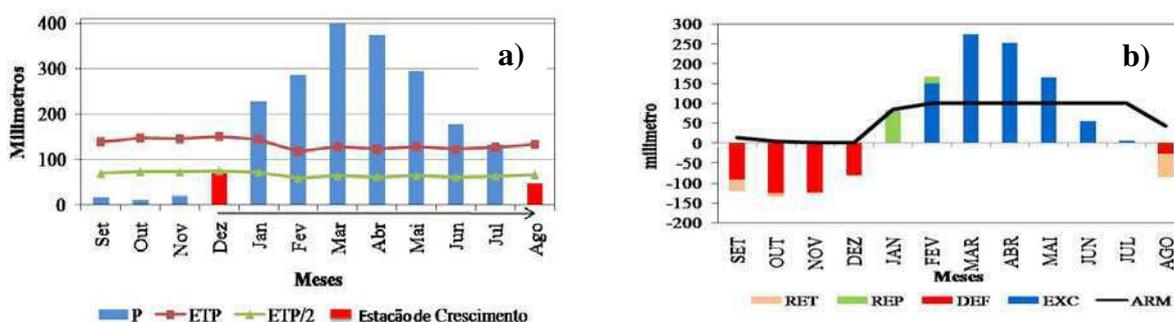


Figura 4.14 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R1 no Estado do Maranhão.

A região homogênea de precipitação (R2) definiu uma área no Nordeste do Estado, compreendendo as microrregiões do Baixo Parnaíba Maranhense, Chapadinha e Lençóis, onde as características fisiográficas são bem diferentes em relação a região R1 e os efeitos da ZCIT

menos acentuados. O total pluviométrico anual médio da região é de 1577 mm, desse total, 1107 mm se concentram entre os meses de fevereiro e maio. A estação de cultivo, assim como na região R1, inicia-se em dezembro, porém o término é antecipado para julho. Nesse período o total acumulado de chuva é de 1526 mm, representando 97% do total anual (Figura 4.15a).

No mês de janeiro começa o período de reposição de água da região. A Figura 4.15b mostra que entre fevereiro e maio ocorre o período de excesso hídrico, com 567 mm acumulados, sendo que as maiores contribuições ocorrem nos meses de março e abril. Com a redução das chuvas, a região entra no período de retirada de água do solo, em junho, iniciando no mês subsequente o período de deficiência hídrica, que se prolonga até dezembro, sendo os meses de setembro a novembro os mais críticos. Entre junho e dezembro a deficiência de água no solo chega a 673 mm.

A região apresenta tipo climático úmido sub-úmido (C_2), megatérmico (A'), acentuada deficiência hídrica (w_2) e 27,3% da evapotranspiração potencial se concentra entre outubro e dezembro (a'), segundo Thornthwaite (1948).

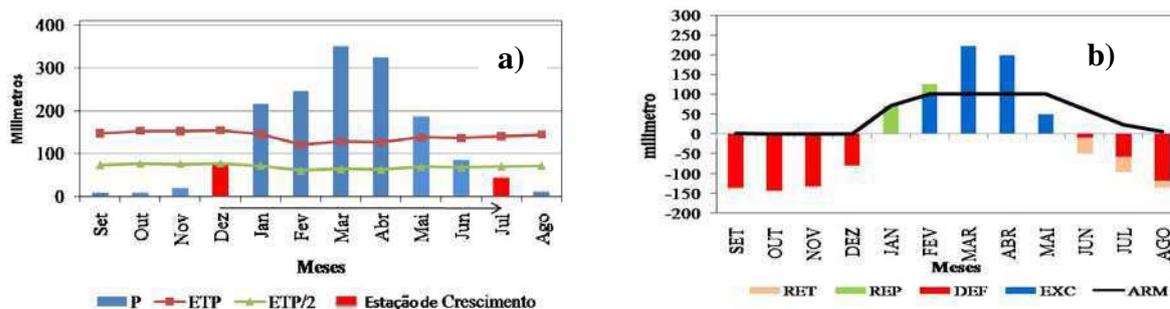


Figura 4.15 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R2 no Estado do Maranhão.

No extremo sul, se localiza a região homogênea de precipitação (R3), que engloba as microrregiões de Gerais de Balsas e Porto Franco. O total pluviométrico médio anual é de pouco mais de 1300 mm, sendo que 1276 mm ocorrem durante o período agrícola, compreendido entre outubro e maio, e que representa a estação de cultivo (Figura 4.16a). Nessa região, a precipitação é extremamente variável espacialmente e temporalmente devido à transitoriedade dos sistemas atmosféricos atuantes, principalmente as frentes frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), e aos efeitos orográficos. A topografia da região supera os 600 m do nível médio do mar, com cobertura vegetal típica do cerrado.

Observa-se na Figura 4.16b que o período de reposição de água no solo abrange dois meses, novembro e dezembro, o que mostra a grande irregularidade das chuvas nesse início de período chuvoso, tornando o plantio muito duvidoso. O período de excesso hídrico ocorre entre

janeiro e abril totalizando 272 mm, enquanto que de maio a outubro predomina a deficiência hídrica, totalizando 544 mm, com os meses mais críticos, agosto e setembro.

A área definida por essa região apresenta características, definidas pela classificação de Thornthwaite (1948), de clima seco sub-úmido (C_1), megatérmico (A'), com moderado excesso de água (w) e com 28% da evapotranspiração potencial concentrada nos meses de agosto a outubro.

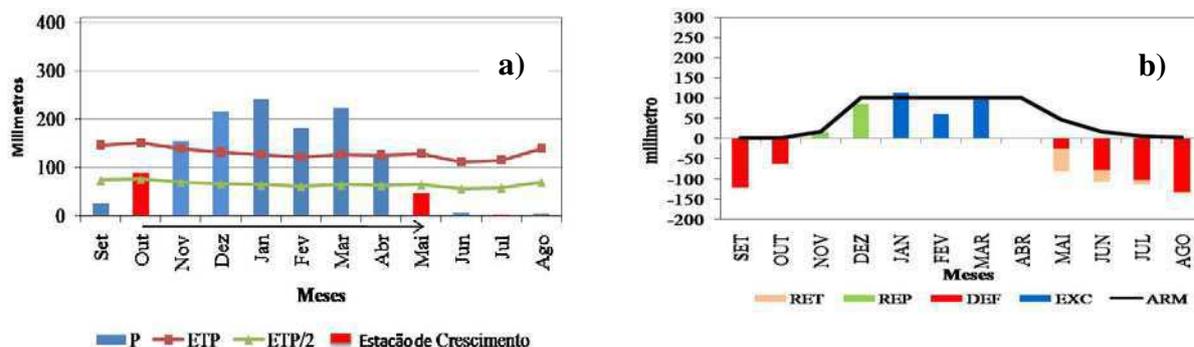


Figura 4.16 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R3 no Estado do Maranhão.

A região homogênea de precipitação (R4), no centro Norte do Estado, abrange as microrregiões de Itapecuru Mirim e Rosário. A região é afetada pela ZCIT, o que reflete nos maiores totais pluviométricos verificados no período de janeiro a maio, com 1164 mm acumulados, o que representa 67% do total anual, de 1738 mm. Em torno de 93% da precipitação (1624 mm) se concentra durante a estação de cultivo, que inicia em dezembro e termina em julho (Figura 4.17a).

Verifica-se, ainda, excesso hídrico entre os meses de janeiro e maio, totalizando 700 mm e deficiência hídrica de 541 mm, entre junho e dezembro (Figura 4.17b). A região caracteriza-se por apresentar clima úmido do tipo B_1 , megatérmico (A') e com acentuada deficiência hídrica (w_2), e 28,5% da evapotranspiração potencial (a') concentrada entre outubro e dezembro, os meses mais quentes do ano.

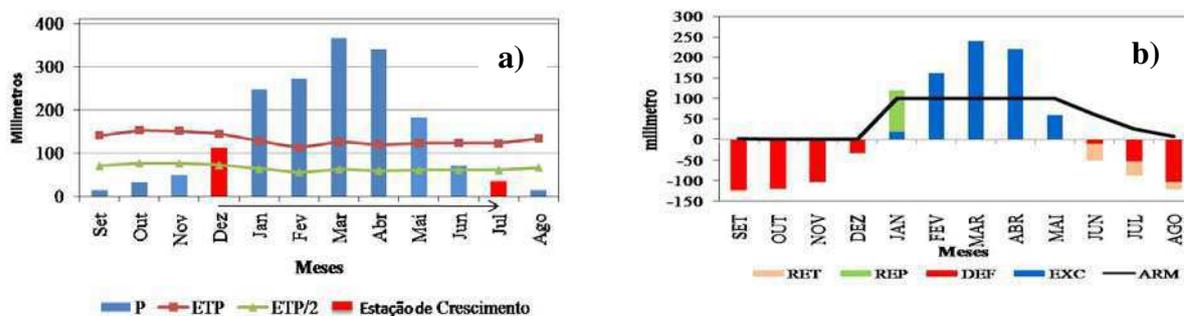


Figura 4.17 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R4 no Estado do Maranhão.

Na mesma faixa de latitude de R4, porém deslocado para oeste, sobre a região da Baixada Maranhense, localiza-se a região homogênea de precipitação (R5). O total pluviométrico médio anual nessa região é 1879 mm, sendo composta por 6 postos pluviométricos. A região mantém o padrão característico, com chuvas concentradas principalmente entre os meses de fevereiro e maio, tipicamente associado à ZCIT, totalizando 1248 mm, ou seja, mais de 66% em relação ao total anual. A estação de cultivo (Figura 4.18a), dura também 8 meses, de dezembro a julho, com o segundo maior total anual de chuvas, cerca de 1740 mm.

O excesso de água no solo ocorre principalmente entre janeiro e maio (Figura 4.18b), com 768 mm acumulados no período, enquanto que o período de retirada de água do solo, associado à redução das chuvas, começa em junho, com deficiência hídrica prolongando-se até dezembro, totalizando 472 mm. A região apresentou as mesmas características climáticas da R4, porém com 27,7% da evapotranspiração potencial concentrada entre outubro e dezembro.

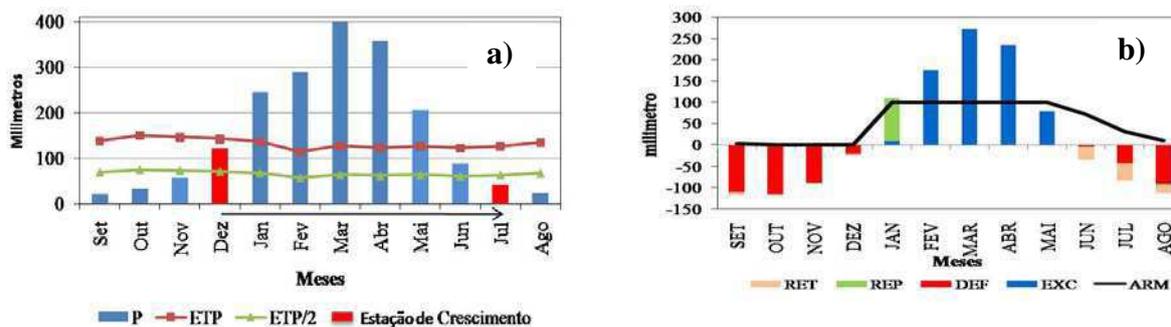


Figura 4.18 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R5 no Estado do Maranhão.

A região homogênea de precipitação (R6), com 4 postos pluviométricos, localiza-se sobre a microrregião de Imperatriz, no Sudoeste maranhense, com média anual de precipitação de 1220 mm, sendo o período mais chuvoso aquele compreendido entre os meses de janeiro e abril. A estação de cultivo e chuvosa da região (Figura 4.19a) começa em novembro, prolongando-se até maio, totalizando 1130 mm.

Mesmo com o início das chuvas em novembro, a reposição de água no solo só começa em dezembro (Figura 4.19b) sendo mais pronunciada em janeiro, com excesso ocorrendo somente entre fevereiro e abril, totalizando 246 mm. O período de deficiência compreende os meses de maio a novembro, totalizando 484 mm.

O clima da região é do tipo seco sub-úmido (C₁), megatérmico (A'), com excesso de água moderado (w) e evapotranspiração nos meses mais quentes do ano (setembro a novembro) de 28,6% em relação a evapotranspiração anual (a').

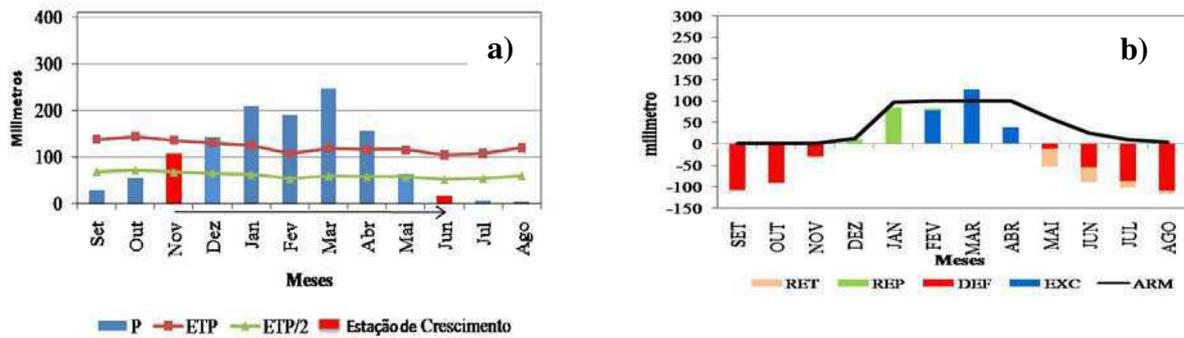


Figura 4.19 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R6 no Estado do Maranhão.

A região homogênea de precipitação (R7) abrange uma extensa área no Centro-Oeste maranhense, cobrindo principalmente o sul da microrregião de Pindaré. Representa uma região de floresta densa, onde o total pluviométrico médio anual alcança 1400 mm, sendo os maiores totais observados entre os meses de janeiro a abril. O início da estação de cultivo (Figura 4.20a) ocorre em dezembro e seu final é em junho, período em que a região recebe cerca de 1250 mm de chuva, cerca de 90% do total médio anual.

Em maio verifica-se retirada de água do solo, com as deficiências hídricas prolongando-se até dezembro, totalizando 575 mm. O período de reposição de água (Figura 4.20b) se estabelece em janeiro, com excedente hídrico de fevereiro a abril, totalizando 432 mm. Essa região apresenta características de clima úmido sub-úmido do tipo C₂, megatérmico (A'), acentuada deficiência hídrica (w₂) e concentração da evapotranspiração nos meses de setembro a novembro de 28,6% do total anual.

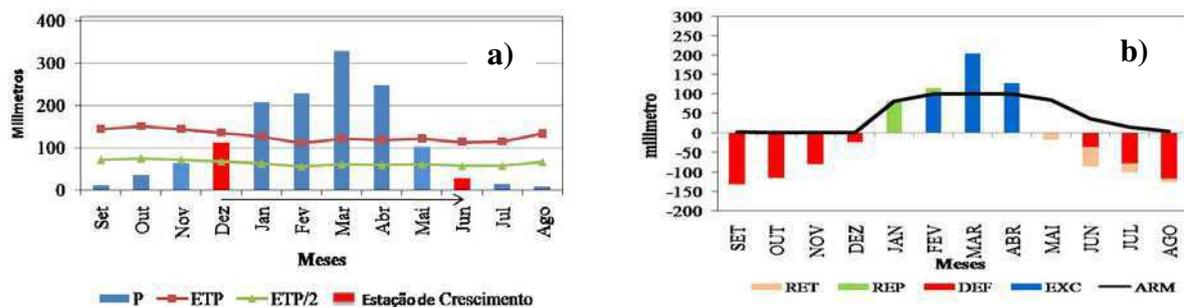


Figura 4.20 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R7 no Estado do Maranhão.

A região homogênea de precipitação (R8) abrange a microrregião da Chapada do Alto Itapecuru, com altitudes acima de 450 m do nível médio do mar. A média anual de precipitação é da ordem de 1245 mm, sendo que desse total, 96%, se concentra de novembro a maio, considerado o período da estação de cultivo (Figura 4.21a), quando se concentram as atividades agrícolas.

As chuvas em dezembro e janeiro começam a repor a água no solo, com excesso hídrico sendo verificado nos meses de fevereiro a abril, totalizando 279 mm (Figura 4.21b). Com o fim do período de chuvas, a partir de maio, a região começa a entrar no período de deficiência hídrica, que se estende até novembro, acumulando 564 mm ao fim do período. A característica climática dessa região é similar à da região R6, porém com percentual da evapotranspiração potencial nos meses de setembro a novembro de 29% em relação ao total anual.

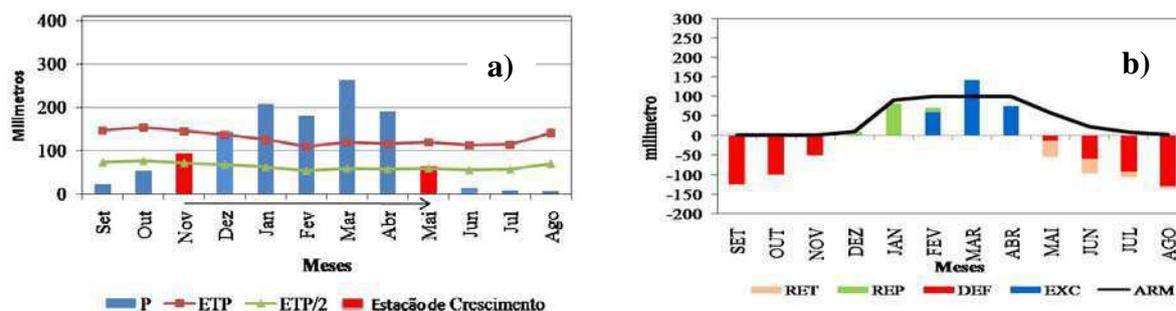


Figura 4.21 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R8 no Estado do Maranhão.

No Centro-Leste do Estado tem-se a região homogênea de precipitação (R9) que abrange as microrregiões de Codó e Coelho Neto, com alturas pluviométricas médias de 1544 mm anuais. A estação chuvosa e de cultivo (Figura 4.22a), começa efetivamente a partir de dezembro, quando o total médio de precipitação supera a metade da evapotranspiração potencial, com término ocorrendo em junho, quando o total pluviométrico encontra-se abaixo da metade da evapotranspiração potencial. Nesse período, o acumulado de precipitação é de 1477 mm, correspondendo a 96% do total médio anual.

O período de deficiência hídrica (Figura 4.22b) compreende os meses de junho a dezembro, totalizando 599 mm. Em janeiro, a região encontra-se na fase de reposição de água, com os excessos hídricos sendo observados entre fevereiro e maio, correspondendo a 561 mm. A área formada por essa região se assemelha climaticamente às características da região R7, porém com ligeiro aumento do excesso e da deficiência hídrica.

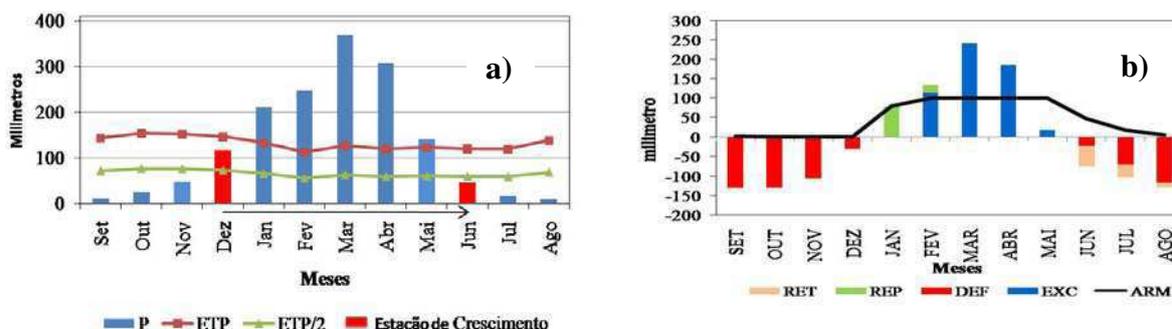


Figura 4.22 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R9 no Estado do Maranhão.

Por fim a região homogênea de precipitação (R10), com domínio espacial que compreende a região Sudeste do Estado, abrangendo principalmente a microrregião da Chapada das Mangabeiras e parte da Chapada do Alto Itapecuru. A posição geográfica dessa região, entre as formações de chapadas no Oeste e Sul da região, com topografia variando entre 400 a mais de 600 m acima do nível médio do mar, cria uma barreira aos sistemas que se deslocam da Amazônia e do Brasil central, que contribui para a redução dos totais médios anuais de precipitação que é da ordem de 1099 mm, sendo, portanto, considerada a região mais seca do Estado do Maranhão. As condições pluviométricas favoráveis ao plantio se verificam a partir de novembro, quando inicia a estação de crescimento e chuvosa (Figura 4.23a). Em maio termina a estação chuvosa e de cultivo. No período de novembro a maio, o total pluviométrico é de aproximadamente 1041 mm, ou seja, em torno de 95% do total anual.

Mesmo com as chuvas de novembro, a disponibilidade hídrica só começa a se restabelecer a partir de dezembro, quando começa a reposição de água no solo com o menor excesso observado entre janeiro e abril, de 164 mm (Figura 4.23b), o menor em relação às outras regiões. A deficiência hídrica ocorre nos meses de maio a novembro, totalizaram em torno de 546 mm. As chuvas que ocorrem nesta região não são suficientes para atender a demanda exigida pela evapotranspiração potencial, o que resulta num clima do tipo seco sub-úmido (C_1), porém com pequeno excesso de água (d) e concentração da evapotranspiração potencial de mais de 29% em relação ao total anual (a').

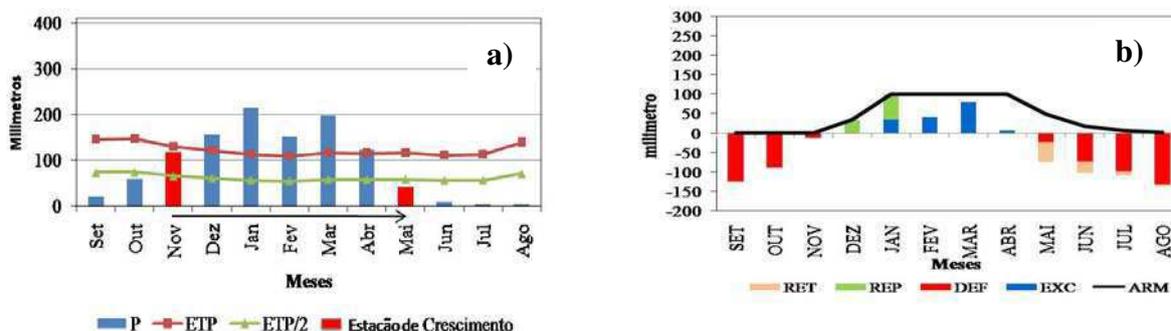


Figura 4.23 – Caracterização da estação de cultivo (a) e balanço hídrico (b) da região homogênea de precipitação R10 no Estado do Maranhão.

Em síntese, verificou-se que nas regiões homogêneas localizadas no Norte do Estado os totais pluviométricos são mais elevados em relação aos localizados no Sul. No Norte, a precipitação sofre a influência da atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é o principal sistema atmosférico que contribui para as chuvas que ocorrem de fevereiro e maio, com totais elevados, chegando a representar um acumulado em torno de 70%, em relação ao total

anual. Além da posição da ZCIT os diferentes totais pluviométricos anuais são explicados pela cobertura vegetal e maritimidade.

Por outro lado, no Sul do Estado os totais médios pluviométricos anuais representam apenas 67% do total relativo à região Norte do Estado. A transitoriedade dos sistemas atmosféricos atuantes sobre essa região e as características fisiográficas, tais como, vegetação, relevo e continentalidade, contribuem não só para redução das chuvas, mais também pela grande variabilidade espacial (chuvas isoladas) e temporal (veranicos) da precipitação, sendo essa última, o principal fator impactante sobre as atividades agrícolas (NUGEO, 2002).

Pelo critério utilizado para definir a estação de cultivo, o início do período chuvoso de todas as regiões homogêneas de precipitação apresentaram defasagem de um mês antes em relação ao início do período de reposição de água no solo definido pelo balanço hídrico, o qual só começa quando a precipitação se torna igual ou maior a evapotranspiração potencial, que corresponde ao início do período úmido, de acordo com o critério de Frère e Popov (1979).

Porém, o calendário agrícola aplicado pelos agricultores acompanha a estação de cultivo definida pelo critério de Frère e Popov (1979), como por exemplo, a soja no Sul do Estado, que é plantada em outubro, quando inicia o período chuvoso conforme determinado pelo referido critério, dessa forma ele foi utilizado na avaliação do rendimento agrícola das principais regiões produtoras de soja, arroz e milho.

4.2.4 - Produção, rendimento e área plantada

Os limites das áreas agrícola referentes as culturas de soja, milho e arroz são os estabelecidos na Figura 4.13, onde estão inseridas as regiões homogêneas de precipitação definidas pela análise de agrupamento.

4.2.4.1-Cultura da Soja

O Estado do Maranhão produziu em média, entre 1990 e 2004, 304.438 toneladas de soja, passando de 4.176 toneladas, em 1990, para 906.489 toneladas, em 2004, com taxa de crescimento de 21.607%. Esse aumento expressivo da produção da soja foi determinado provavelmente pelas inovações tecnológicas observadas principalmente nas principais regiões produtoras localizadas no Sul do Estado.

Basicamente, 98% da produção do Estado se concentram nas regiões homogêneas de precipitação R3 (70%) e R10 (28%), microrregiões de Gerais de Balsas e Chapada das Mangabeiras, respectivamente, as quais apresentaram taxa de crescimento durante o período de 1990 e 2004.

Apenas 2% da produção do Estado se distribuem entre as regiões homogêneas de precipitação R2 (0,7%), R6 (0,7%) e R8 (0,6%), referentes às microrregiões do Baixo Parnaíba, Imperatriz/Grajaú e Chapada do Alto Itaipuru, onde se constataram anos sem produção. A região R2 é tida como nova fronteira agrícola do estado, começando efetivamente a produzir a partir de 1994, alcançando taxa de crescimento até 2004, de 48.683%, passando de apenas 41 toneladas para 20.000 toneladas. As regiões R6 e R8 começaram a produzir a partir de 1993, sendo que esta última ficou quatro anos sem produzir (1995-1998). Foram as regiões que apresentaram menor taxa de crescimento em relação às outras regiões produtoras, de 8.251% e 871%, respectivamente.

Em relação à área plantada, houve um crescimento de 2.135% no período entre 1990 e 2004, passando, respectivamente de 15.230 hectares para 340.373 hectares, com média no período de 131.148 hectares.

As regiões R3 (70%) e R10 (28%) representaram 98% do total de área plantada do Estado, com percentual de crescimento no período analisado de 1.943% e 2.226%, respectivamente. As regiões R2, R6 e R8 apresentaram média de área plantada no período abaixo de 1000 hectares, com contribuições totalizando apenas 2% do total de área plantada e taxa de crescimento de 18.164%, 7.198% e 908%, respectivamente.

O rendimento agrícola da soja no Estado do Maranhão, no período analisado (Tabela 4.3) apresentou expressivo crescimento, passando de 546 Kg.ha⁻¹ em 1990 para 12355 Kg.ha⁻¹ em 2004, representando uma taxa de crescimento de 2163%.

As regiões que apresentaram os maiores níveis de rendimento agrícola médio foram R3 e R10, com 1.997 Kg.ha⁻¹ e 2.036 Kg.ha⁻¹, representando 23% e 24% do rendimento agrícola médio do Estado, sendo as regiões que mais cresceram no período, 874% e 875%, respectivamente. As regiões R2, R6 e R8 representaram 15%, 21% e 17% do rendimento agrícola médio do Estado, com taxa de crescimento, para as duas primeiras de 167% e 14%, respectivamente e de decréscimo de 4%, para a última.

Ressalta-se que das cinco regiões produtoras de soja no Maranhão apenas a R3 e a R10, no Sul do Estado, produziram em todos os anos entre 1990 e 2004, sendo as que menos sentiram as oscilações do mercado, mantendo sempre tendência de crescimento durante o período.

A região R2, centrada na região de Chapadinha, no leste maranhense, corresponde a uma nova fronteira agrícola, onde a produção de soja começou efetivamente a partir de 1994.

No início dos anos noventa não houve aquisições de insumos por parte dos produtores, pela falta de recursos e porque os preços de mercado estavam bem acima dos preços

mínimos, refletindo principalmente na produção das regiões R2, R6 e R8, que deixaram de produzir entre 1990 e 1992. Essas regiões voltaram a apresentar retração da área plantada e da produção principalmente a partir de 1996, como reflexo da política cambial brasileira, da época em que se dificultavam as exportações. A região R8 só se recuperou a partir de 1999, mantendo então tendência de crescimento nos anos subsequentes.

A expansão da cultura da soja nos estados nordestinos, notadamente, Bahia, Piauí e Maranhão, já responde por 5% da produção nacional, constituindo-se, portanto, em um novo celeiro agrícola para a produção de cereais da região Nordeste, com grande vocação para atender ao mercado interno e realizar exportações.

O Estado do Maranhão foi o segundo em taxa de crescimento, ficando atrás somente do Estado do Piauí. Está entre os dez maiores produtores nacionais, representando 21% da produção do Nordeste brasileiro, perdendo somente para o Estado da Bahia. Nos últimos três anos o nível de produção vem se mantendo em torno de 1 milhão de toneladas.

Tabela 4.3 – Rendimento da soja (Kg.ha⁻¹) por regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.

Anos	Regiões homogêneas de precipitação										Estado
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
1990	-	0	276	-	-	0	-	0	-	270	546
1991	-	0	1748	-	-	0	-	0	-	1800	3548
1992	-	0	920	-	-	0	-	0	-	1683	2603
1993	-	0	1869	-	-	2000	-	2400	-	2238	8507
1994	-	911	2240	-	-	1672	-	2400	-	2239	9462
1995	-	1200	1852	-	-	2000	-	0	-	1853	6905
1996	-	0	2296	-	-	1600	-	0	-	1874	5770
1997	-	1822	2027	-	-	1700	-	0	-	1992	7541
1998	-	1818	1998	-	-	1900	-	0	-	1936	7652
1999	-	2039	2456	-	-	2400	-	2800	-	2438	12133
2000	-	2399	2531	-	-	2611	-	2997	-	2575	13113
2001	-	1499	2312	-	-	2822	-	2647	-	2266	11546
2002	-	2400	2354	-	-	2988	-	3100	-	2350	13192
2003	-	2395	2393	-	-	2538	-	2939	-	2396	12661
2004	-	2434	2686	-	-	2289	-	2312	-	2634	12355
Média	-	1261	1997	-	-	1768	-	1440	-	2036	8502
%/Estado	-	15	23	-	-	21	-	17	-	24	
%cresc.	-	167	874	-	-	14	-	-4	-	875	2163

Fonte dos dados: IBGE (2005)

4.2.4.2 - Cultura do Milho

O Estado do Maranhão produziu em média, entre 1990 e 2004, 281.623 toneladas de milho, com crescimento de 201% nesse período, ou seja, passou de 135.856 toneladas para 408.827 toneladas. Assim como foi observado como a cultura do arroz, o ano agrícola de 1996 apresentou queda na produção em decorrência de dívidas do setor agrícola. A partir de 1999 a produção começa um novo ciclo de crescimento, sendo verificado também em todas as regiões homogêneas definidas na análise.

A região R7, que ocupa uma extensa área no centro-oeste maranhense, englobando principalmente parte da microrregião de Pindaré, foi considerada a maior produtora do estado, com média de produção, entre 1990 e 2004, de 53.639 toneladas, representando 19% da produção estadual. A taxa de crescimento no período foi de 221%, saindo de 25.999 toneladas em 1990 para 83.355 toneladas em 2004.

A segunda maior região produtora de milho é a R5, localizada principalmente na Baixada maranhense, representando 14% da produção média do estado, entre 1990 e 2004, ou seja, 40.147 toneladas. Nesse período a região mostrou crescimento na produção de 97%, passando de 24.387 toneladas em 1990 para 48.063 toneladas em 2004.

Em seguida estão as regiões R6, englobando a microrregião de Imperatriz e partes da região de Grajaú, com média de produção no período de 37.437 toneladas, representando 13% da produção média do estado, com taxa de crescimento de 143%, de 21.791 toneladas em 1990 para 52.946 toneladas em 2004. A região R8, na microrregião das Chapadas do Alto Itapecuru, com 12% (32.751 toneladas) da produção estadual e taxa de crescimento de 369%, de 10.351 toneladas para 48.497 toneladas.

As regiões que mais cresceram foram a R3 (1.729%), localizada na microrregião de Gerais de Balsas, e R10 (2.227%) na Chapada das Mangabeiras, as quais detêm 10% (26.939 toneladas) e 5% (12.692 toneladas) da produção estadual, respectivamente. Este grande crescimento dessas regiões é atribuído principalmente à implementação tecnológica na área.

A área plantada com milho no Estado sofreu decréscimo de 23,3% durante o período de 1990 a 2004, passando de 483.345 ha para 370.695 ha, nos respectivos anos, com média de 416.858 hectares. As regiões que detiveram os maiores percentuais de área colhida foram R7 com 17% (71.826 toneladas), R5 com 16% (66.862 toneladas), R8 com 14% (57.469 toneladas), R4 com 12% (48.545 toneladas), R9 com 11% (46.430 toneladas) e com 10% (39.965 toneladas) a região R6. Todas as regiões apresentaram taxa de decréscimo da área plantada ao longo do período analisado, com exceção da região R3 que cresceu 21,2%, porém com contribuição de

apenas 3% para a produção total do estado. As maiores quedas de área plantada foram verificadas nas regiões R6, R8 e R9 com 65,4%, 35,5% e 29,5%, respectivamente.

Por outro lado, o rendimento agrícola no Estado (Tabela 4.4) cresceu no período a uma taxa de 443%, saindo de uma média de 2734 Kg.ha⁻¹ em 1990 para 14844 Kg.ha⁻¹ em 2004. O melhor aproveitamento da área de produção do milho foi observado na microrregião de Gerais de Balsas, no Sul do Estado, região R3, onde o rendimento agrícola médio foi da ordem de 2.061 Kg.ha⁻¹, representando 25% do rendimento agrícola do estado e com taxa de crescimento da ordem de 1.409%, ou seja, de 306 Kg.ha⁻¹ em 1990 para 4622 Kg.ha⁻¹ em 2004. Em seguida estão as regiões R6 e R10 que contribuíram com percentual de aproximadamente 14% cada, para o rendimento agrícola total do Estado, com taxa de crescimento de 602% e 2.656%, respectivamente. Esses números revelam o crescimento do rendimento agrícola do milho no centro-sul do estado entre 1990 e 2004, o qual está associado aos investimentos tecnológicos feitos na região.

O Estado do Maranhão é o terceiro maior produtor de milho do Nordeste brasileiro, ficando atrás dos Estados da Bahia e do Ceará, representando 14% da produção regional.

Tabela 4.4 – Rendimento do milho (Kg.ha⁻¹) por regiões homogêneas no Estado do Maranhão.

Anos	Regiões Homogêneas de Precipitação										Estado
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
1990	401	255	306	270	410	287	334	143	237	91	2734
1991	618	522	1572	356	502	817	663	573	494	1020	7137
1992	511	312	304	227	482	380	618	367	386	227	3814
1993	505	421	542	363	631	744	552	186	425	348	4717
1994	616	575	851	435	498	1014	887	730	572	582	6760
1995	626	594	753	377	532	851	671	534	416	552	5906
1996	720	498	607	404	579	711	810	601	393	823	6146
1997	679	499	765	435	457	820	784	610	405	620	6074
1998	578	425	1357	349	428	484	531	281	326	575	5334
1999	587	643	3655	469	561	1557	679	686	587	1218	10642
2000	599	685	4006	524	853	1759	922	695	609	1843	12495
2001	645	695	3516	470	847	1867	872	903	652	1938	12405
2002	715	632	4274	485	834	1817	931	705	535	2049	12977
2003	671	721	3782	494	1019	2068	1026	902	725	2345	13753
2004	678	814	4622	454	959	2015	1059	1038	699	2506	14844
Média	610	553	2061	407	639	1146	756	597	497	1116	8382
%/Estado	7,28	6,59	24,58	4,86	7,63	13,67	9,03	7,12	5,93	13,31	
%cresc.	69	219	1409	68	134	602	217	626	196	2656	443

Fonte dos dados: IBGE (2005)

4.2.4.3 - Cultura do Arroz

A cultura do arroz é cultivada em todo o Estado, o qual produziu em média 666.598 toneladas entre 1990 e 2004, apresentando crescimento de 58% no período, passando de 464.796 toneladas para 733.481 toneladas. No ano agrícola de 1996 a área de produção foi reduzida, como reflexo da dívida do setor agrícola, e que promoveu uma queda nos níveis de produção do Estado, a qual se estendeu para todas as regiões homogêneas. Somente a partir de 1999 é que a produção voltou a crescer.

A região R5, localizada na Baixada maranhense e em parte da microrregião de Pindaré, produziu em média 120.403 toneladas de arroz, o que equivale a 18% da produção estadual. Esta região contribuiu com o maior percentual de produção, porém foi a única em que a mesma apresentou decréscimo de 35% entre 1990 e 2004, com 132.669 toneladas e 86.775 toneladas, respectivamente.

Em seguida, vem às regiões R7 com 16%, localizada na microrregião do Pindaré, com taxa de crescimento de 106%, R8 com 12%, na Chapada do Alto Itapecuru, com 128% de crescimento nos níveis de produção, R4 e R6 com 10%, sobre as microrregiões de Itapecuru Mirim e Imperatriz/Grajaú, e crescimento de 49% e 73%, respectivamente. Com 9% de contribuição, em relação ao total médio do Estado, encontra-se a região R9, localizada nas microrregiões de Codó e Coelho Neto, com crescimento de 50%. A produção na região R1, cobrindo partes da Baixada, Litoral Ocidental e Gurupi, cresceu 52% entre 1990 e 2004, aonde a média chegou a 8% do total produzido pelo estado. As regiões que mais cresceram foram R2 (162%) no Baixo Parnaíba, R3 (221%) em Gerais de Balsas e R10 (166%) na Chapada das Mangabeiras, ambas contribuindo com apenas 6% para a produção total do Estado.

A área plantada com arroz no Estado apresentou uma redução de 24% entre 1990 e 2004, passando de 679.087 ha para 516.735 ha. O total médio de área colhida foi de 573.549 ha, dos quais em torno de 17% (98.804 ha) se concentrou na região R5; 14% (78.912 ha) na região R7; 13% (72.807 ha) na região R8; 12% (66.187 ha) na região R4; 11% (61.293 ha) na região R9; 9% (51.765 ha) na região R6; 7% (42.853 ha) na região R1; 5,8% (33.217 ha) na região R2; 6,4% (36.791 ha) na região R10 e 5% (30.919 ha) na região R3. A área plantada apresentou redução no período em todas as regiões, exceto nas regiões R1, R2 e R7, onde a taxa de crescimento foi da ordem de 21%, 7% e 24%, respectivamente.

Mesmo com a redução da área plantada, o rendimento agrícola no Estado se manteve crescente, aumentando de 122% entre 1990 e 2004, evoluindo de 6522 Kg.ha⁻¹ a 14513 Kg.ha⁻¹

(Tabela 4.5). Em relação ao total de rendimento do Estado houve um equilíbrio entre as regiões, com percentuais de contribuição que variaram entre 8,5% (regiões R4 e R9) e 11,5% em R6.

Os dados apresentados na Tabela 4.5 revelam, ainda, que individualmente as regiões apresentaram aumento do rendimento agrícola entre 1990 e 2004, sendo os maiores percentuais verificados nas regiões R3 (484%), R10 (316%), R6 (270%), R8 (192%), R2 (145%) e R9 (124%). A região em que o rendimento menos cresceu foi a R5, apenas 15%, sendo, no entanto a que mais produziu no período. Ressalta-se que as regiões, em que o rendimento mais cresceu concentram-se principalmente no Centro-Sul do Estado, respondendo à melhoria das condições de cultivo e à inserção de novas tecnologias.

O Estado do Maranhão é o quarto maior produtor de arroz do Brasil, sendo superado apenas pelos Estados do Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Santa Catarina, representando 6,6% da produção nacional, respondendo atualmente por 57% da produção da região Nordeste do Brasil.

Tabela 4.5 – Rendimento (Kg.ha⁻¹) do arroz por regiões homogêneas de precipitação no Estado do Maranhão.

Anos	Regiões homogêneas de precipitação										Estado
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
1990	957	728	280	653	1179	483	844	472	582	344	6522
1991	1211	1246	1112	1193	1284	1357	1654	1122	1199	1273	12651
1992	754	322	263	408	650	746	660	554	312	429	5098
1993	865	824	829	872	1016	1274	734	420	589	1017	8440
1994	1399	1403	1314	1084	1356	1731	1468	1333	1193	1526	13807
1995	1310	1326	1253	788	1242	1655	1422	1206	982	1302	12486
1996	1218	1104	1400	1155	1574	1375	1623	1280	1211	1330	13270
1997	1176	1105	1476	1103	1447	1363	1630	1299	1262	1343	13204
1998	1383	822	867	999	1142	682	1100	497	657	435	8584
1999	1163	1273	2038	1223	1198	1741	1437	1471	1345	1655	14544
2000	1187	1488	2062	1279	1350	1860	1560	1506	1326	1774	15392
2001	1220	1442	1739	1152	1447	1627	1486	1259	1169	1240	13781
2002	1266	1424	1843	1105	1423	1420	1522	1080	944	1308	13335
2003	1188	1844	1631	1157	1329	1662	1362	1294	1284	1545	14296
2004	1204	1786	1632	1227	1360	1787	1401	1379	1305	1432	14513
Média	1167	1209	1316	1027	1266	1384	1327	1078	1024	1197	11995
%/Estado	9,73	10,08	10,97	8,56	10,56	11,54	11,06	8,99	8,54	9,97	
%cresc.	26	145	484	88	15	270	66	192	124	316	122

Fonte dos dados: IBGE (2005)

4.3 – INDICADORES REGIONALIZADOS DE RENDIMENTO AGRÍCOLA

Combinações lineares das variáveis originais, representadas pelas componentes principais, foram denominadas aqui como os indicadores regionalizados de rendimento agrícola das culturas de soja, arroz e milho, avaliados por meio de modelos de regressão linear múltipla, com seleção dos melhores preditores pelo método Stepwise. Foram mantidas nos modelos somente as componentes estatisticamente significativas ao nível de no mínimo 95% ou mais de confiança.

Para verificar, exclusivamente, os efeitos dos indicadores no rendimento agrícola, foram verificados e removidos do mesmo, se constatados, por análise de regressão, os efeitos tecnológicos, obtendo-se dessa forma o se denominou de rendimento agrícola corrigido.

4.3.1-Região homogênea de precipitação pluvial R3: Soja

A região R3, localizada no Sul do Estado do Maranhão, foi identificada como a maior produtora de soja. Nessa região, o início da estação de crescimento ocorre normalmente em outubro com término previsto em maio, quando o total pluviométrico acumulado é da ordem de 1276 mm. O ciclo produtivo da soja inicia normalmente no primeiro decênio de outubro e varia entre 110 e 135 dias.

A Tabela 4.6 mostra o provável calendário agrícola da cultura para um ciclo médio de 120 dias considerando-se diferentes fases: fase I, germinação/emergência; fase II, crescimento/desenvolvimento; fase III, floração e enchimento de grãos e fase IV maturação fisiológica, conforme aplicado pela EMBRAPA para o zoneamento de risco climático para a cultura no Maranhão. O período favorável à sementeira na região começa a partir do primeiro decênio de outubro, com fim do período de maturação ocorrendo no último decênio de janeiro. Os plantios mais tardios podem ser realizados até o último decênio de dezembro com período de maturação no fim da estação chuvosa, segundo decênio de abril.

O rendimento agrícola real médio apresentou tendência de crescimento entre 1990 e 2004, passando de apenas 275 Kg.ha⁻¹, em 1990, para mais de 2500 Kg.ha⁻¹, em 2004, Figura 4.24. Esse aumento substancial no rendimento agrícola real, supostamente pode estar associado à incorporação de novas tecnologias no sistema de produção da cultura, principalmente a partir de 1993, haja visto que, entre 1990 e 1993 o rendimento agrícola real e o corrigido mantiveram-se próximos, o que leva a crer que não houve incremento de novas tecnologias nesse período. Entre 1990 e 2004 a média de rendimento real foi de 1997 Kg.ha⁻¹, enquanto que a média de rendimento corrigido, ou seja, sem a tendência tecnológica foi de 1290 Kg.ha⁻¹.

Tabela 4.6 - Calendário agrícola da cultura da soja para a região R3 no Sul do Maranhão para ciclo médio de 120 dias

Estação de Cultivo																				
Out			Nov			Dez			Jan			Fev			Mar			Abr		
Decêndios																				
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde							
	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde							
		Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
			Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
				Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
					Amarelo	Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
						Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
							Amarelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
								Amarelo	Amarelo	Verde										

Ciclo produtivo

Fase I Amarelo Fase II Verde Fase III Azul Fase IV Rosa

Depois de removida a tendência tecnológica, o rendimento agrícola corrigido, apresentou variabilidade interanual, o que sugere que não existe somente o efeito da tecnologia no rendimento agrícola da soja nessa região do estado, e que outras variáveis de natureza não tecnológica afetam os níveis de rendimento. Dessa forma, no sentido de avaliar os efeitos de outras variáveis no rendimento agrícola da soja na região R3 foram desenvolvidos diferentes indicadores, compostos pela combinação linear de variáveis agroclimáticas e oceânicas, definidos por análise de componentes principais, dos quais apenas os que melhor contribuíram para explicar o rendimento agrícola da soja foram analisados, conforme descrito na Tabela 4.7.

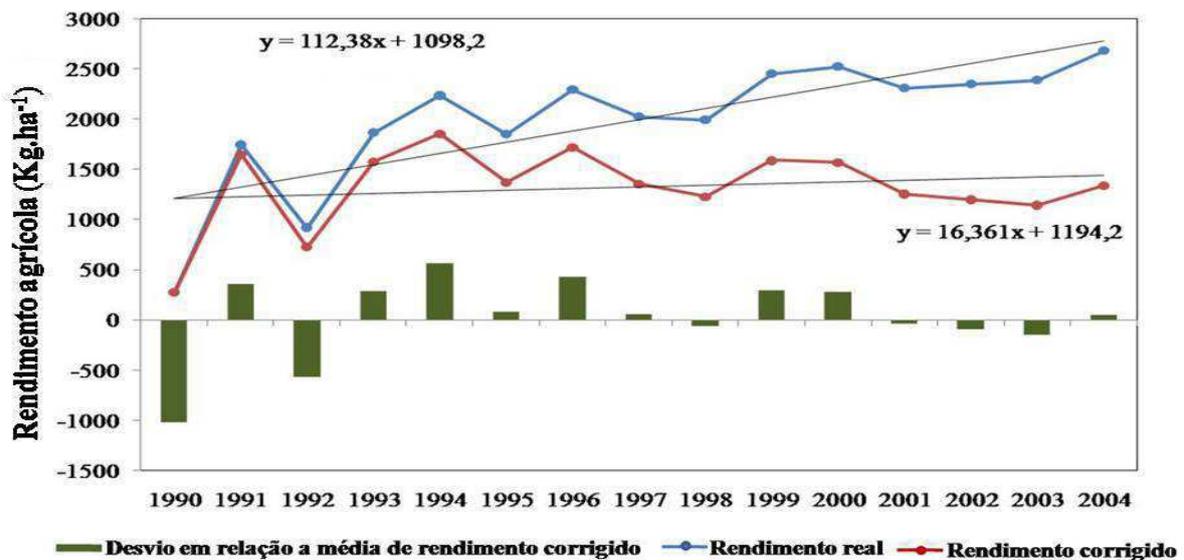


Figura 4.24 – Tendência, rendimento real, corrigido e desvios de rendimento da soja para a região homogênea de precipitação R3 no Sul do Estado do Maranhão.

Tabela 4.7 – Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão.

Indicadores	Variáveis	Meses
1	Precipitação-P Temperatura média-Tm Deficiência hídrica-D	Out-Abr
2	Precipitação-P Temperatura média-Tm Deficiência hídrica-D Temperatura máxima-Tx	Out-Abr
3	Precipitação-P Temperatura máxima-Tx Temperatura mínima-Ti Excesso hídrico-Ex Deficiência hídrica-D	Out-Abr Nov-Mar Out, Dez-Abr Dez-Abr Out, Dez-Mar
4	Precipitação-P Temperatura média-Tm Temperatura máxima-Tx Deficiência hídrica-D Excesso hídrico-Ex	Out-Abr Out, Dez-Abr Out-Mar Out, Dez-Mar Dez-Abr
5	Precipitação-P Temperatura máxima-Tx Temperatura média-Tm Deficiência hídrica-D Excesso hídrico-Ex Armazenamento-AR Anomalias de TSM Pacífico-N3	Out-Abr Out-Mar Out, Dez-Abr Out, Dez-Mar Dez-Abr Out-Nov Out
6	Precipitação-P Temperatura média-Tm Temperatura máxima-Tx Temperatura mínima-Ti Evapotranspiração Relativa-ER/EP	Out-Abr
7	Precipitação-P Temperatura mínima-Ti Temperatura máxima-Tx Evapotranspiração relativa -ER/EP Excesso hídrico-Ex	Out-Abr Out, Dez-Abr Nov-Mar Dez-Mar Dez-Mar
8	Temperatura média-Tm Temperatura máxima-Tx Temperatura mínima-Ti Deficiência hídrica-D	Out-abr

O primeiro indicador foi composto pelas variáveis: precipitação, temperatura média do ar e deficiência hídrica nos meses de outubro a abril. As sete primeiras componentes principais, explicaram 92% da variância total (Apêndice 4.1). As componentes CP1, CP3, CP5, CP6 e CP7 foram consideradas significativas na composição do modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja. As variáveis mais importantes, que explicam a maior parte da

variabilidade de cada componente, estão expressas na Figura 4.25. O maior percentual de contribuição da componente CP1, conforme visto na Figura 4.25a, foi associado à precipitação de abril (PAbr), temperatura média do ar nos meses de novembro (TmNov), janeiro (TmJan), fevereiro (TmFev), março (TmMar) e abril (TmAbr) e a deficiência hídrica nos meses de novembro (DNov), fevereiro (DFev) e abril (DAbr), enquanto a deficiência hídrica em dezembro (DDez) e março (DMar) tem o maior percentual de contribuição associado à componente CP3; a componente CP5 recebeu a maior contribuição da precipitação de novembro (PNov) e das temperaturas médias de janeiro (TmJan) e março (TmMar) e a componente CP6 relacionou-se com a precipitação em fevereiro (PFev) e dezembro (PDez) e deficiência hídrica em fevereiro (DFev), Figura 4.25b, enquanto que a componente CP7 associou-se também à precipitação de dezembro (PDez) e janeiro (PJan), e mais fortemente à deficiência hídrica no mês de janeiro (DJan), conforme mostrado na Figura 4.25c.

As componentes acima descritas explicaram 77% da variabilidade do rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Estado, de acordo com o coeficiente de determinação ajustado, com coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados de 92% e índice de exatidão, proposto por Willmott *et. al.* (1985), da ordem de 0,96, com dispersão dos pontos em torno da reta 1:1 verificado na Figura 4.25d. Os parâmetros estatísticos associados à regressão estão descritos no Apêndice 4.9.

O segundo indicador foi constituído pelas mesmas variáveis e período do primeiro indicador com a inclusão da temperatura máxima. Esse cenário foi explicado pelas sete primeiras componentes principais que acumularam 92% da variância total dos dados (Apêndice 4.2). As componentes CP1, CP4, CP5 e CP7 foram significativas para explicar a variabilidade do rendimento agrícola da soja. A componente CP1, conforme mostrado na Figura 4.26a, correlacionou-se com a precipitação nos meses de novembro (PNov) e abril (PAbr); temperatura média nos meses de novembro (TmNov), janeiro (TmJan) a abril (TmAbr); temperatura máxima nos meses de novembro (TxNov), fevereiro (TxFev) a abril (TxAbr) e a deficiência hídrica nos meses novembro (DNov) e abril (DAbr); a componente CP4 apresentou associação forte somente com a deficiência hídrica nos meses de dezembro (DDez) e março (DMar); a temperatura máxima em janeiro (TxJan), a deficiência hídrica em janeiro (DJan) e a precipitação em dezembro (PDez) e janeiro (PJan) correlacionaram-se com a componente CP5, enquanto que a precipitação em novembro (PNov) e a temperatura média em março (TmMar) se correlacionaram a componente CP7, conforme visto na Figura 4.26b.

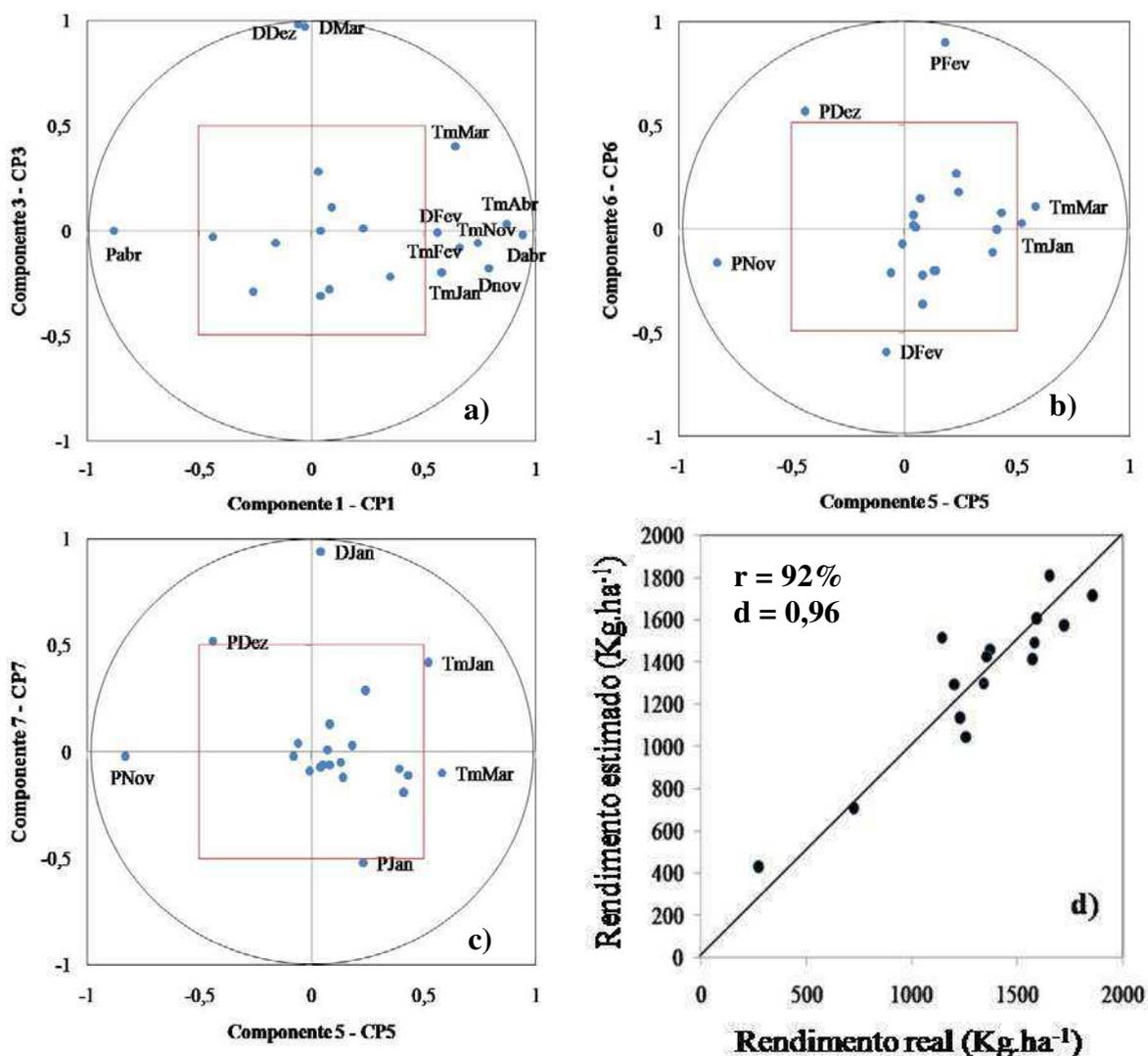


Figura 4.25 – Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Estado do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP5 x CP6, c) CP5 x CP7 e d) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

A inclusão da temperatura máxima melhorou o ajuste do modelo de regressão em estimar o rendimento agrícola da soja na região R3, o qual explicou cerca de 80% da sua variabilidade com exatidão entre os valores estimados e observados de 0,96 e coeficiente de correlação de 92%, conforme revelado na Figura 4.26c, com parâmetros estatísticos do modelo de regressão expressos no Apêndice 4.9.

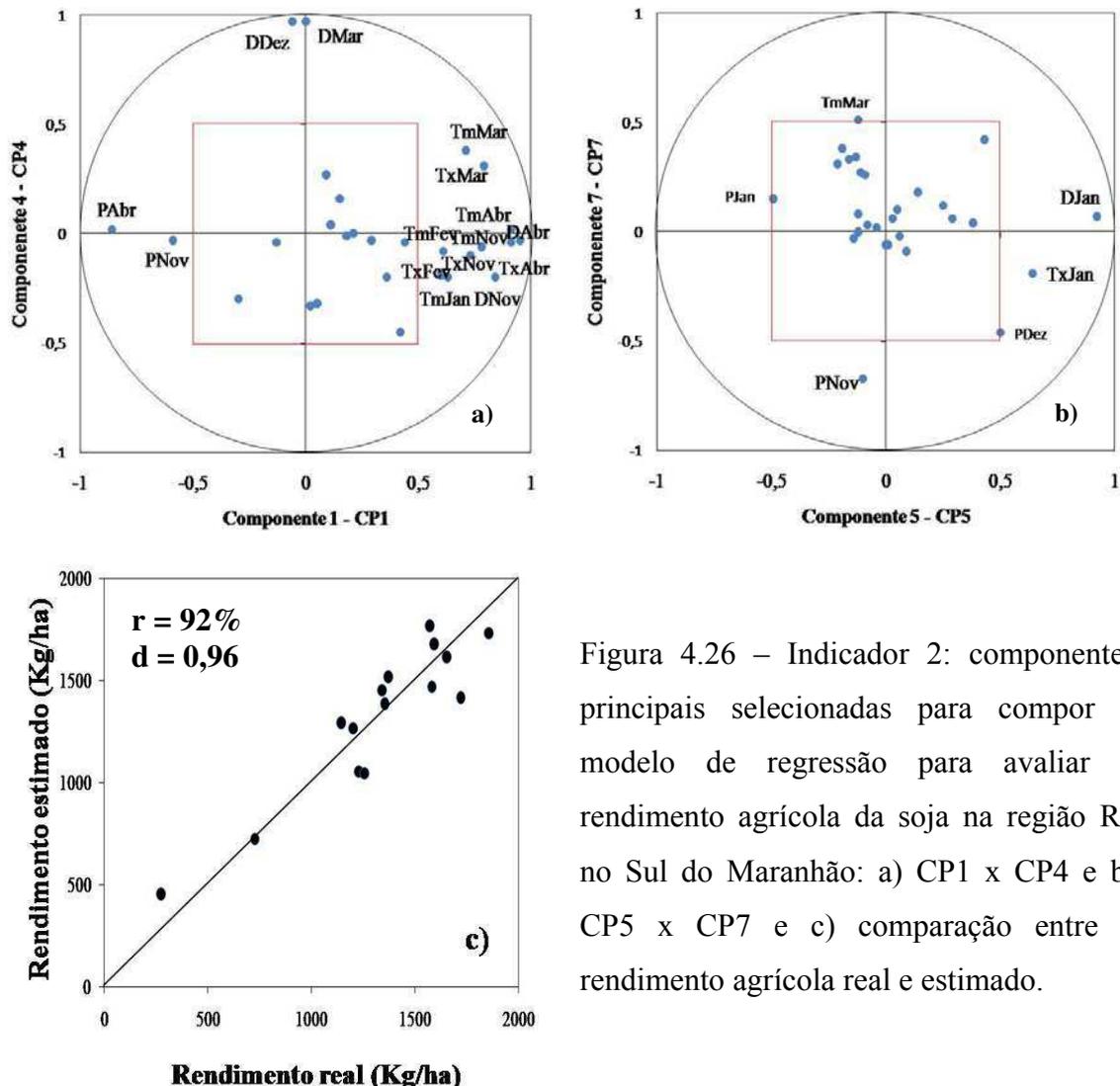


Figura 4.26 – Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP4 e b) CP5 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O terceiro indicador incorporou os efeitos da precipitação (outubro-abril), temperatura máxima (novembro-março), temperatura mínima (outubro, dezembro-abril), deficiência hídrica (outubro, dezembro-março) e excesso hídrico (dezembro-abril). Esse indicador foi explicado pelas oito primeiras componentes principais que acumularam 91% da variância total dos dados (Apêndice 4.3). Dessas oito componentes apenas três foram consideradas significativas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja, quais sejam, CP2, CP3 e CP6. A componente CP2, como mostrado na Figura 4.27a correlacionou-se com a precipitação em novembro (PNov) e abril (PAbr), temperatura máxima em novembro (TxNov) e janeiro (TxJan) a março (TxMar), deficiência hídrica em outubro (DOut) e excesso hídrico em abril (ExAbr). Ainda nessa figura, observa-se que a precipitação (PDez), temperatura máxima (TxDez) e excesso hídrico (ExDez) em dezembro e a temperatura mínima em abril (TiAbr) foram mais bem correlacionadas com a componente CP3, e por fim a deficiência hídrica em dezembro (DDez) e março (DMar) apresentou forte correlação com a componente CP6 (Figura 4.27b).

Esse indicador, com a inclusão das temperaturas extremas (máxima e mínima) e o excesso hídrico explicou 84% da variabilidade do rendimento da soja na região R3, de acordo com o coeficiente de determinação ajustado. A relação entre os valores observados e estimados pelo modelo foi de 94% com exatidão de 0,97, de acordo com o índice de Willmott *et. al.* (1985), conforme verificado na Figura 4.27c e no Apêndice 4.9, onde se verificam os parâmetros estatísticos do modelo de regressão.

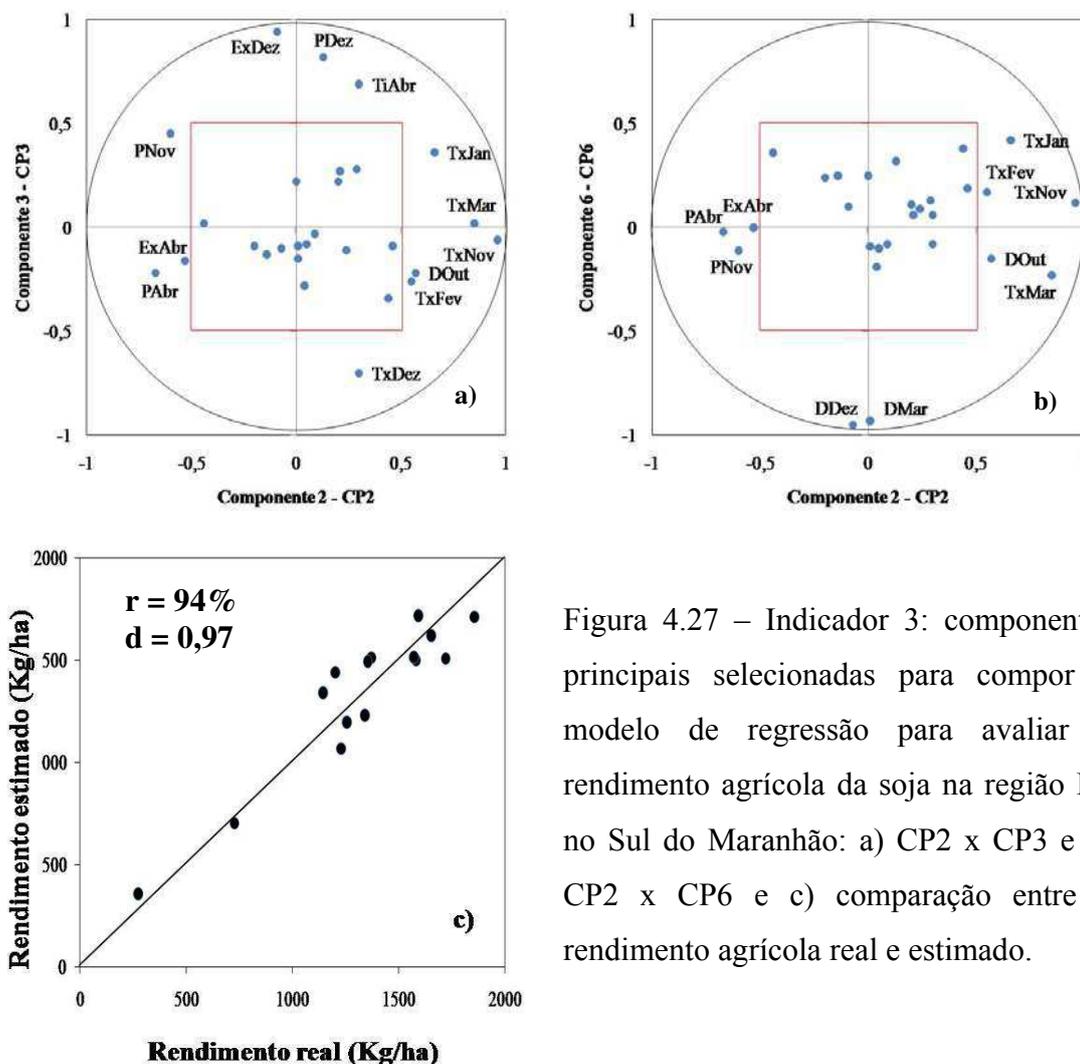


Figura 4.27 – Indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP2 x CP3 e b) CP2 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

A precipitação (outubro-abril), temperatura média (outubro, dezembro-abril); temperatura máxima (outubro-março); deficiência hídrica (outubro, dezembro-março) e excesso hídrico (dezembro-abril) foram utilizados na composição do quarto indicador. Essas variáveis foram explicadas pelas sete primeiras componentes principais, que acumularam 90% da variância total (Apêndice 4.4). Apenas as componentes CP5, CP6 e CP7 foram consideradas significativas para avaliar o rendimento agrícola da soja. A componente CP5, Figura 4.28a, se correlacionou com a precipitação em dezembro (PDez), temperatura máxima (TxJan) e deficiência hídrica (DJan) em janeiro e excesso hídrico em dezembro (ExDez); a deficiência

hídrica em dezembro (DDez) e março (DMar) apresentou forte correlação com a componente CP6, enquanto que a precipitação (PAbr) e o excesso hídrico (ExAbr) em abril foram mais bem correlacionados a componente CP7, Figura 4.28b.

A substituição da temperatura mínima pela temperatura média do ar aumentou em 1% o poder de explicação do modelo composto pelas referidas componentes, em relação ao indicador 3, respondendo por 85% da variabilidade da soja, com menor dispersão dos pontos em torno da reta 1:1, conforme visto na Figura 4.28c. Os coeficiente de correlação e de exatidão (WILLMOTT *et. al.*, 1985) entre os valores observados e estimados pelo modelo foram de 94% e 0,97, respectivamente. No Apêndice 4.9 encontram-se os parâmetros estatísticos do modelo de regressão.

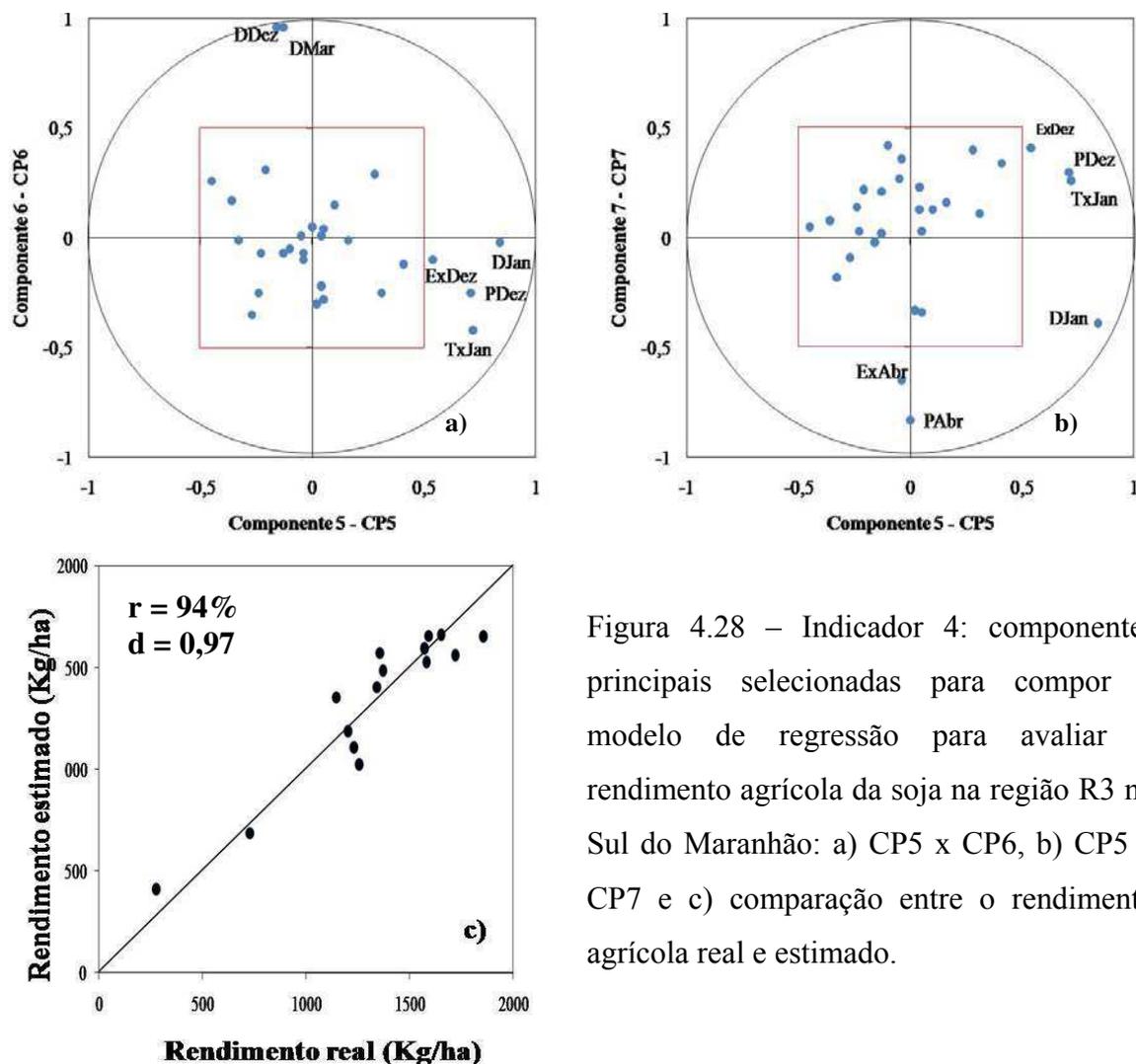


Figura 4.28 – Indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP5 x CP6, b) CP5 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O quinto indicador foi composto pelas mesmas variáveis do quarto indicador, mais o armazenamento (outubro e novembro) e a anomalia de TSM do Pacífico na região N3 em outubro. Foram retidas as sete primeiras componentes as quais acumularam em torno de 90% da variância total das variáveis originais (Apêndice 4.5). Na composição do modelo de regressão foram definidas como significativas as componentes CP1, CP3 e CP6. A precipitação em

novembro (PNov) e abril (PAbr), temperatura média de janeiro (TmJan) a abril (TmAbr), temperatura máxima em novembro (TxNov), fevereiro (TxFev) e março (TxMar), armazenamento em novembro (ARNov) e anomalia de TSM na região N3 em outubro (N3Out) se correlacionaram com a componente CP1; enquanto que a precipitação (PDez), temperatura máxima (TxDez) e excesso hídrico em dezembro (ExDez) e o armazenamento em outubro (AROut) apresentaram maiores contribuições a componente CP3 (Figura 4.29a). Por fim, correlações fortes foram verificadas entre a componente CP6 e a deficiência hídrica nos meses de dezembro (DDez) e março (DMar) e leve com a temperatura máxima em janeiro (TxJan), conforme observado na Figura 4.29b.

A incorporação nas análises do armazenamento de água e anomalias de TSM na região do Pacífico N3 não melhorou a eficiência do modelo em relação ao indicador 4, porém o manteve com um bom desempenho, explicando 83% da variabilidade do rendimento agrícola da soja na região R3 e com boa exatidão entre os valores reais e estimados com índice de ajuste de 0,96 e coeficiente de correlação de 93% (Figura 4.29c, Apêndice 4.9).

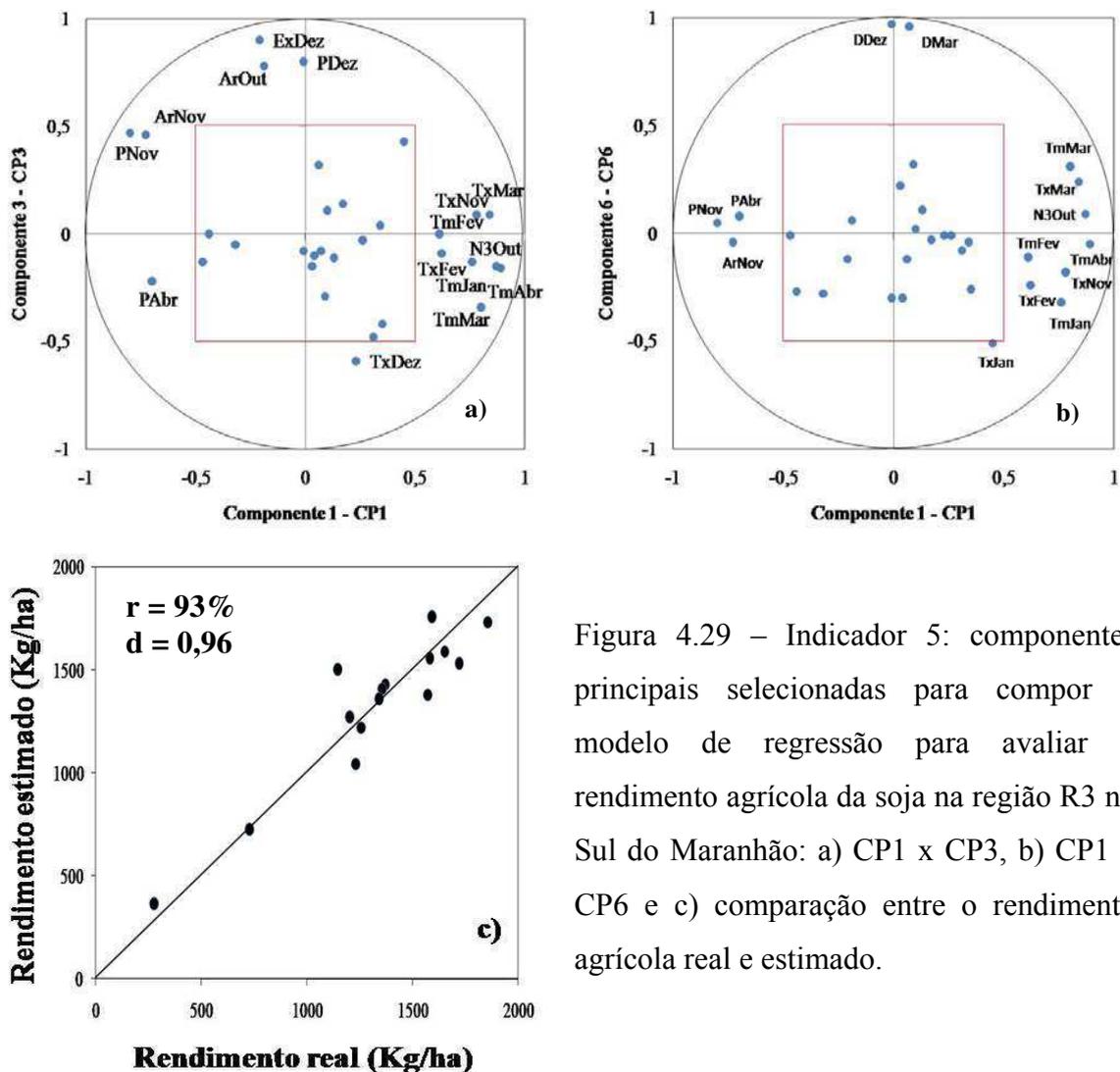


Figura 4.29 – Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

Na composição do sexto indicador foram incluídas a precipitação, temperatura média, mínima e máxima e a evapotranspiração relativa entre os meses de outubro e abril. As nove primeiras componentes principais explicaram 94% da variabilidade das variáveis (Apêndice 4.6). Apenas as componentes CP3, CP4 e CP5 foram selecionadas como significativas para avaliar o rendimento agrícola da soja. A contribuição a variância total da componente CP3, Figura 4.30a, foi explicada principalmente pela precipitação em janeiro (PJan) e março (PMar), temperatura média em dezembro (TmDez) e temperatura máxima em dezembro (TxDez) e fevereiro (TxFev); a componente CP4 associou-se a temperatura média (TmOut) e máxima (TxOut) em outubro e a temperatura mínima em outubro (TiOut) e abril (TiAbr); enquanto que a componente CP5 aparece mais bem correlacionada a evapotranspiração relativa em dezembro (ER/EPDez) e março (ER/EPMar), temperatura média em março (TmMar) e temperatura máxima em janeiro (TxJan), Figura 4.30b.

A tentativa de inserir as temperaturas extremas e médias e a substituição da deficiência hídrica pela evapotranspiração relativa, que evidencia as necessidades de água para a cultura, reduziu para 70% a explicação e a eficiência do modelo na avaliação da variabilidade do rendimento agrícola da soja, sendo, portanto, o indicador que apresentou o pior ajuste entre os valores observados e estimados, com coeficiente de correlação de 87% e índice de exatidão de 0,92, conforme mostrado na Figura 4.30c onde se verifica uma maior dispersão dos pontos em torno da reta 1:1 e a consequente redução da exatidão do modelo, cujos parâmetros estatísticos encontram-se no Apêndice 4.9.

O sétimo indicador, constituído pela precipitação (outubro-abril), temperatura máxima (novembro-março), temperatura mínima (outubro, dezembro-abril), excesso hídrico (dezembro-março) e a evapotranspiração relativa (dezembro-março) foi representado pelas oito primeiras componentes principais, sendo responsáveis por 91% da variabilidade dos dados originais (Apêndice 4.7). O modelo de regressão com três variáveis independentes, quais sejam, CP1, CP3 e CP7 foi significativo na avaliação do rendimento agrícola da soja. A componente CP1 foi mais bem correlacionada com a precipitação nos meses de novembro (PNov) e abril (PAbr) e temperatura máxima em novembro (TxNov) e janeiro (TxJan) a março(TxMar); enquanto a componente CP3 esteve associada a precipitação em novembro (PNov) e dezembro (PDez), temperatura máxima em dezembro (TxDez), temperatura mínima em abril (TiAbr) e fortemente ao excesso hídrico em dezembro (ExDez), Figura 4.31a. Por fim a evapotranspiração relativa em dezembro (ER/EPDez) e março (ER/EPMar) responde pela maior variabilidade da componente CP7 (Figura 4.31b).

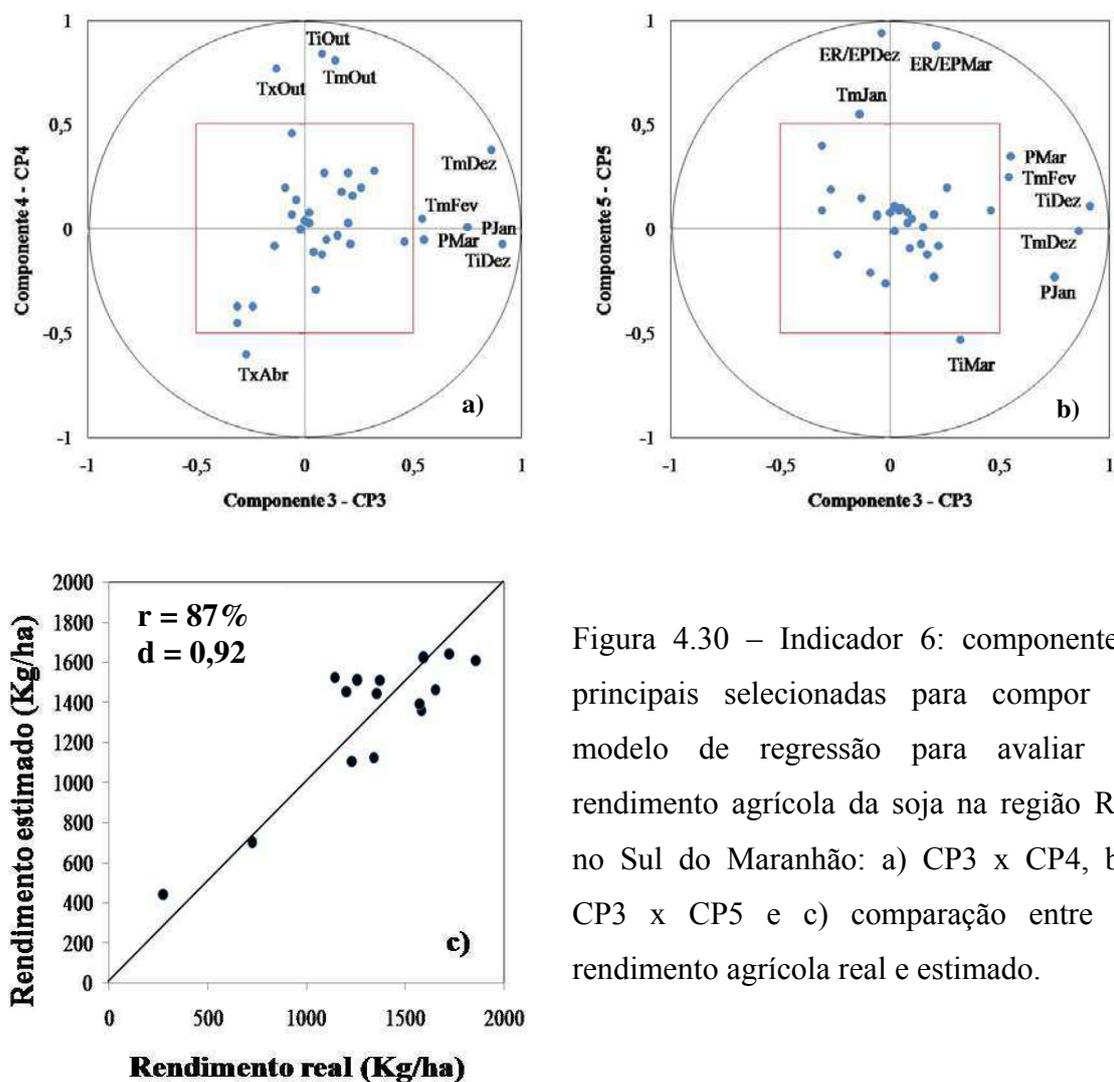


Figura 4.30 – Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP3 x CP4, b) CP3 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

Essas componentes responderam por 81% da variabilidade do rendimento agrícola da soja na região R3, com exatidão entre os valores observados e estimados de 0,96, conforme índice de concordância de Willmott *et. al.* (1985), e correlação de 93% (Figura 4.31c). A descrição dos parâmetros estatísticos relativos o modelo de regressão estão definidos no Apêndice 4.9.

Por fim o oitavo indicador, constituído pela combinação das temperaturas mínima, médias, máximas e deficiências hídricas de outubro a abril, o qual foi representado pelas sete primeiras componentes principais (Apêndice 4.8), que acumularam 91% da variabilidade dos dados originais, das quais, as componentes CP1, CP3 e CP4 foram significativas na avaliação do rendimento agrícola da soja.

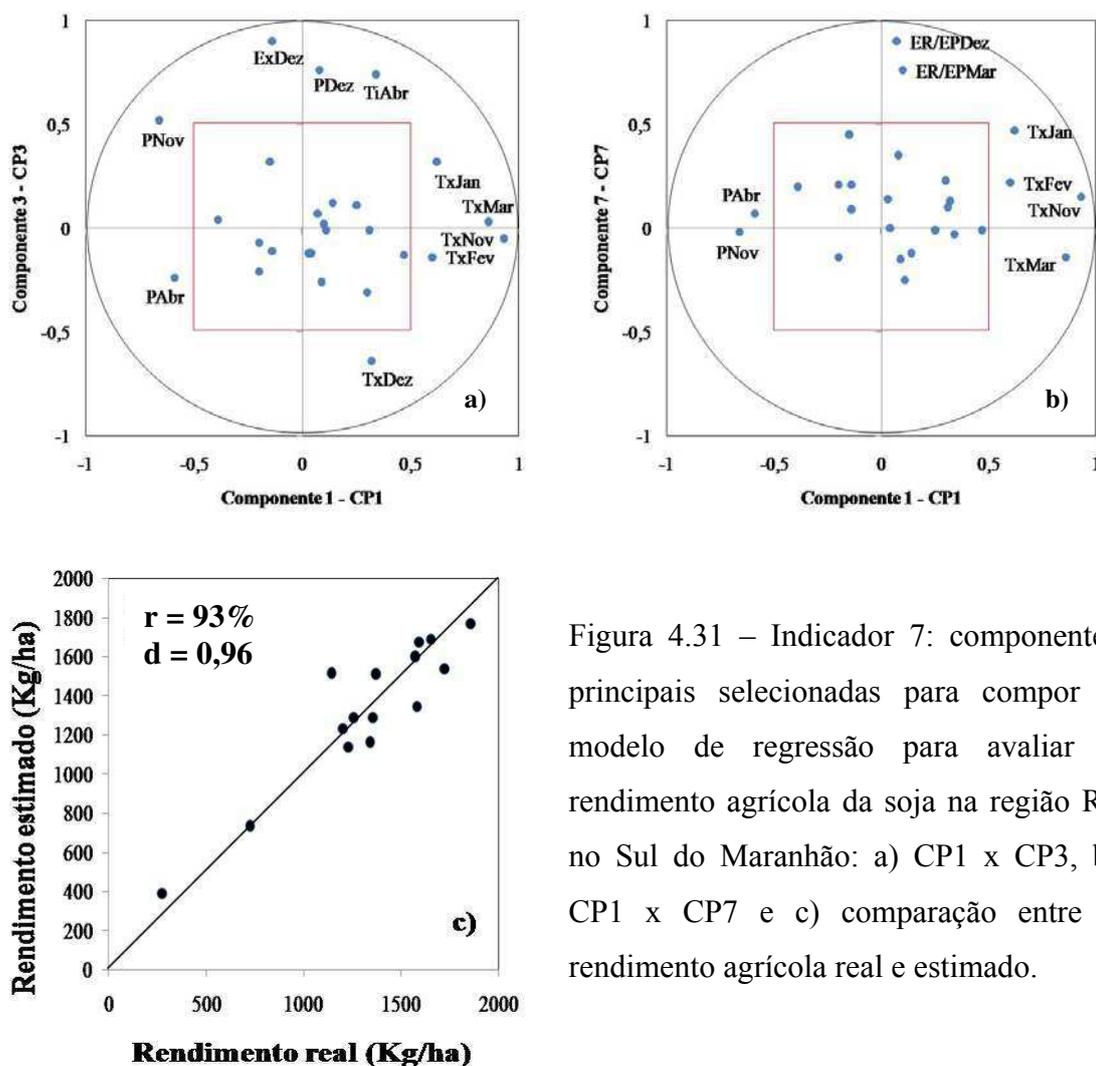


Figura 4.31 – Indicador 7: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP7 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

A componente CP1 correlacionou-se com a temperatura mínima de abril (TiAbr), temperatura média de novembro (TmNov), janeiro (TmJan) e abril (TmAbr), temperatura máxima de novembro (TxNov), janeiro (TxJan), março (TxMar) e abril (TxAbr) e a deficiência hídrica de outubro (DOut), novembro (DNov) e abril (DAbr) (Figura 4.32a). Por outro lado, como observado na mesma figura, a temperatura mínima do mês de outubro (TiOut) e abril (TiAbr), temperatura média de outubro (TmOut) e janeiro (TmJan), temperatura máxima de outubro (TxOut) e deficiência hídrica de outubro (DOut) e novembro (DNov) foram mais bem correlacionadas com a componente CP3. As temperaturas médias de março (TmMar) e máximas de janeiro (TxJan) e principalmente a deficiência hídrica de dezembro (DDez) e março (DMar), responderam pela maior variabilidade da componente CP4 (Figura 4.32b).

Essas componentes explicaram apenas 74% da variabilidade da soja na região R3. Porém o ajuste entre os valores observados e estimados foi da ordem de 0,94, segundo índice de concordância de Willmott *et. al.* (1985), com correlação de 89% (Figura 4.32c, Apêndice 4.9).

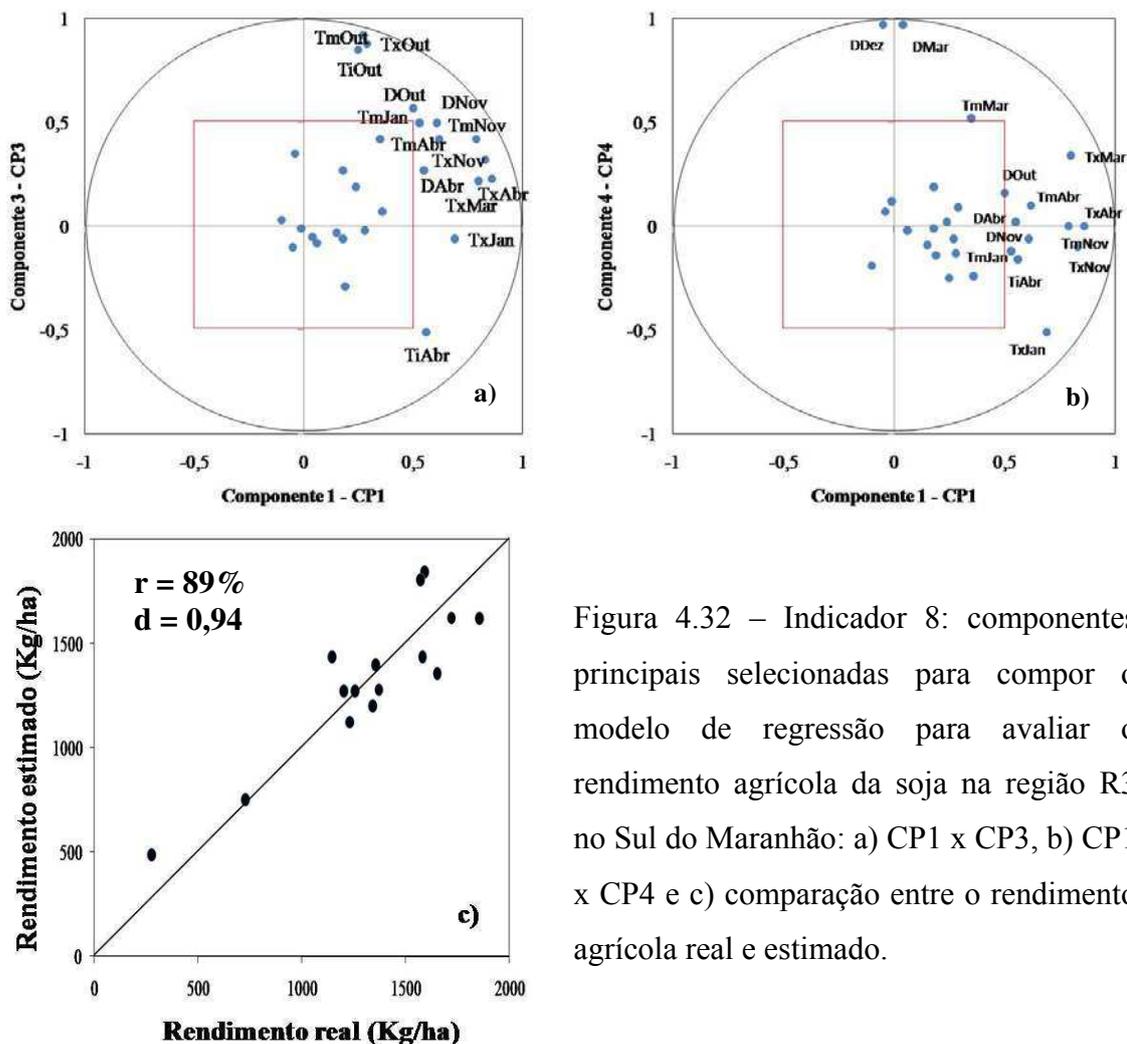


Figura 4.32 – Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP1 x CP4 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

As componentes principais, utilizadas como indicadores do rendimento agrícola, incorporam os efeitos de todas as variáveis, uma vez que se refere à combinação linear das mesmas, porém ressalta-se que as variáveis mais bem correlacionadas respondem pela maior parte da variabilidade de uma determinada componente, tornando-se dessa maneira importantes na avaliação dos indicadores.

Partindo dessa premissa, a precipitação nos meses de dezembro (floração e enchimento de grãos) e abril (maturação fisiológica), a temperatura máxima no mês de janeiro (floração e enchimento de grãos), a deficiência hídrica nos meses de dezembro, janeiro e março (maturação fisiológica), e o excesso hídrico nos meses de dezembro e abril, apresentaram maior percentual de contribuição a variância explicada pelas componentes principais, se configurando, dessa forma, nas variáveis mais importantes, afetando negativamente o rendimento agrícola da soja na região R3 no Sul do Estado do Maranhão.

A cultura da soja é sensível à ocorrência de déficits hídricos expressivos durante os períodos de floração e de enchimento de grãos, os quais provocam alterações fisiológicas na

planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas e, como consequência, causam a queda prematura de folhas e de flores e abortamento de vagens, resultando em uma redução do rendimento de grãos, enquanto que ocorrências de chuvas no final do ciclo produtivo podem atrasar a colheita. Por outro lado, temperatura do ar elevadas na fase reprodutiva da soja, de acordo com Marin (2004), afetam o início da floração e a fixação da vagem provocando queda de rendimento da cultura.

De acordo com a EMBRAPA SOJA (2003), a deficiência hídrica é uma das principais causas da variação do rendimento agrícola da soja no Brasil, e a necessidade de água da cultura aumenta de acordo com o desenvolvimento da cultura, com máximo ocorrendo na fase de enchimentos dos grãos, decrescendo na colheita.

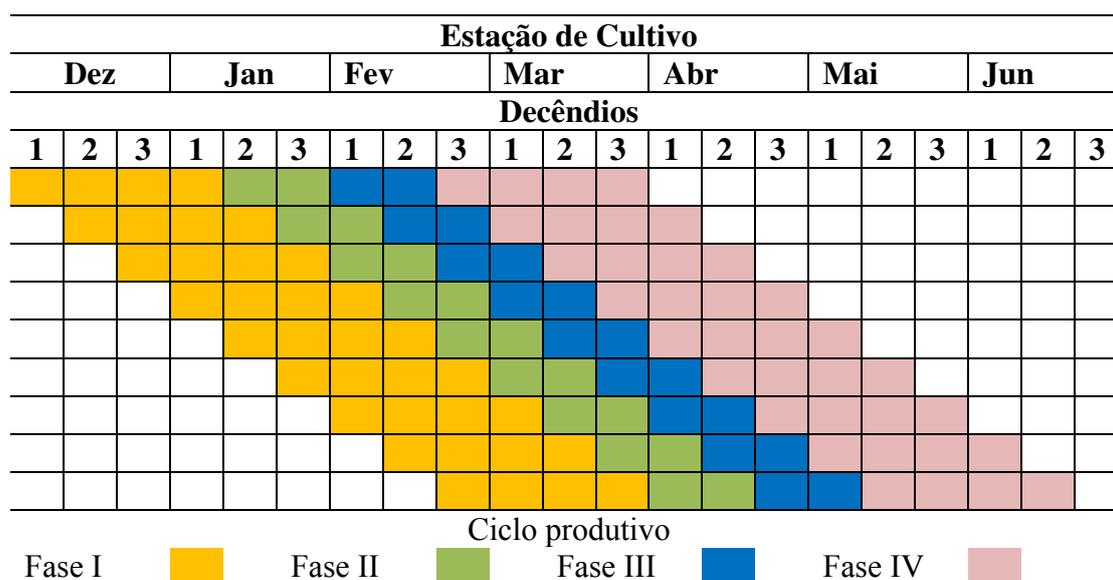
A relação entre o rendimento agrícola da soja na região R3 e as anomalias de TSM do Pacífico Tropical e o dipolo do Atlântico não foi evidenciada, pois quando essas foram incorporadas nos modelos os mesmos não apresentaram ajuste satisfatório.

4.3.2-Região homogênea de precipitação pluvial R7: Milho

Na região R7, localizada no Centro-Oeste maranhense, concentra a maior parte da produção de milho do Estado do Maranhão, representando 19% de sua produção total. A estação de cultivo está compreendida entre os meses dezembro e junho, quando o total pluviométrico acumulado é de 1250 mm.

O milho tem um ciclo médio de 120 dias, podendo ser plantado entre dezembro (início da estação de cultivo e chuvosa da região) e março, para ser colhido em junho, próximo ao final do período chuvoso, conforme identificado na Tabela 4.8, sendo consideradas as seguintes fases do ciclo: fase I, estabelecimento; fase II, desenvolvimento; fase III, florescimento/enchimento de grãos e fase IV, maturação/senescência.

Tabela 4.8 - Calendário agrícola do milho para a região R7 no Centro-Oeste do Maranhão para ciclo médio de 120 dias.



Na Figura 4.33 verifica-se a evolução, por ano agrícola, do rendimento agrícola real e corrigido (sem os efeitos tecnológicos) do milho, com as respectivas tendências, bem como os desvios de rendimento corrigido em relação à sua média. O rendimento agrícola médio observado apresentou tendência de crescimento durante o período de 1990 a 2004, com média de 755,7 Kg.ha⁻¹, enquanto que o rendimento corrigido a média foi de 507,2 Kg.ha⁻¹.

Ainda de acordo com a Figura 4.33, apesar da tendência de aumento do rendimento agrícola observado entre 1990 e 2004, a região passou por diferentes fases. Entre 1990 e 1994 o rendimento agrícola apresentou tendência crescente, decrescendo a partir daí até 1998, quando volta novamente a crescer. As oscilações climáticas assim como as instabilidades nas políticas agrícolas supostamente podem ter contribuído para essas variações no rendimento agrícola do milho. A melhoria das condições de cultivo como novas cultivares, insumos, mecanização e etc., principalmente a partir de 1998, podem ter contribuído para o crescimento do rendimento agrícola neste período. Por outro lado, entre 1990 e 1998 o rendimento agrícola real e o corrigido mantiveram-se próximos, o que sugere que não houve incremento de novas tecnologias durante esse período, principalmente entre 1990 e 1994.

Depois de removida a tendência tecnológica o rendimento agrícola corrigido do milho apresentou variabilidade interanual, constatando o efeito de outros fatores de natureza não tecnológica sobre o rendimento. Dessa forma, foi investigado a influência de variáveis agroclimáticas e oceânicas no rendimento agrícola do milho na região R7. Das diferentes combinações de variáveis submetidas à análise de componentes principais, as que se mostraram

significativas na avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7, de acordo com modelos de regressão linear múltipla, encontram-se discriminados na Tabela 4.9.

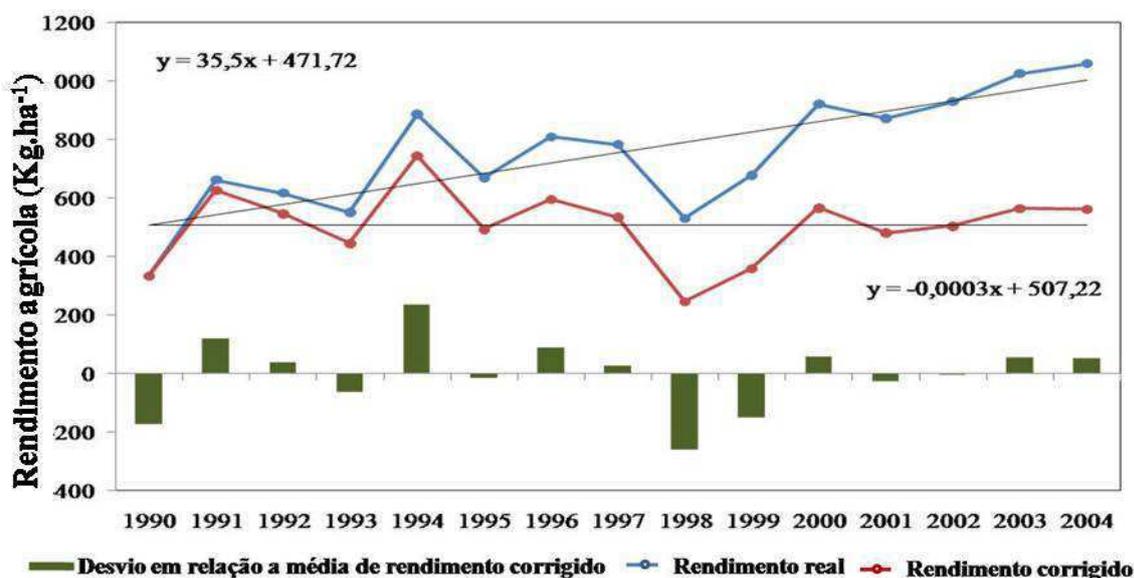


Figura 4.33 – Rendimento real, corrigido e desvios de rendimento do milho para a região homogênea de precipitação R7 no Cento-Oeste do Estado do Maranhão.

O primeiro indicador correspondeu às variáveis, precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima do ar durante os meses de novembro a maio. Os resultados da análise de componentes principais aplicada a esse indicador mostraram que foram definidas cinco componentes principais explicando 84,5% da variância total dos dados originais (Apêndice 4.10). Dessas cinco componentes apenas a componente CP1 não se mostrou significativa para explicar o rendimento agrícola do milho.

A componente CP2 foi mais bem relacionada à precipitação nos meses de dezembro (PDez), fevereiro (PFev) e abril (PAbr), e a temperatura máxima nos meses de fevereiro (TxFev), abril (TxABr) e maio (TxMai); enquanto que a precipitação no mês de janeiro (PJan) e a temperatura máxima nos meses de novembro (TxNov) e janeiro (TxJan) aparecem associadas à componente CP3 (Figura 4.34a). A componente CP4 apresentou as maiores contribuições da precipitação em dezembro (PDez), março (PMar) e abril (PAbr) e a temperatura máxima em dezembro (TxDez); enquanto que a temperatura máxima no mês de março (TxMar) foi mais bem correlacionada com a componente CP5 (Figura 4.34b).

Tabela 4.9 – Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão.

Indicadores	Variáveis	Meses
1	Precipitação-P	Nov a Mai
	Temperatura mínima-Ti	
	Temperatura máxima-Tx	
2	Precipitação-P	Dez a Mai
	Temperatura mínima-Ti	
	Temperatura máxima-Tx	
3	Precipitação-P	Nov a Mai
	Temperatura mínima-Ti	
	Temperatura máxima-Tx	
	Evapotranspiração Potencial-EP	
4	Precipitação-P	Dez a Mai
	Temperatura mínima-Ti	
	Temperatura máxima-Tx	
	Evapotranspiração Potencial-EP	
5	Precipitação-P	Dez a Abr
	Anomalia de TSM no Pacífico-N12	Dez a Abr
	Dipólo do Atlântico-DA	Dez a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Mar a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Mar a Abr
6	Precipitação-P	Dez a Abr
	Anomalia de TSM do Pacífico-N12	Dez a Abr
	Dipólo do Atlântico-DA	Dez a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Mar a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Mar a Abr
	Deficiência hídrica-D	Dez a Fev
7	Precipitação-P	Dez a Abr
	Anomalia de TSM do Pacífico-N12	Dez a Abr
	Dipólo do Atlântico-DA	Dez a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Mar a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Mar a Abr
	Evapotranspiração relativa-ER/EP	Jan a Fev
8	Precipitação-P	Dez a Abr
	Anomalia de TSM do Pacífico-N12	Dez a Abr
	Dipólo do Atlântico-DA	Dez a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Mar a Mai
	Temperatura mínima-Ti	Mar a Mai
	Evapotranspiração relativa-ER/EP	Dez a Fev
	Excesso hídrico-Ex	Dez a Fev

O modelo composto pelas componentes CP2, CP3, CP4 e CP5 se mostrou significativo na avaliação do rendimento agrícola do milho sobre a região R7. Essas componentes explicaram, segundo coeficiente de determinação ajustado, 82% da variabilidade do rendimento agrícola do milho, com exatidão de 0,96 entre os valores observados e estimados, segundo índice “d” de Willmott *et. al.* (1985) e correlação de 93% (Figura 4.34c). Os parâmetros estatísticos do modelo estão expressos no Apêndice 4.18.

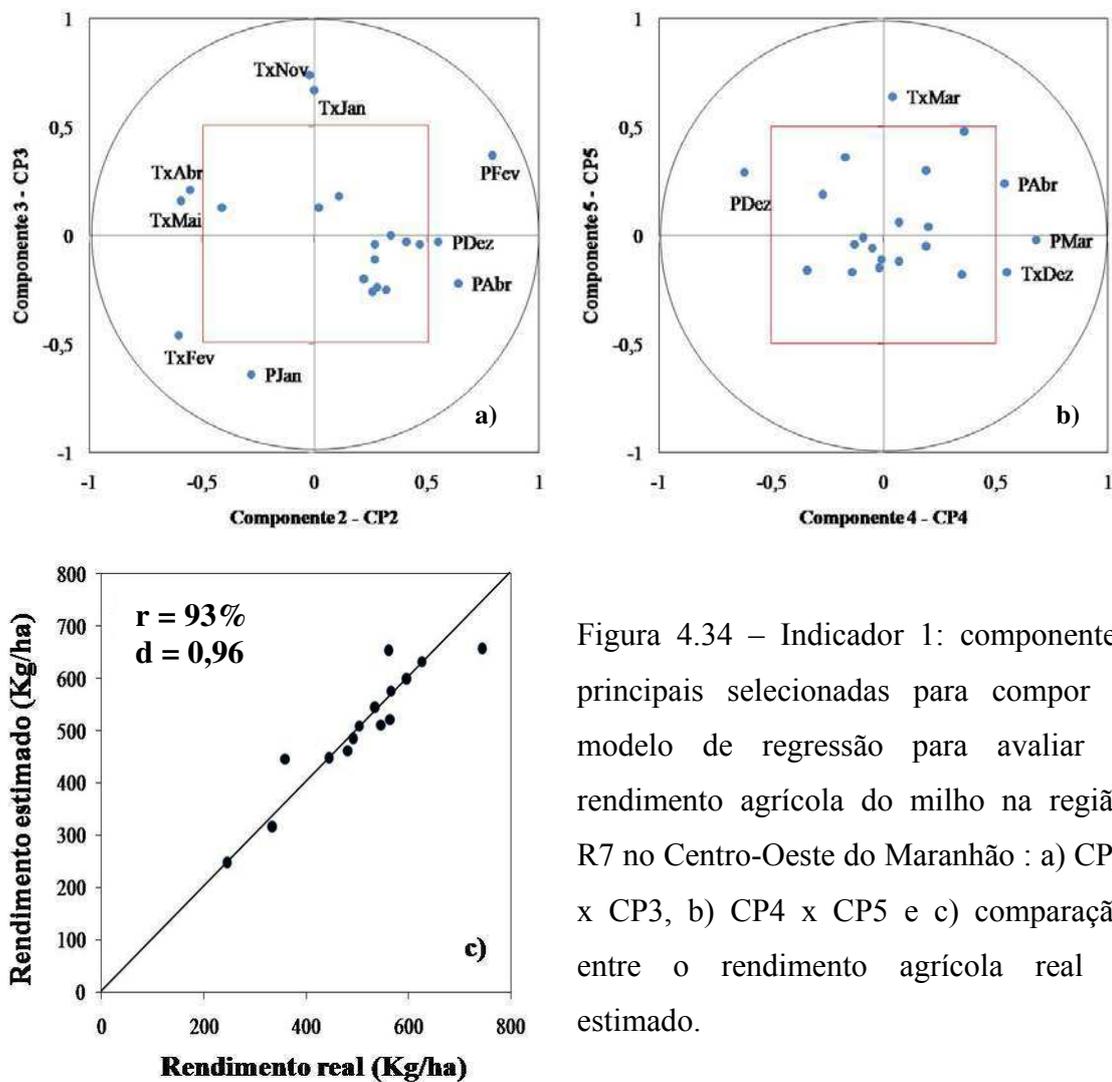


Figura 4.34 – Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão : a) CP2 x CP3, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

No segundo indicador foram mantidas as mesmas variáveis do primeiro indicador, mudando-se apenas o período para dezembro a maio. A análise de componentes principais evidenciou que essas variáveis podem ser explicadas pelas cinco primeiras componentes que acumularam 86% da variância dos dados (Apêndice 4.11).

Nesse caso, apenas as componentes CP2, CP3 e CP5 foram mantidas no modelo para explicar o rendimento agrícola do milho. A componente CP2, Figura 4.35a, correlacionou-se principalmente com a precipitação (PFEv, PABr, PMai) e temperatura máxima (TxFev, TxAbr, TxMai) nos meses de fevereiro, abril e maio. A precipitação nos meses de dezembro (PDez), janeiro (PJan) e março (PMar) e a temperatura máxima em dezembro (TxDez) foram mais bem correlacionadas com a componente CP3 (Figura 4.35a); enquanto que a temperatura máxima em março (TxMar) se correlacionou melhor com a componente CP5 (Figura 4.35b).

Essas componentes explicaram 83% da variabilidade do rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Estado. Apesar de apresentar os coeficientes de avaliação de explicação e exatidão iguais aos observados para o indicador 1, conforme visto na

Figura 4.35c, o erro padrão da estimativa foi inferior, sendo da ordem de 50,6 Kg/ha, de acordo com o Apêndice 4.18.

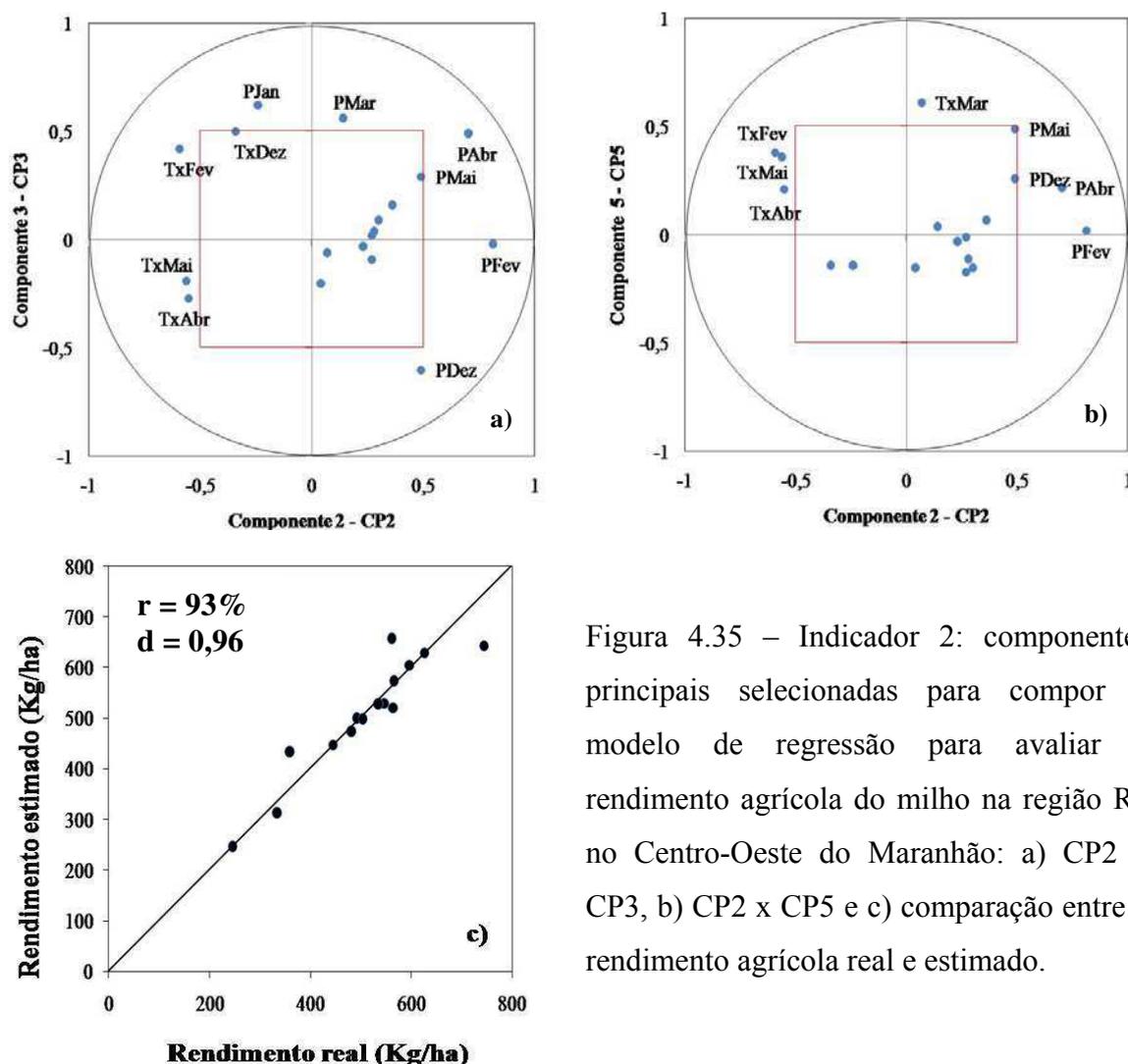


Figura 4.35 – Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

A evapotranspiração potencial foi incorporada ao segundo indicador para formar o terceiro indicador, considerando os meses de novembro a maio. Em torno de 89% da variabilidade dos dados foi explicada pelas seis primeiras componentes principais (Apêndice 4.12), das quais, CP2, CP4, CP5 e CP6 foram consideradas na composição do modelo de regressão.

A componente CP2 foi mais bem correlacionada à precipitação nos meses dezembro (PDez), fevereiro (PFev) e abril (PABr) e a temperatura máxima em fevereiro (TxFev) e maio (TxMai); enquanto a precipitação nos meses de dezembro (PDez), janeiro (PJan) e abril (PABr) à componente CP4, conforme verificado na Figura 4.36a. A componente CP5 apresentou coeficientes de correlações baixos com todas as variáveis, com a componente CP6 apresentando-se mais bem correlacionada à precipitação de maio (PMai) (Figura 4.36b).

O modelo de regressão com essas quatro componentes como variáveis independentes se manteve significativo ao nível de 99% de significância, porém a inclusão da evapotranspiração potencial reduziu o poder de explicação do modelo para 80%, em relação ao indicador anterior. A correlação entre os valores observados e estimados foi da ordem de 92%, com coeficiente de ajuste, que mostra a exatidão entre os dois valores, de 0,96, segundo índice de concordância de Willmott *et. al.* (1985), conforme visto na Figura 4.36c. No Apêndice 4.18 encontram-se os parâmetros estatísticos do modelo.

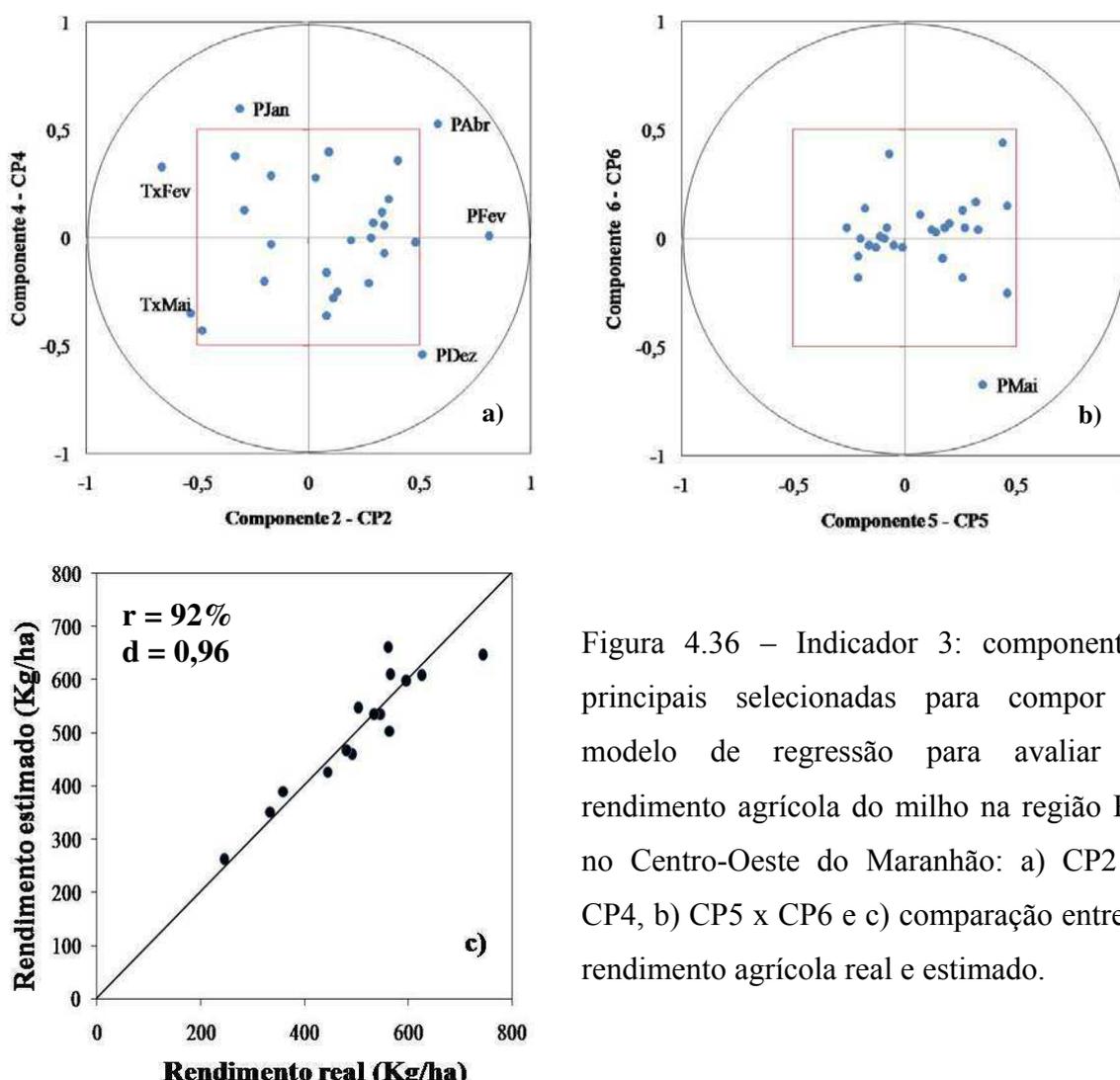


Figura 4.36 – Indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP4, b) CP5 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O quarto indicador compreendeu as mesmas variáveis do terceiro indicador durante o período de dezembro a maio. Os resultados mostraram que as seis primeiras componentes principais explicaram 91,4% da variância total dos dados originais (Apêndice 4.13).

Houve mudança na ordem das componentes na composição do modelo de regressão para a avaliação do rendimento agrícola do milho. As componentes consideradas significativas ao nível de 95% de confiança para fazer parte do modelo foram a CP2, CP3, CP5 e CP6. A precipitação nos meses de fevereiro (PFev) e abril (PAbri) e a temperatura máxima em fevereiro

(TxFev), abril (TxAbr) e maio (TxMai) foram correlacionadas à componente CP2. A precipitação em dezembro (PDez) e março (PMar), a temperatura máxima em dezembro (TxDez) e a evapotranspiração potencial em janeiro (EPJan) foram mais bem correlacionadas a componente CP3 (Figura 4.37a). As componentes CP5 e CP6 apresentaram maiores correlações apenas com a temperatura máxima em março (TxMar) e a precipitação em maio (PMai), respectivamente, conforme visto na Figura 4.37b.

O modelo continuou sendo significativo ao nível de 99% de confiança, porém não houve mudanças na eficiência do mesmo em avaliar o rendimento agrícola em relação ao indicador 3, conforme verificado na Figura 4.37c, com parâmetros estatísticos do modelo dado no Apêndice 4.18.

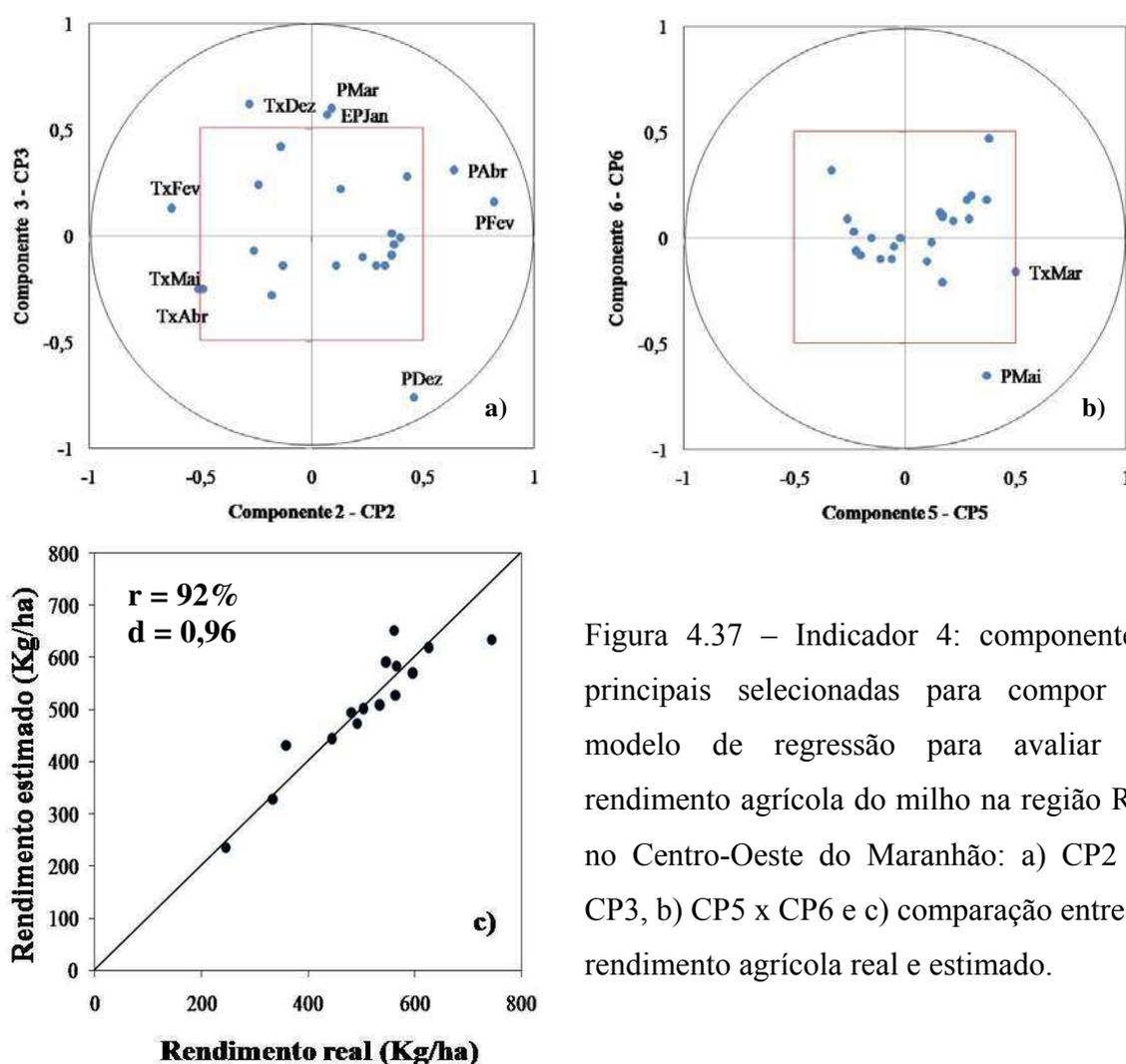


Figura 4.37 – Indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP5 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

No quinto indicador, além da precipitação (dezembro a abril) e as temperaturas máximas e mínimas do ar (março e abril), foram incluídas as anomalias de TSM do Pacífico na região Niño1+2 (N12) e dipolo do Atlântico (DA) durante o período de dezembro a abril. Essas variáveis foram representadas pelas cinco primeiras componentes principais, as quais explicaram 84% da variância total dos dados originais (Apêndice 4.14), sendo significativas para avaliar o

rendimento agrícola do milho as componentes CP1, CP4 e CP5. A componente CP1, Figura 4.38a, foi mais bem correlacionada com a precipitação em fevereiro (PFev) e abril (PAbr), temperatura máxima no mês de abril (TxAbr) e principalmente as anomalias de TSM do Pacífico na região Niño12 em todos os meses do período analisado (N12Dez a N12Abr), enquanto que o dipolo do Atlântico somente com os meses de março (DAMar) e abril (DAAbr). Por outro lado, a precipitação mostrou-se associada à componente CP4, nos meses de dezembro (PDez), janeiro (PJan) e março (PMar) (Figura 4.38a), enquanto que a componente CP5, Figura 4.38b, não apresentou correlação significativa com nenhuma variável.

As componentes CP1, CP4 e CP5 foram significativas, ao nível de 95% de confiança, para compor o modelo de regressão no sentido de avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7, as quais explicaram 83% de sua variabilidade com boa exatidão entre os valores observados e estimados conforme revelado pelo índice de concordância (0,96) de Willmott *et. al.* (1985) e pelo coeficiente de correlação (93%), conforme visto na Figura 4.38c e descrito no Apêndice 4.18.

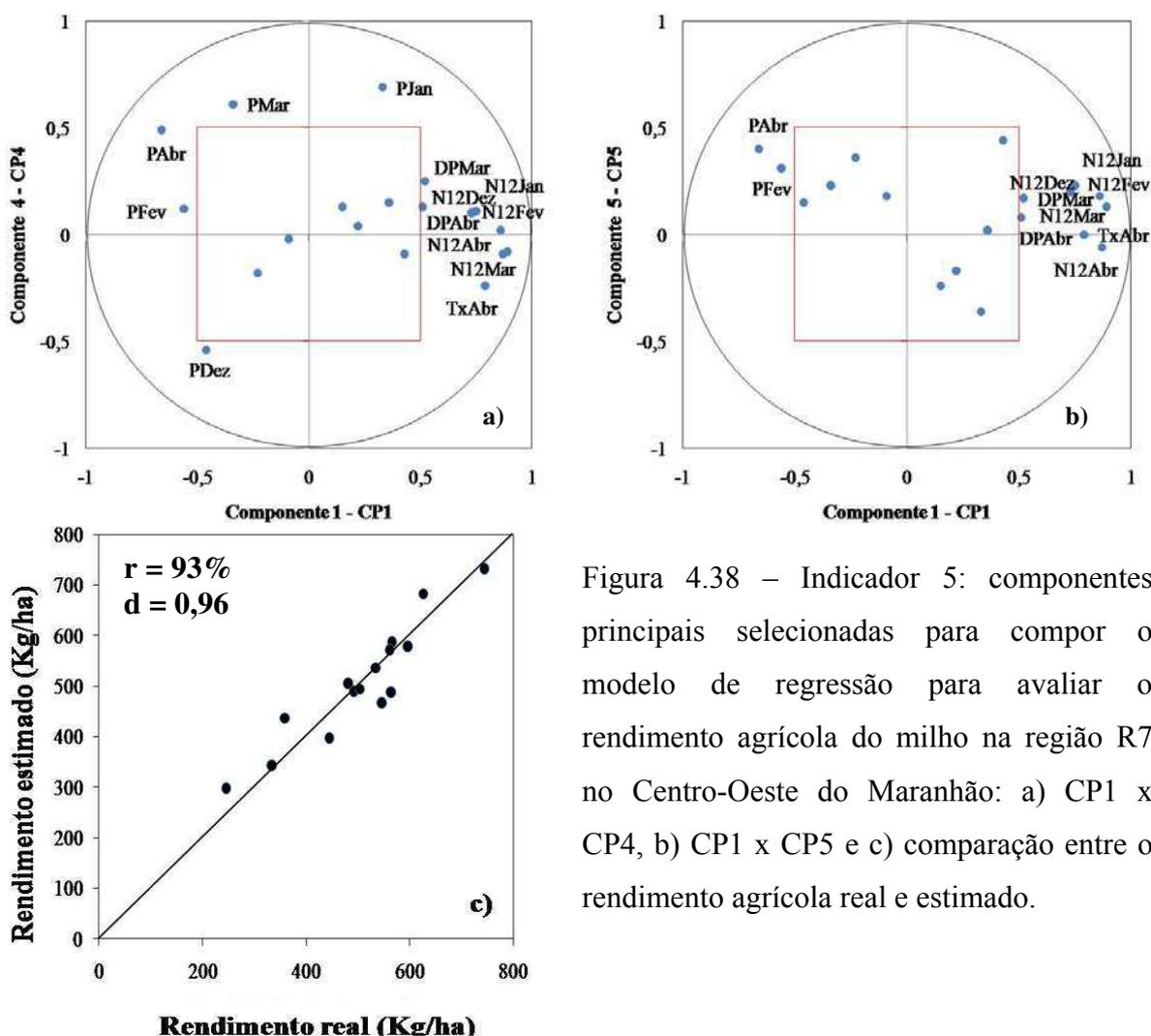


Figura 4.38 – Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP4, b) CP1 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

No sexto indicador foi incluída a deficiência hídrica nos meses de dezembro a fevereiro em relação ao quinto indicador. A análise de componentes principais revelou que as seis primeiras componentes explicaram 87,6% da variância dos dados originais (Apêndice 4.15). Dessas seis componentes apenas a componente CP2 foi excluída do modelo por apresentar significância inferior a 95%.

As anomalias de TSM (N12) mantiveram-se associada à componente CP1 em todos os meses analisados (N12Dez a N12Abr), com o Dipolo do Atlântico em março (DAMar), seguido pela precipitação nos meses de dezembro (PDez), fevereiro (PFev) e abril (PAbr), temperatura máxima em abril (TxAbr) e deficiência hídrica em dezembro (DDez) e fevereiro (DFev) (Figura 4.39a). A temperatura mínima nos meses de março (TiMar) e abril (TiAbr) apresentou-se fortemente correlacionada a componente CP3, a qual ainda se manteve correlacionada, porém de forma menos intensa, com a temperatura máxima em março (TxMar)(Figura 4.39a). A componente CP4 correlacionou-se mais com a precipitação de janeiro (PJan) e em menor grau com a precipitação de abril (PAbr) e deficiência hídrica de janeiro (DJan) (Figura 4.39b). Nessa mesma figura, observa-se que a componente CP5 correlacionou-se a precipitação em dezembro (PDez) e março (PMar) e a componente CP6, Figura 4.39c, não se mostrou bem correlacionada com nenhuma variável.

A inclusão da deficiência hídrica nos meses de dezembro a fevereiro melhorou levemente o ajuste do modelo constituído pelas componentes CP1, CP3, CP4, CP5 e CP6, o qual se mostrou significativo ao nível de 99% de confiança. Essas componentes explicaram 84% da variabilidade do rendimento agrícola do milho na região R7, com boa exatidão entre os valores observados e estimados, segundo índice de “d” de Willmott *et. al.* (1985), como evidenciado pelo ajuste dos pontos próximo a reta 1:1, verificado na Figura 4.39d e no Apêndice 4.18.

A evapotranspiração relativa nos meses de janeiro e fevereiro substituiu a deficiência hídrica do sexto indicador, para compor o sétimo indicador. As seis primeira componentes principais foram responsáveis por 87,8% da variabilidade total dos dados (Apêndice 4.16).

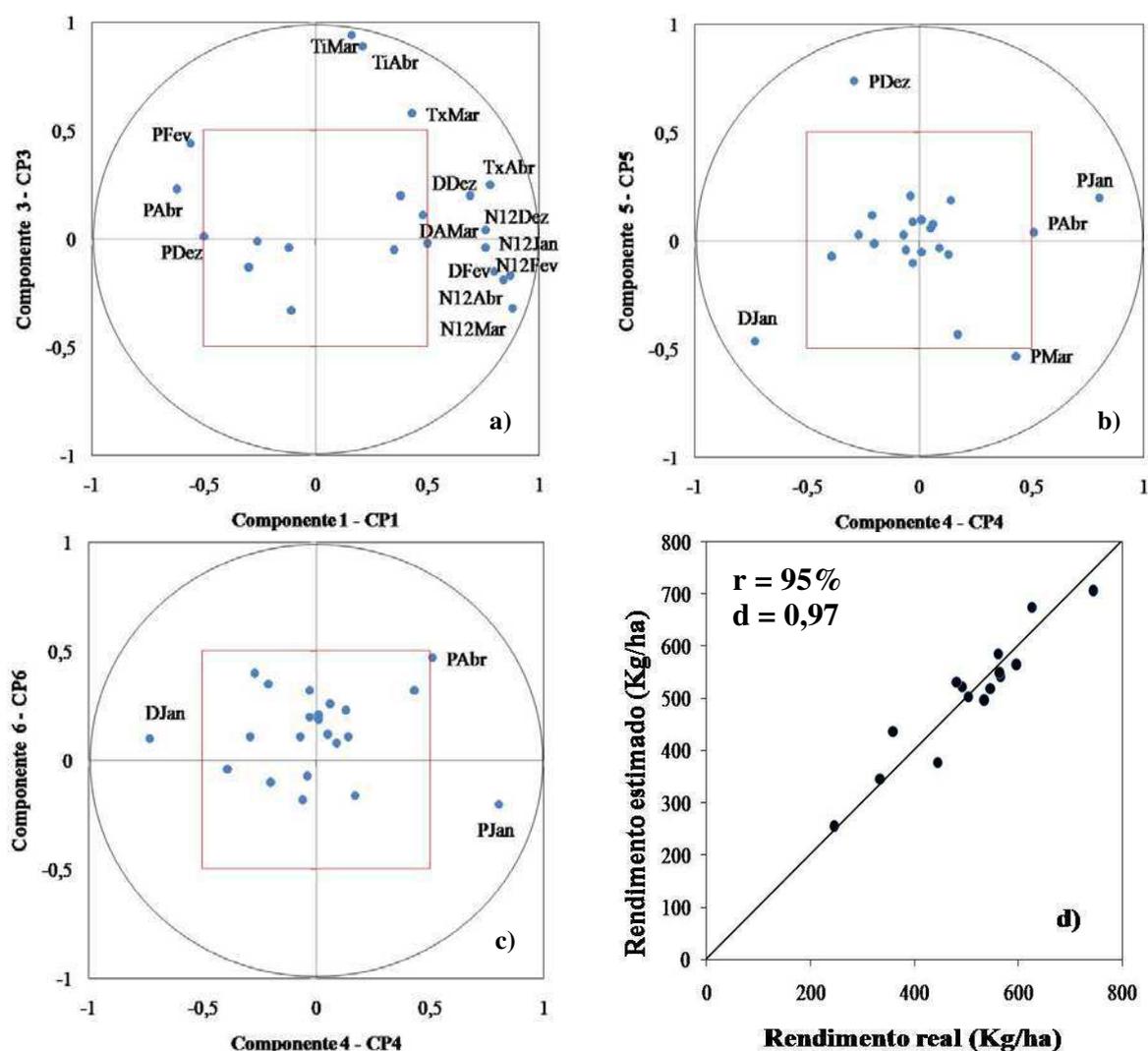


Figura 4.39 – Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5, c) CP4 x CP6 e d) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

As componentes CP1, CP3, CP4 e CP6 foram consideradas significativas para avaliar a relação com o rendimento agrícola do milho. As anomalias de TSM (N12) permanecem correlacionadas a componente CP1 em todos os meses analisados (N12Dez a N12Abr), mantendo ainda certo grau de correlação com a precipitação de fevereiro (PFev) e abril (PAbr), temperatura máxima em abril (TxAbr) e a evapotranspiração relativa no mês de fevereiro (ER/EPFev) (Figura 4.40a). A componente CP3 apareceu fortemente associada à temperatura mínima nos meses de março (TiMar) e abril (TiAbr) e em menor grau a temperatura máxima do mês de março (TxMar) (Figura 4.40a); por outro lado, a precipitação em janeiro (PJan) e abril (PAbr) e a evapotranspiração relativa no mês de janeiro (ER/EPJan) são mais bem correlacionadas com a componente CP4, enquanto que a componente CP6 não apresentou correlação significativa com nenhuma das variáveis (Figura 4.40b).

Esse indicador, composto pelas CP1, CP3, CP4 e CP6, foi o que melhor explicou o rendimento agrícola da cultura do milho na região R7 (86%), com o menor erro padrão da estimativa (46,8 Kg.ha⁻¹). Os valores de produtividade observados e estimados pelo modelo de regressão linear múltipla, constituído pelas quatro componentes principais, apresentaram grau de correlação de 95% e boa exatidão (0,97), de acordo com índice de Willmott *et. al.* (1985), conforme identificado na Figura 4.40c e Apêndice 4.18.

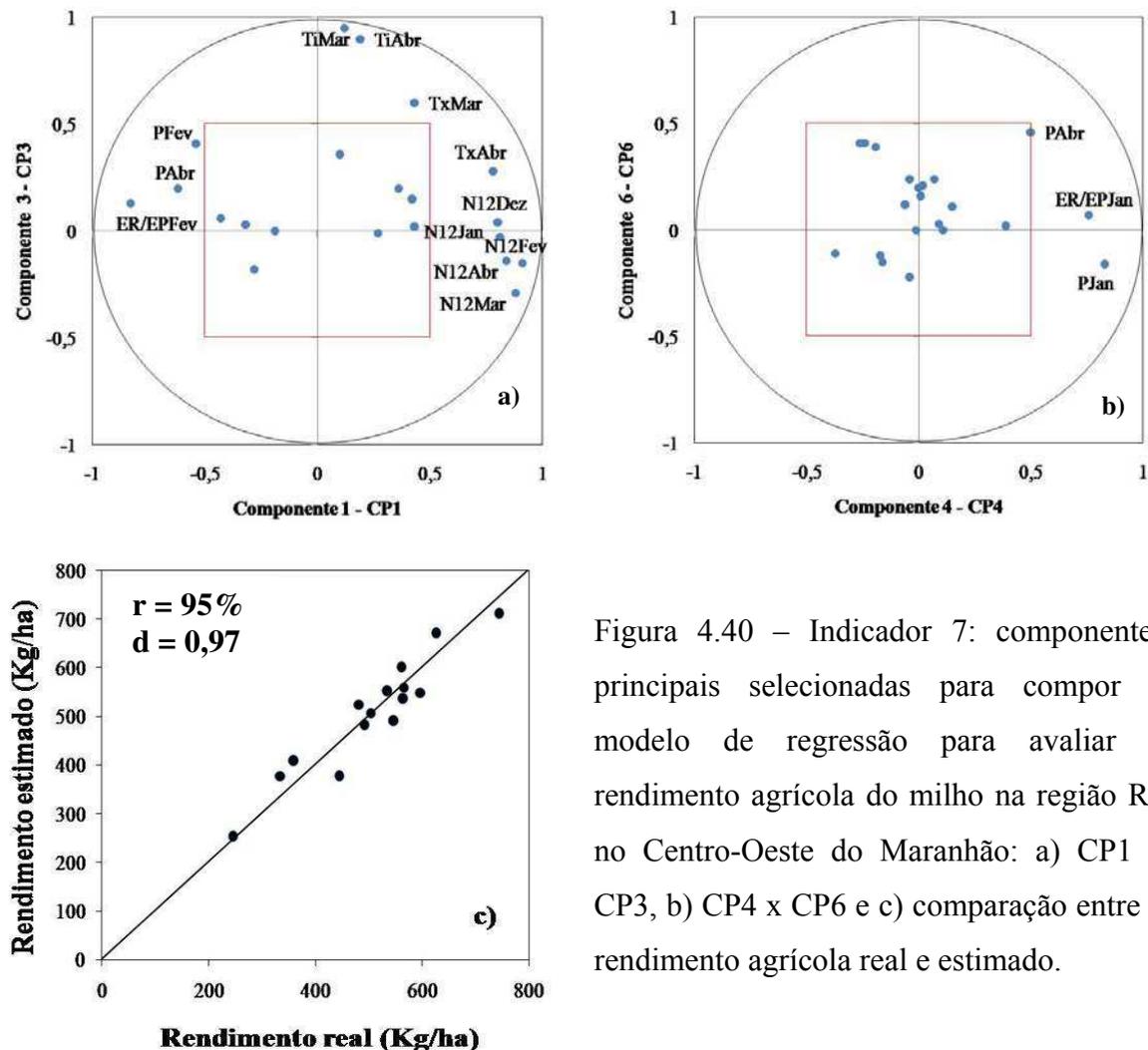


Figura 4.40 – Indicador 7: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP6 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O oitavo indicador foi formado pelas variáveis, precipitação (novembro a maio), N12 e DA nos meses de dezembro a abril, temperatura máxima e mínima (março a maio), evapotranspiração relativa e excesso hídrico (dezembro a fevereiro). Os resultados da análise de componentes principais mostraram que as sete primeiras componentes principais explicaram 89,2% da variância total dos dados (Apêndice 4.17), das quais, cinco, foram considerada significativas para avaliar o rendimento agrícola do milho.

A componente CP1, Figura 4.41a, se correlacionou com a precipitação nos meses de novembro (PNov), dezembro (PDez), fevereiro (PFev) e abril (Pabr); anomalias de TSM (N12) nos meses de dezembro (N12Dez) a abril (N12Abr); dipolo do Atlântico em março (DAMar); temperatura máxima em abril (TxAbr) e maio (TxMai); evapotranspiração relativa em dezembro (ER/EPDez) e fevereiro (ER/EPFev) e ao excesso hídrico em fevereiro (ExFev). A temperatura mínima nos meses de março (TiMar) a maio (TiMai) se relacionou com a componente CP3 (Figura 4.41a). A componente CP4, Figura 4.41b, mostrou-se melhor correlacionada com a precipitação em dezembro (PDez) e março (PMar) e o excesso hídrico em dezembro (ExDez), enquanto que a precipitação (PJan), evapotranspiração relativa (ER/EPJan) e excesso hídrico (ExJan) em janeiro responderam pela maior parte da variabilidade referente à componente CP5. A componente CP6, Figura 4.41c, não se mostrou correlacionada significativamente com nenhuma variável.

Essas componentes foram significativas ao nível de 95% de confiança na composição do modelo de regressão, as quais contribuíram para explicar 84% do rendimento agrícola do milho sobre a região R7. Com a inclusão do excesso hídrico houve uma redução da explicação do rendimento agrícola por esse modelo, refletindo num aumento do erro padrão da estimativa para 50 Kg.ha⁻¹ em relação ao indicador 7. Por outro lado, o ajuste entre os valores de rendimento observados e estimados foi considerado bom, de acordo com o índice de Willmott *et al.* (1985) de 0,97 e coeficiente de correlação de 95%, ressaltados pela aproximação dos pontos da reta 1:1 (Figura 4.41d). Os resultados da regressão estão descritos no Apêndice 4.18.

A cultura do milho na região homogênea de precipitação R7 no Centro-Oeste maranhense foi sensível as anomalias de TSM do Pacífico na região do El Niño 12 durante os meses de dezembro a abril; a evapotranspiração relativa nos meses de janeiro e fevereiro, referente às fases de desenvolvimento vegetativo e florescimento/enchimento de grãos; a precipitação nos meses de janeiro, fevereiro e abril nas fases de desenvolvimento vegetativo e florescimento e enchimento dos grãos, e as temperatura máxima e principalmente à temperatura mínima nos meses de março e abril correspondentes a fase de maturação e senescência,.

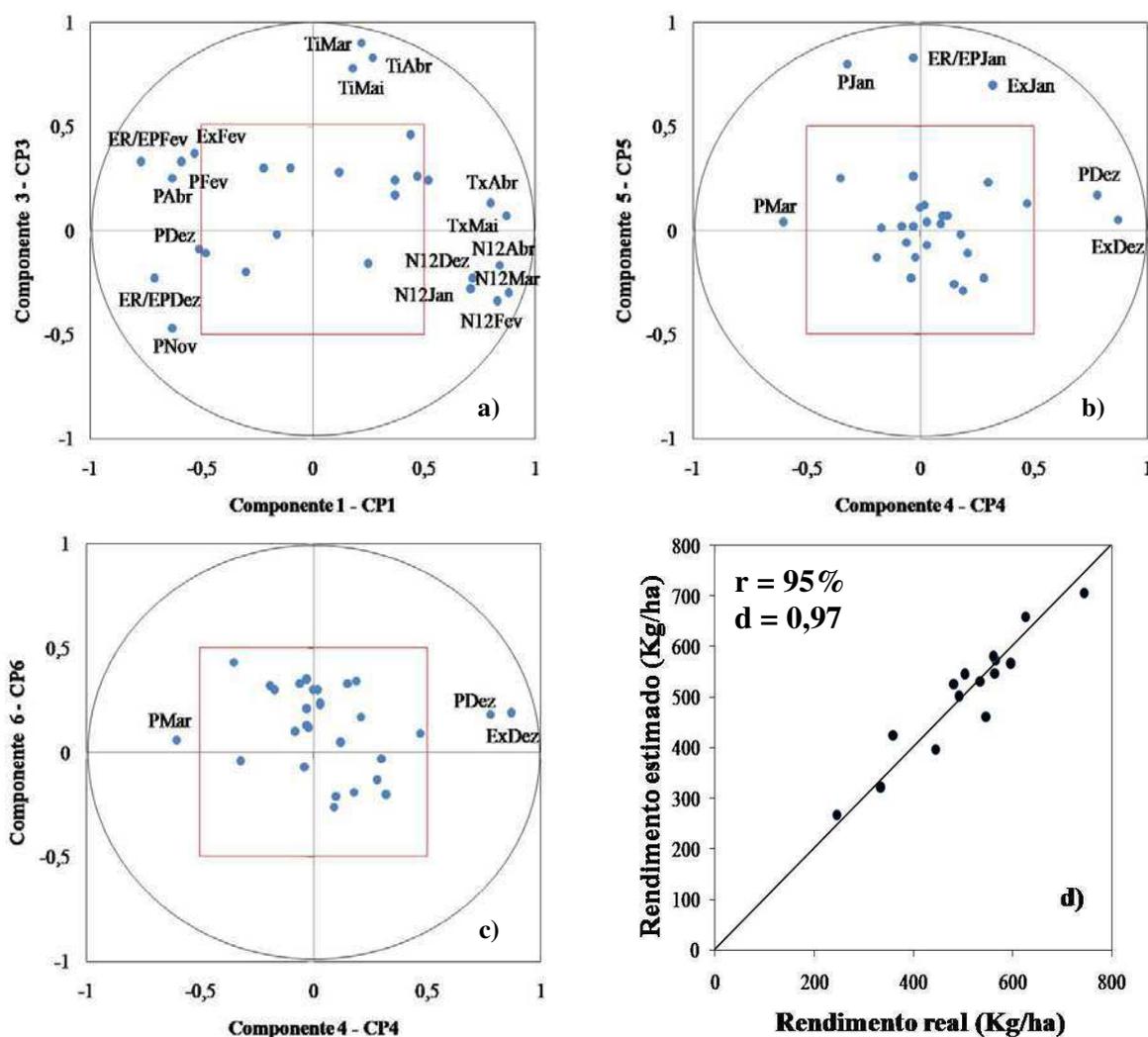


Figura 4.41 – Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do milho na região R7 no Centro-Oeste do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5, c) CP4 x CP6 e d) comparação entre o rendimento agrícola observada e estimada.

Há evidências que as anomalias de TSM no Pacífico na região do Niño 12, entre os meses de dezembro e abril, afetam o rendimento agrícola do milho na região R7. Isso revela que essa região é muito sensível as variações de TSM nessa região do Pacífico, o qual modifica os padrões normais de precipitação e temperatura do ar, sendo responsável principalmente pela variabilidade temporal da mesma, com longos períodos de estiagens e temperatura do ar mais elevadas. Os efeitos negativos da estiagem no rendimento agrícola podem ocorrer se a mesma acontecer na fase de floração e enchimento de grãos, que dependendo do período de plantio pode variar entre fevereiro e início de maio. Nesse período a capacidade produtiva do milho, em condições de deficiência de água, não ocorrerá de forma satisfatória devido a rapidez dos eventos produtivos ligados aos processos fisiológicos e início do enchimento de grãos (BERGAMASCHI *et al.*, 2006).

Os períodos de floração e enchimento de grãos do milho são os mais sensíveis à variação de precipitação pluvial (períodos críticos em relação à água), de acordo com Berlato *et. al.* (2005). Por outro lado, a temperatura mínima do ar nos meses de março, abril e maio, correspondendo às fases floração, enchimento de grãos e maturação afetou positivamente os níveis de produtividade do milho, cujos efeitos foram ressaltados nos modelos quando nos indicadores foram inseridas as anomalias de TSM na região do Niño 12. As Ocorrências de temperaturas noturnas elevadas (acima de 24° C) promovem um consumo energético demasiado por parte da cultura, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotossimilados, com conseqüente queda no rendimento (DOURADO NETO, 1999)

A precipitação nos meses de dezembro, fevereiro e abril, correspondendo às fases de desenvolvimento, enchimento de grãos e maturação afetou positivamente os níveis de produtividade do milho, enquanto que altas temperaturas nos meses de novembro, janeiro e março, correspondendo às fases de desenvolvimento, floração e enchimento de grãos, afetaram negativamente.

4.3.3 - Região homogênea de precipitação pluvial R5: Arroz

A região R5 se localiza no Centro-Norte do Estado do Maranhão, englobando a região da Baixada maranhense e partes da microrregião de Pindaré, onde os maiores totais pluviométricos se concentram entre os meses de fevereiro e maio. A estação de cultivo tem duração de 8 meses, iniciando em dezembro e finalizando em julho, com cerca de 1740 mm acumulados. Em termos percentuais é a região que concentra a maior parte da produção de arroz do Estado do Maranhão, cujo ciclo varia entre 100 (precoce) e 120 dias (médio).

O calendário agrícola da região está condicionado ao início da estação chuvosa, conforme discriminado na Tabela 4.10. A partir de dezembro as chuvas começam a se estabelecer sobre a região, indicando o provável mês de início da semeadura, a qual pode ser efetuada até no primeiro decêndio de março, com fim do período agrícola no último decêndio de março e segundo decênio de junho, respectivamente.

A Figura 4.42 mostra a evolução do rendimento agrícola real e corrigido, ou seja, sem os efeitos tecnológicos e dos desvios em relação à média observada. Nesse caso, após a remoção da tendência tecnológica não houve variação significativa do rendimento agrícola. Isto demonstra que entre 1990 e 2004 a região não apresentou implementação tecnológica que contribuisse para o aumento do rendimento agrícola, o que reforça a baixa taxa de crescimento, de apenas 15%, da região ao longo do período.

Tabela 4.10 - Calendário agrícola do arroz para a região R5 no Centro-Norte do Maranhão para ciclo médio de 120 dias.

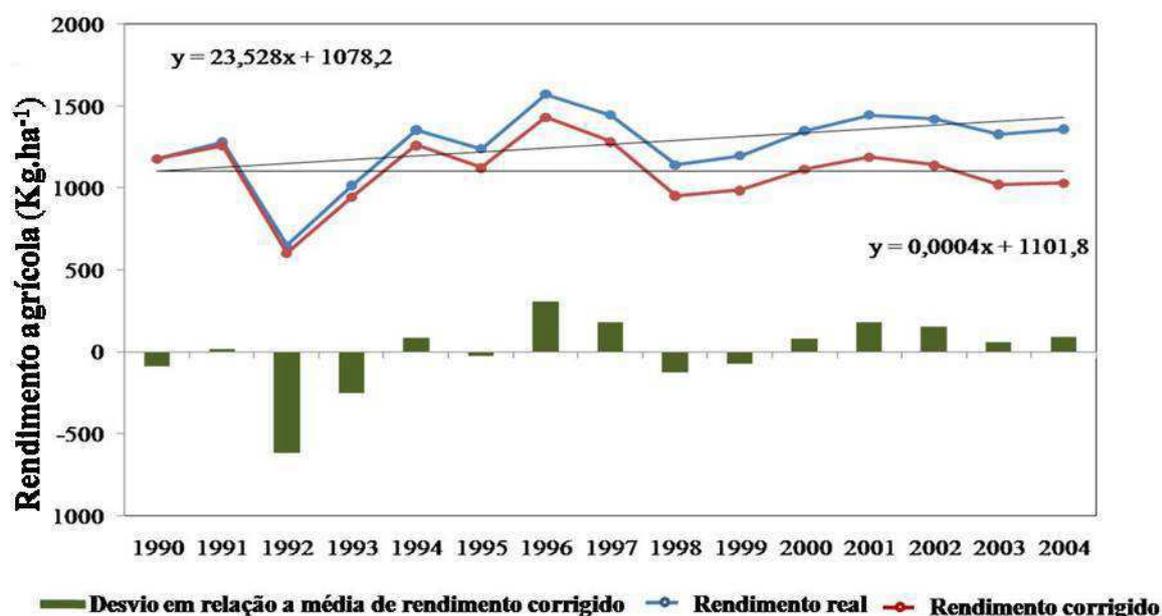
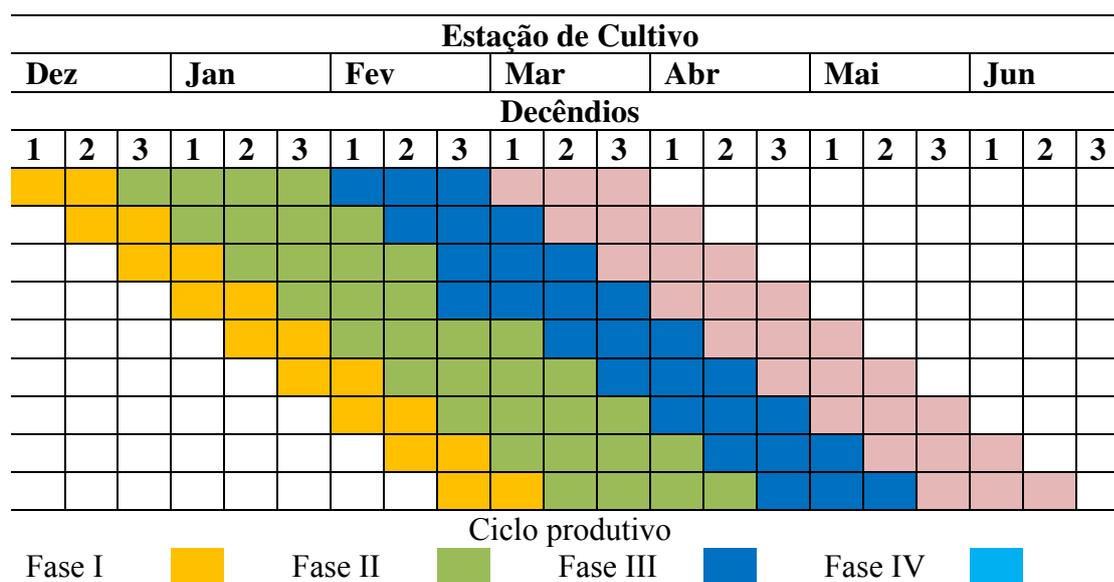


Figura 4.42 – Rendimento real, corrigido e desvios de rendimento do arroz para a região homogênea de precipitação R5 no Centro-Norte do Estado do Maranhão.

Como não ficou evidente a existência de tendência tecnológica na série de rendimento do arroz na região R5 entre 1990 e 2004, foi considerada para a avaliação dos indicadores a série de rendimento real. Os indicadores que melhor explicaram a variabilidade do rendimento agrícola do arroz, segundo modelos de regressão, estão discriminados na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 – Combinações de variáveis utilizadas na análise de componentes principais como indicadores do rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão.

Indicadores	Variáveis	Meses
1	Precipitação-P	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Nov a Fev
2	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Deficiência hídrica-D	Jan a Fev
3	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Evapotranspiração Potencial-EP	Jan a Abr
	Deficiência hídrica-D	Nov a Fev
4	Precipitação-P	Nov a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Nov a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Nov a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
5	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Deficiência hídrica-D	Nov a Fev
6	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Armazenamento-AR	Nov a Fev
7	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Anomalia de TSM do Pacífico-N3	Dez a Abr
8	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Temperatura mínima-Ti	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Anomalia de TSM do Pacífico-N12	Dez a Abr
9	Precipitação-P	Jan a Abr
	Temperatura máxima-Tx	Jan a Abr
	Temperatura média-Tm	Jan a Abr
	Excesso hídrico-Ex	Jan a Abr
	Dipólo do Atlântico-DA	Jan a Mar
	Anomalia de TSM do Pacífico-N3	Jan a Mar

O primeiro indicador foi composto pela precipitação e excesso hídrico (janeiro a abril) e temperatura máxima (novembro a fevereiro). As quatro primeiras componentes principais explicaram 85,5% da variabilidade dessas variáveis (Apêndice 4.19).

As componentes CP1, CP2 e CP3 foram significativas na avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5. A componente CP1, Figura 4.35a, se associou a precipitação (PJan, PFev, PAbr) e excesso hídrico (ExJan, ExFev, ExAbr) em janeiro, fevereiro e abril e a temperatura máxima em fevereiro (TxFev). A componente CP2, ainda conforme a Figura 4.43a, se relacionou a precipitação (PMar) e excesso hídrico (ExMar) em março e a temperatura máxima nos meses de novembro (TxNov) a janeiro (TxJan), enquanto que a componente CP3, Figura 4.43b, foi mais bem correlacionada principalmente a precipitação (PMar) e excesso hídrico (ExMar) em março.

As componentes associadas ao primeiro indicador, por meio do modelo de regressão linear múltipla, explicaram 85% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz para a referida região, de acordo com o coeficiente de regressão ajustado, com grau de exatidão entre os valores observados e estimados de 0,97, segundo índice “d” proposto por Willmott *et. al.* (1985) e coeficiente de correlação de 94%, Figura 4.43c. Os parâmetros estatísticos do modelo estão descritos no Apêndice 4.28.

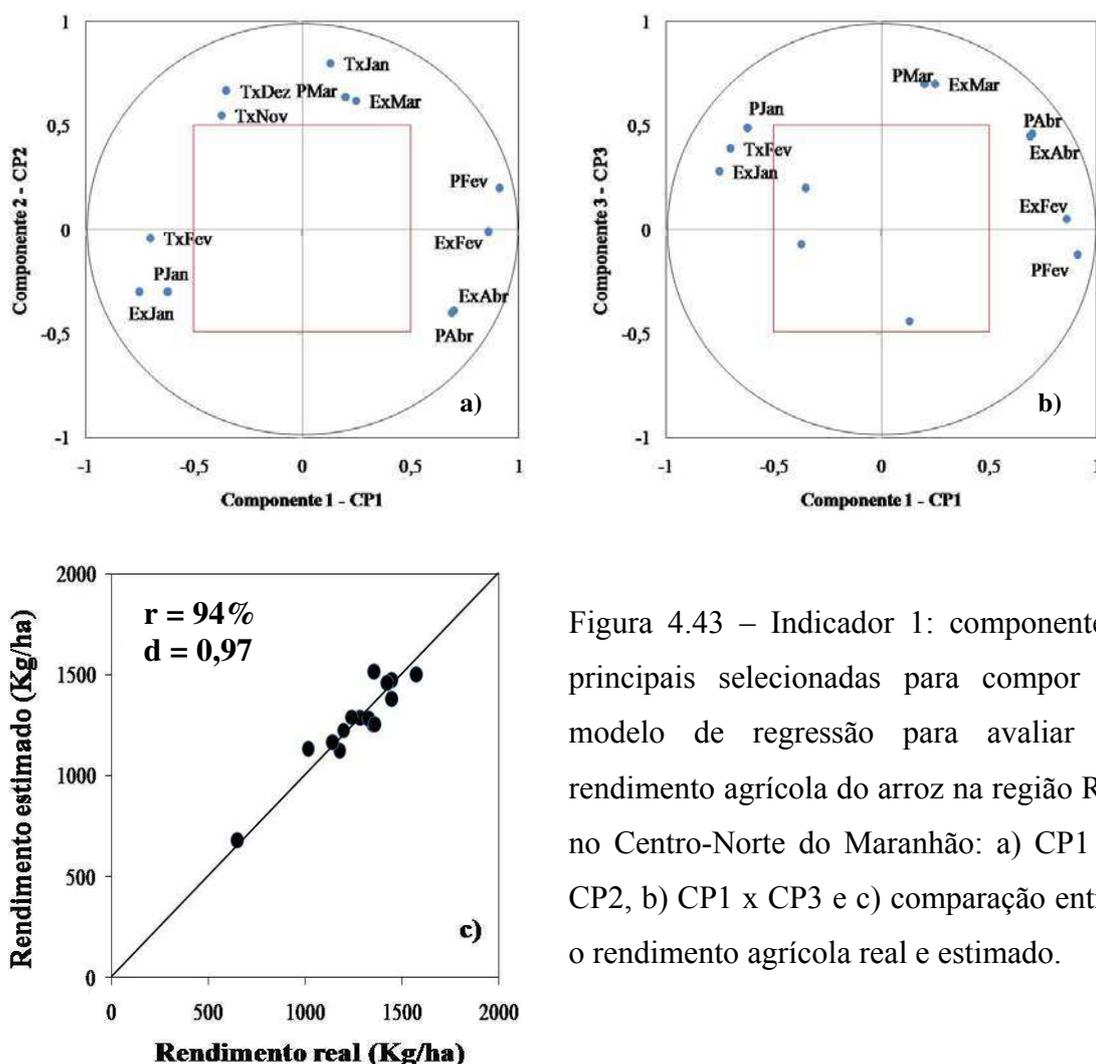


Figura 4.43 – Indicador 1: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP1 x CP3 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O segundo indicador foi composto pelas variáveis, precipitação, temperatura máxima (janeiro a abril) e deficiência hídrica em janeiro e fevereiro. As três primeiras componentes principais explicaram 77% da variabilidade total dessas variáveis (Apêndice 4.20).

As três componentes integraram o modelo de regressão para a avaliação do rendimento agrícola do arroz. A componente CP1, como visto na Figura 4.44a, se correlacionou a precipitação nos meses de fevereiro (PFev) e abril (PAbr), temperatura máxima nos meses de fevereiro (TxFev) a abril (TxAbr) e deficiência hídrica em fevereiro (DFev); com a componente CP2 sendo mais bem correlacionada à precipitação (PJan), temperatura máxima (TxJan) e deficiência hídrica (DJan) no mês de janeiro. Por outro lado, a precipitação em março (PMar) apresentou correlação mais forte com a componente CP3 (Figura 4.44b).

A inclusão da deficiência hídrica ou da relação ER/EP nos meses de janeiro e fevereiro manteve os percentuais de correlação em 94% entre o rendimento agrícola observado do arroz e estimado. As componentes CP1, CP2 e CP3 explicaram 85% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz, segundo coeficiente de determinação ajustado, com boa exatidão determinada pelo índice de concordância “d” (0,97) e confirmada na Figura 4.44c, onde se verifica a distribuição dos pontos próximos a reta 1:1, e no Apêndice 4.28.

No terceiro indicador foram incluídas as variáveis evapotranspiração potencial, temperatura máxima e precipitação nos meses de janeiro a abril e a deficiência de novembro a fevereiro. Essas variáveis foram explicadas pelas cinco primeiras componentes principais, as quais responderam por 88,3% de sua variabilidade total (Apêndice 4.21).

Dessas cinco componentes quatro, CP1, CP2, CP3 e CP4, foram consideradas significativas na avaliação do rendimento agrícola do arroz. As principais variáveis que mais contribuíram para a variância da componente CP1, conforme observado na Figura 4.45a, foram a precipitação nos meses de fevereiro (PFev) e abril (PAbr), a temperatura máxima (TxFev a TxAbr) e a evapotranspiração potencial (EPFev a EPAbr) de fevereiro a abril e a deficiência hídrica nos meses de dezembro (DDez) e fevereiro (DFev). A componente CP2, Figura 4.45a, foi mais bem correlacionada com a precipitação (PJan e PFev) e temperatura máxima (TxJan e TxFev) de janeiro e fevereiro, evapotranspiração potencial (EPJan) e deficiência hídrica (DJan) de janeiro. As variáveis, temperatura máxima em março (TxMar) e deficiência hídrica em novembro (DNov) e dezembro (DDez) foram mais correlacionadas á componente CP3, estando a precipitação nos meses de fevereiro (PFev) e março (PMar) correlacionada a componente CP4, como verificado na Figura 4.45b.

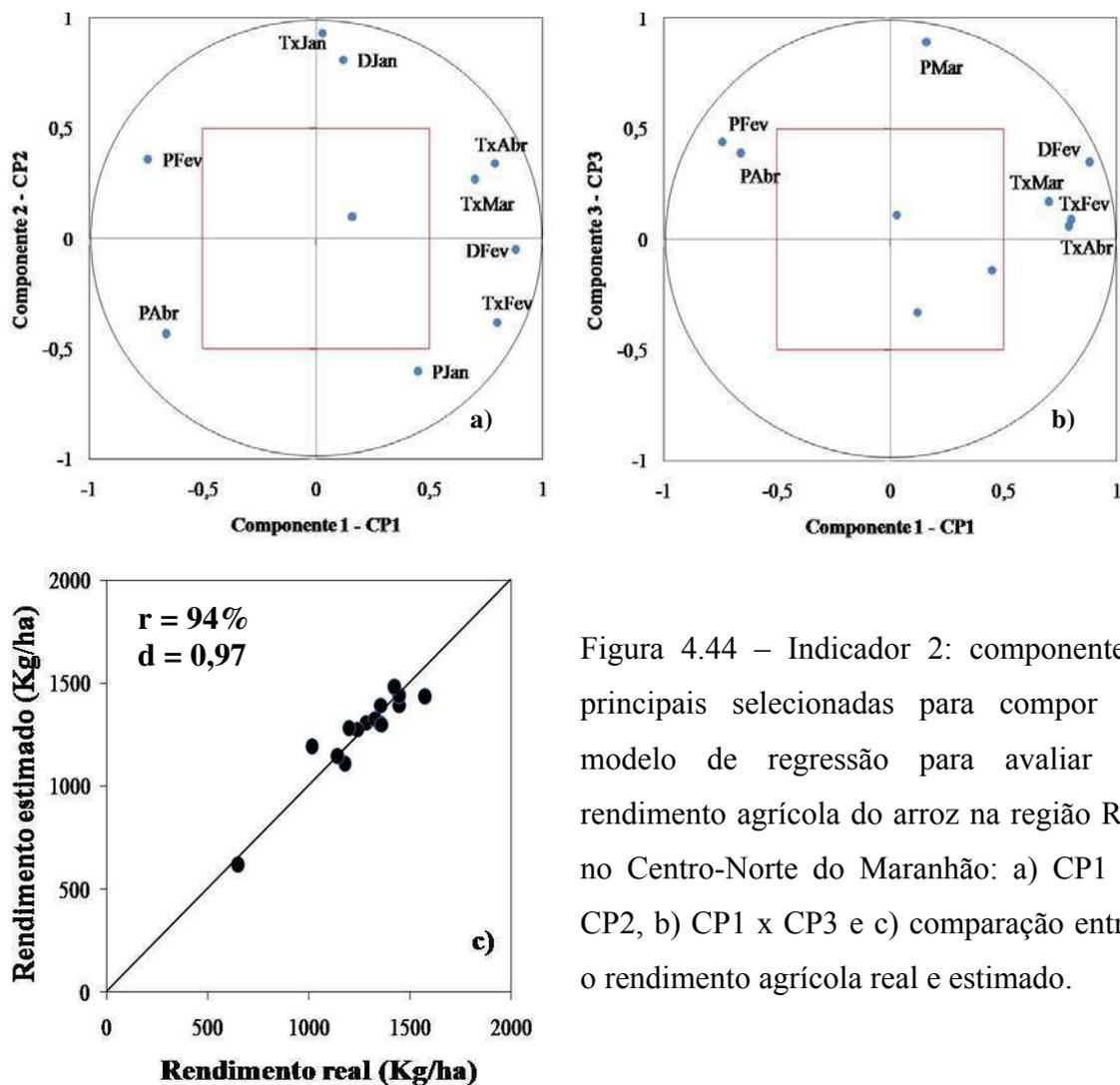


Figura 4.44 – Indicador 2: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP1 x CP3 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O modelo de regressão, tendo essas quatro componentes como variáveis independentes, explicou 84% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz, com exatidão entre os valores observados e estimados de 0,97 e correlação de 94%, conforme visto na Figura 4.45c e discriminado no Apêndice 4.28.

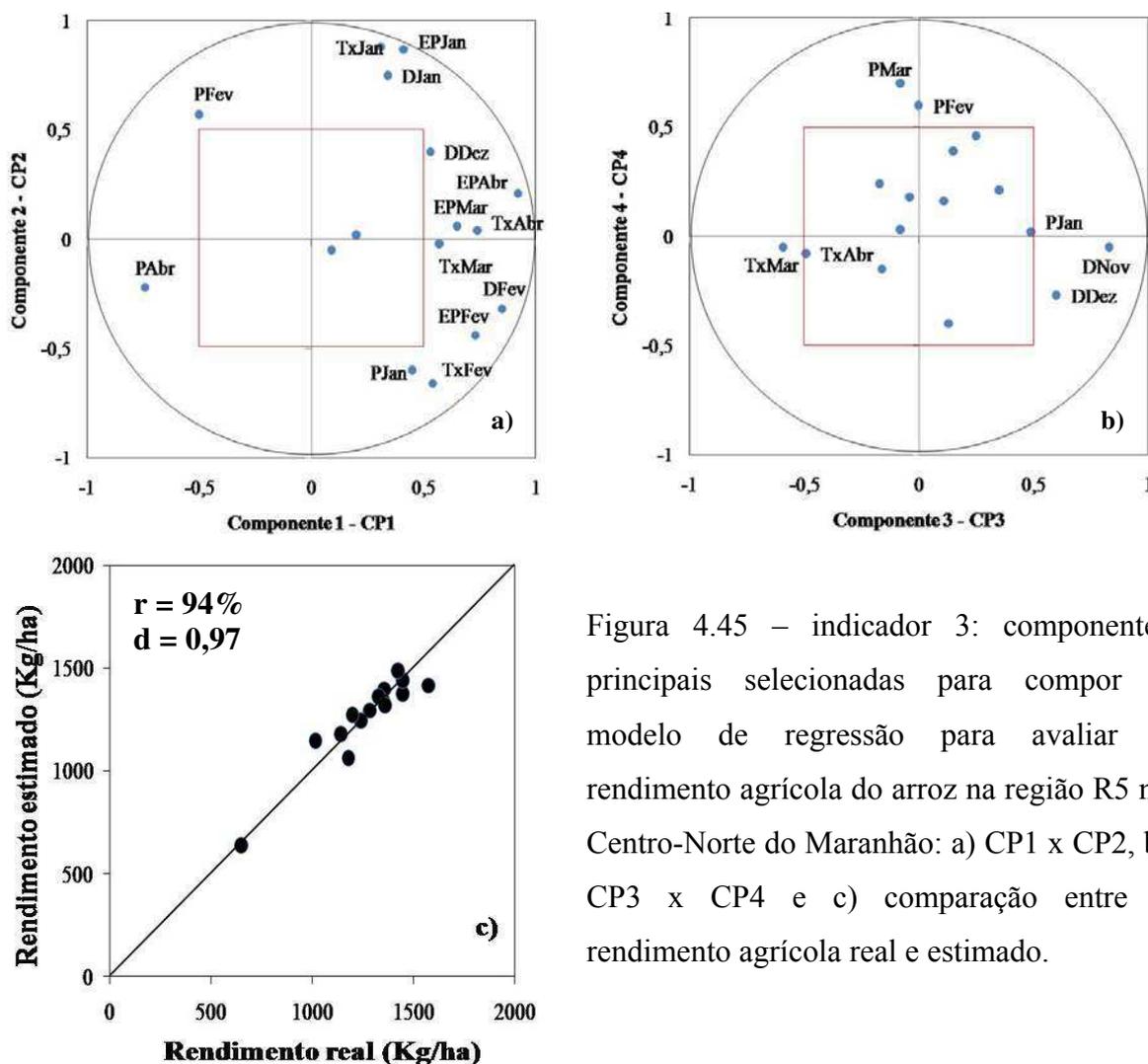


Figura 4.45 – indicador 3: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP3 x CP4 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

Quatro variáveis foram utilizadas para compor o quarto indicador, a precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima (novembro a abril) e excesso hídrico (janeiro a abril), as quais foram substituídas pelas cinco primeiras componentes principais que explicaram 84% da variabilidade total desses dados (Apêndice 4.22).

O modelo composto pelas componentes CP2, CP3 e CP5 revelou-se significativo na avaliação do rendimento agrícola do arroz. A maior parte da variabilidade associada à componente CP2, Figura 4.46a, foi atribuída à precipitação em fevereiro (PFev) e abril (PABr), temperatura máxima de fevereiro (TxFev) a abril (TxAbr), temperatura mínima de novembro (TiNov), dezembro (TiDez) e março (TiMar) e excesso hídrico em fevereiro (ExFev) e abril (ExAbr). A componente CP3, Figura 4.46a respondeu mais fortemente as variáveis, precipitação (PJan), temperatura máxima (TxJan) e excesso hídrico (ExJan) em janeiro. Por outro lado, a componente CP5, Figura 4.46b, esteve associada principalmente a precipitação de dezembro (PDez) e março (PMar) e o excesso hídrico em março (ExMar).

Essas componentes juntas permitam explicar 87% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz, sendo que os valores observados e estimados pelo modelo apresentaram grau de exatidão da ordem de 0,97 e coeficiente de correlação de 95% (Figura 4.46c, Apêndice 4.28).

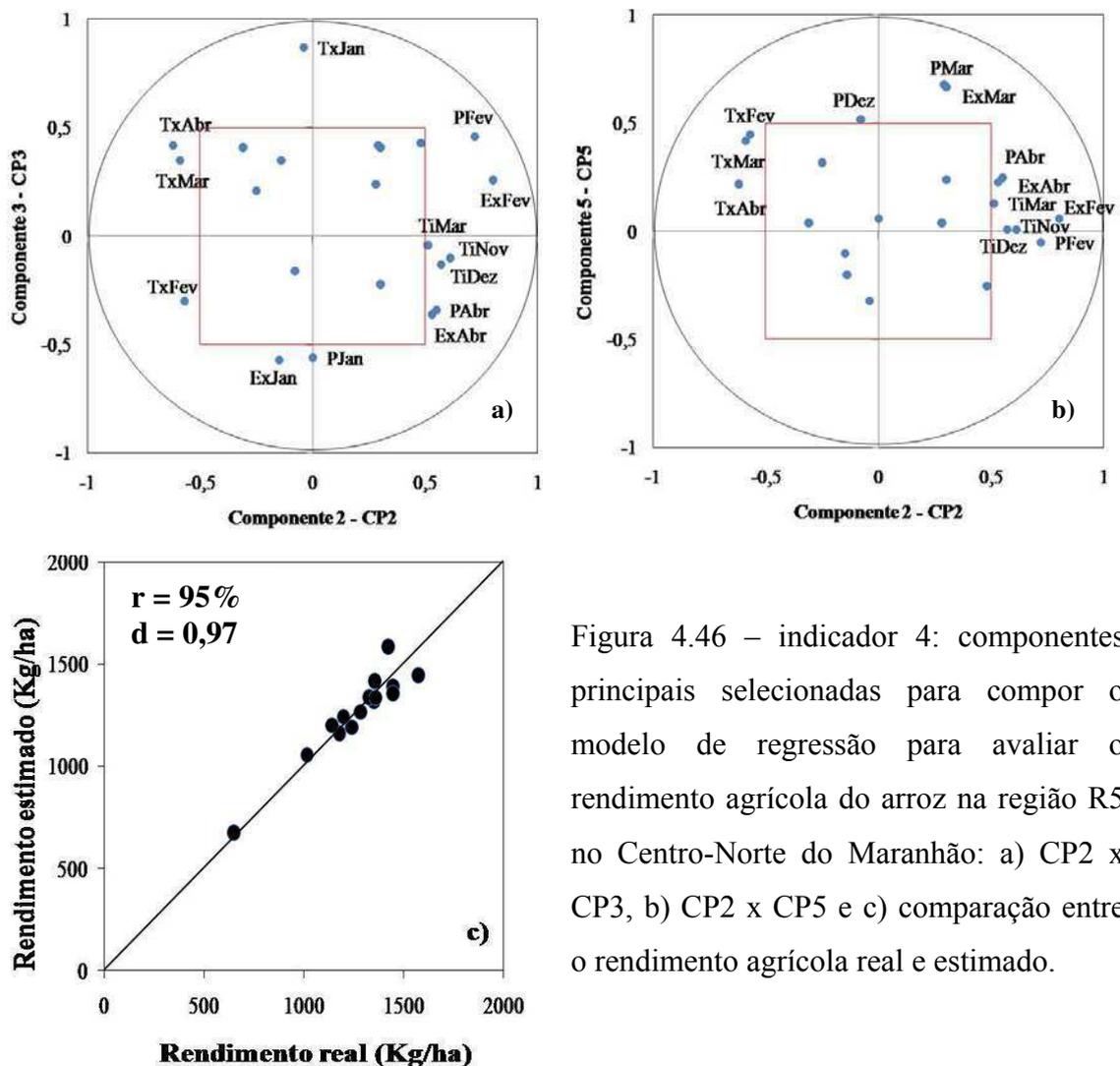


Figura 4.46 – indicador 4: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

Os resultados obtidos da análise de componentes principais aplicada ao quinto indicador, composto pelas variáveis, precipitação, temperatura máxima, mínima e excesso hídrico de janeiro a abril e deficiência hídrica de novembro a fevereiro mostraram que as cinco primeiras componentes principais foram utilizadas para representar as variáveis originais, as quais acumularam 87% da variabilidade dos dados (Apêndice 4.23).

Das cinco componentes principais, que representaram o quinto indicador, apenas duas foram consideradas significativas na avaliação do rendimento agrícola do arroz, a CP1 e CP3. A precipitação nos meses de janeiro (PJan), fevereiro (PFev) e abril (PAbr), temperatura máxima (TxFev e TxAbr) e mínima (TiFev e TiAbr) nos meses de fevereiro e abril, excesso hídrico em janeiro (ExJan), fevereiro (ExFev) e abril (ExAbr) e deficiência hídrica em dezembro (DDez) e fevereiro (DFev) foram mais bem correlacionadas a componente CP1; enquanto que a

componente CP3 apresentou suas maiores contribuições associadas a precipitação de janeiro (PJan) e abril (PAbr), temperatura máxima de janeiro (TxJan), temperatura mínima de fevereiro (TiFev) e março (TiMar), excesso hídrico em abril (ExAbr) e deficiência hídrica em janeiro (DJan) (Figura 4.47a).

Apenas essas duas componentes explicaram 85% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz. A comparação entre os valores observados e estimados pelo modelo (Figura 4.47b), revelou um índice de exatidão da ordem 0,96, de acordo com Willmott *et. al.* (1985) e coeficiente de correlação de 93%. No Apêndice 4.28 estão descritos os parâmetros estatísticos do modelo.

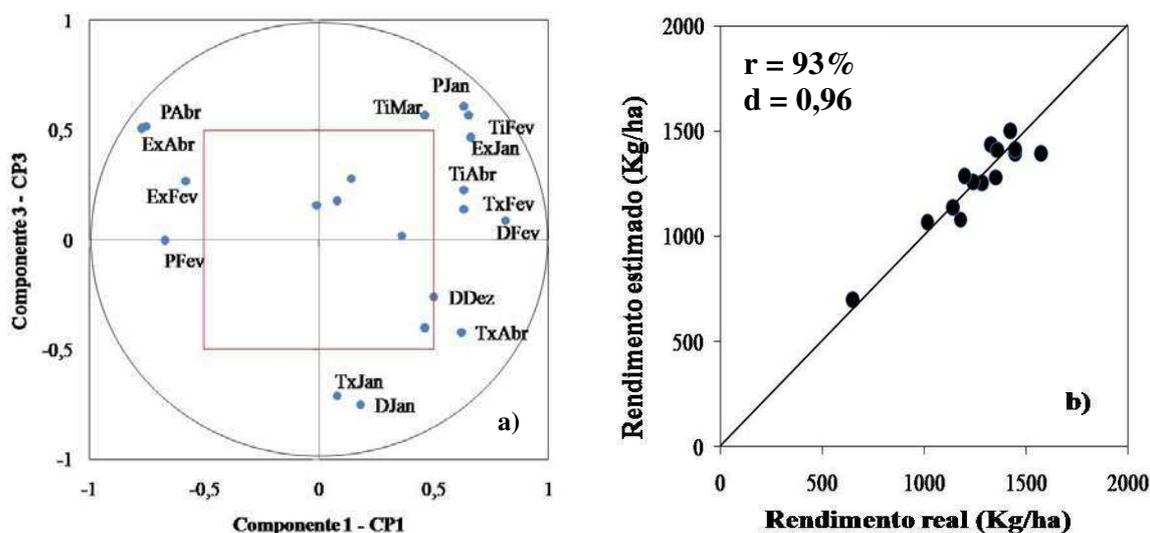


Figura 4.47 - Indicador 5: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão a) Componentes principais CP1 x CP3 e b) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

No sexto indicador foram mantidas as variáveis, precipitação, temperatura máxima mínima e excesso (janeiro a abril), substituindo a deficiência hídrica pelo armazenamento de água (novembro a fevereiro). Nesse caso, foram definidas cinco componentes principais que explicaram 87,4% da variabilidade total dos dados (Apêndice 4.24).

Foram identificadas como significativa para compor o modelo de regressão as componentes CP2, CP3 e CP5. A componente CP2 foi mais bem correlacionada à precipitação de fevereiro (PFev) e março (PMar), temperatura mínima de janeiro (TiJan) a março (TiMar) e excesso hídrico de fevereiro (ExFev) (Figura 4.48a). A maior parte da variabilidade atribuída à componente CP3 foi associada às variáveis, precipitação (PJan), temperatura máxima (TxJan), temperatura mínima (TiJan), excesso hídrico (ExJan) e armazenamento (ARJan) no mês de

janeiro. O armazenamento de novembro (ARNov) e dezembro (ARDez) apresentaram as maiores contribuições à componente CP5 (Figura 4.48b).

Essa combinação apresentou grau de correlação da ordem de 94%, explicando 86% da variabilidade do rendimento agrícola do arroz. O ajuste entre os valores observados e estimados pelo modelo (Figura 4.48c, Apêndice 4.28), apresentou exatidão de 0,97, de acordo com o índice de concordância de Willmott *et. al.* (1985).

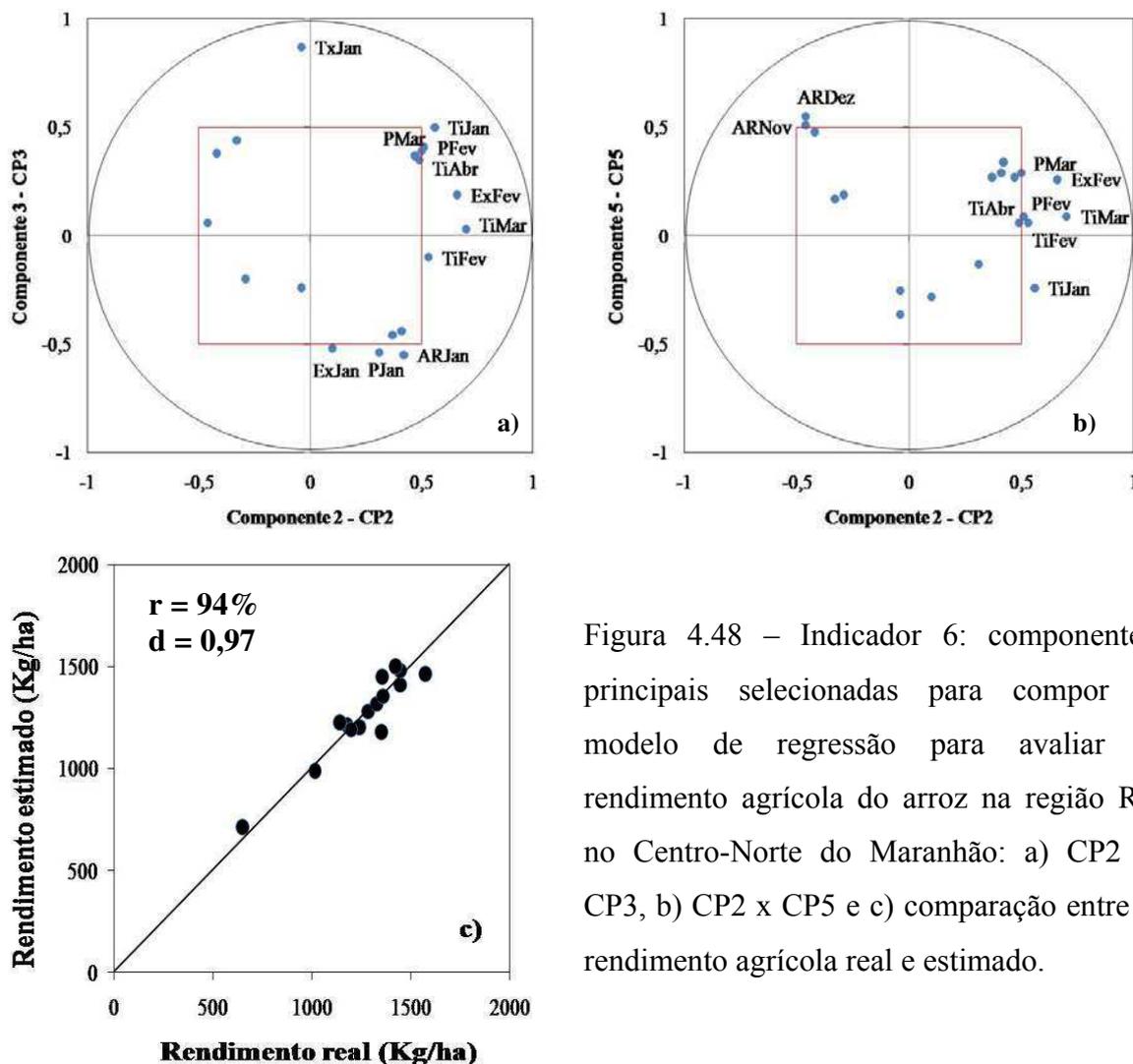


Figura 4.48 – Indicador 6: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP2 x CP3, b) CP2 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O sétimo indicador foi constituído pela precipitação, temperatura máxima, mínima e excesso hídrico (janeiro a abril) e as anomalias de TSM do Pacífico na região do Niño 3 (dezembro a abril). As análises revelaram cinco componentes principais que explicaram 88,6% da variabilidade total dos dados (Apêndice 4.25). Dessas cinco componentes, apenas a CP2 não foi considerada significativa ao nível de 95% de confiança para compor o modelo de regressão. As variáveis que mais contribuíram para explicar a variabilidade da componente CP1, Figura 4.49a, foram às anomalias de TSM na região N3 nos meses de dezembro (N3Dez) a abril

(N3Abr), com correlações elevadas em todos os meses; precipitação em fevereiro (PFev) e abril (PAbr); temperatura máxima de fevereiro (TxFev) a abril (TxAbr); temperatura mínima em fevereiro (TiFev) e abril (TiAbr) e excesso hídrico em abril (ExAbr). O mês de janeiro, relacionado a precipitação (PJan), temperatura máxima (TxJan) e excesso hídrico (ExJan) e os meses de fevereiro e março, associados a temperatura mínima (TiFev e TiMar), apresentaram as maiores correlações com a componente CP3, Figura 4.49a. A componente CP4 se apresentou mais bem correlacionada com a precipitação (PMar) e o excesso hídrico (ExMar) em março, enquanto que a componente CP5 apresentou correlações muito baixas com todas as variáveis, conforme visto na Figura 4.49b.

As componentes CP1, CP3, CP4 e CP5, referentes a esse indicador, que incorporou as anomalias de TSM na região do El-Niño 3, foram as que mais contribuíram significativamente para a composição do modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 apresentando correlação de 96%, explicando 88% da variabilidade do mesmo. O resultado entre os valores observados e estimados pelo modelo (Figura 4.49c. Apêndice 4.28) mostrou grau de exatidão muito bom, da ordem de 0,98, de acordo com índice de Willmott *et. al.* (1985).

No oitavo indicador excluíram-se as anomalias de TSM do Pacífico na região do El-niño 3 e acrescentaram-se as anomalias de TSM do Pacífico na região do El-niño 1+2, mantendo-se os mesmos períodos. Foram consideradas como representativas dessas variáveis as cinco primeiras componentes principais que explicaram 87,7% da variância total dos dados (Apêndice 4.26), das quais a CP1, CP3, CP4 e CP5 foram significativas para avaliar o rendimento agrícola do arroz. A componente CP1, Figura 4.50a, ficou associada a precipitação (PFev e PAbr), temperatura mínima (TiFev e TiAbr) e excesso hídrico (ExFev e ExAbr) nos meses de fevereiro e abril, a temperatura máxima de janeiro a abril (TxJan a TxAbr) e fortemente as anomalias de TSM (N12) nos meses de dezembro a abril (N12Dez a N12Abr). A precipitação (PJan), temperatura máxima (TxJan) e excesso hídrico (ExJan) em janeiro, a temperatura mínima em fevereiro (TiFev) e março (TiMar) correlacionaram-se com a componente CP3 (Figura 4.50a). A componente CP4 destaca a precipitação (PMar e PAbr) e o excesso hídrico (ExMar e ExAbr) em março e abril e a componente CP5, que não apresentou correlações significativas com nenhuma variável, conforme verificado na Figura 4.50b.

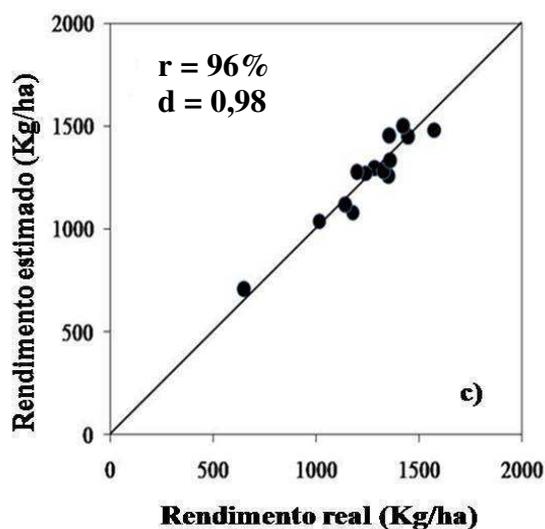
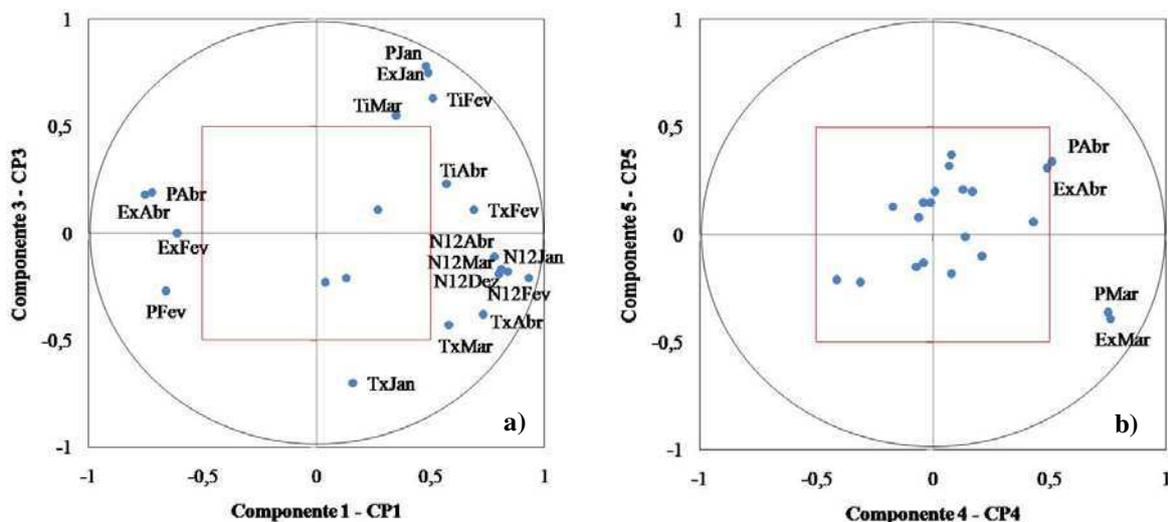


Figura 4.50 – Indicador 8: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP3, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

O nono indicador envolveu a precipitação, temperatura máxima, média, e excesso hídrico de janeiro a abril, com a inclusão das anomalias de TSM do Pacífico (N3) e Dipolo do Atlântico, ambas de janeiro a março. As cinco primeiras componentes principais responderam por 88% da variabilidade dos dados originais (Apêndice 4.27), das quais apenas a componente CP3 não foi considerada na avaliação do rendimento agrícola do arroz. A componente CP1 representou principalmente os efeitos da precipitação (PJan, PFev, PAbr) e o excesso hídrico (ExJan, ExFev, ExAbr) nos meses de janeiro, fevereiro e abril, temperatura média (TmFev a TmAbr) e máxima (TxFev a TxAbr) de fevereiro a abril, e fortemente do Pacífico na região do Niño 3 nos meses de janeiro a março (N3Jan a N3Mar), enquanto que a componente CP2 mostrou-se mais bem correlacionada com a precipitação (PJan e PFev) e o excesso hídrico (ExJan e ExFev) de janeiro e fevereiro, a temperatura média (TmJan) e máxima (TxJan) de janeiro e Dipolo do Atlântico nos meses de janeiro e fevereiro (DAJan e DAFev), conforme observado na Figura 4.51a. A componente CP4 correlacionou-se com a precipitação (PMar) e o excesso hídrico (ExMar) do mês de março, e como no indicador anterior a componente CP5 apresentou coeficientes muito baixos com todas as variáveis (Figura 4.51b).

A inclusão do Dipolo do Atlântico na composição desse cenário reduziu ligeiramente os efeitos sobre o rendimento agrícola do arroz, porém o modelo manteve-se significativo, explicando 87% da sua variabilidade com boa exatidão entre os valores reais e estimados (Figura 4.51c, Apêndice 4.28) revelados pelo índice de concordância de Willmott *et. al.* (1985), 0,97, e pelo coeficiente de correlação (95%) .

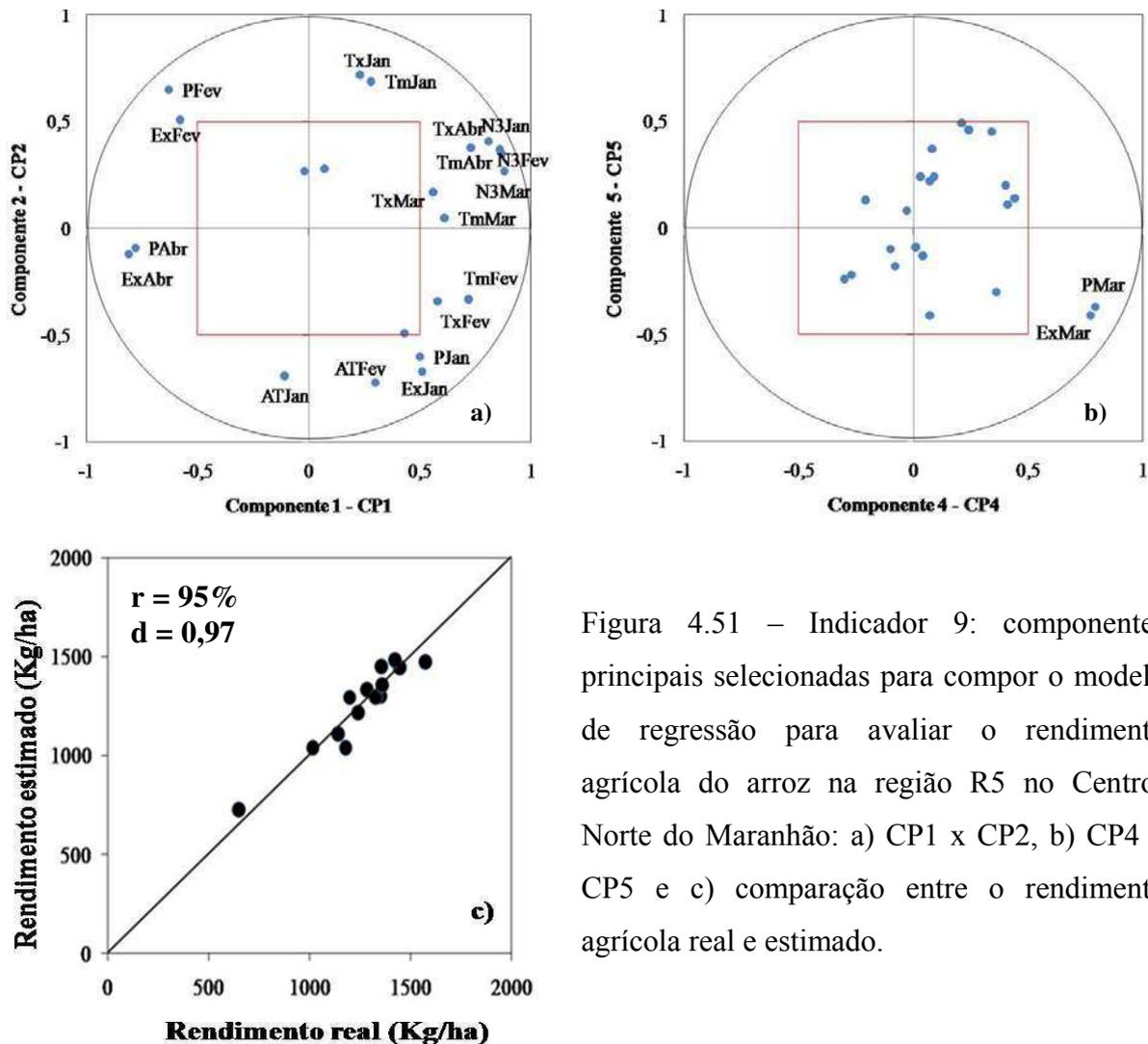


Figura 4.51 – Indicador 9: componentes principais selecionadas para compor o modelo de regressão para avaliar o rendimento agrícola do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão: a) CP1 x CP2, b) CP4 x CP5 e c) comparação entre o rendimento agrícola real e estimado.

Os indicadores compostos pelas variáveis nas fases iniciais do ciclo (germinação e emergência) se mostraram menos satisfatórios em estimar o rendimento agrícola da cultura do arroz na região homogênea de precipitação pluvial R5 no Centro-Norte do Estado do Maranhão. Por outro lado, quando foram considerados os meses correspondentes á fase reprodutiva, desde a floração a maturação, quando as exigências climáticas são mais acentuadas, a relação foi mais significativa, de forma que os modelos apresentaram melhor ajuste para explicar o rendimento agrícola da cultura do arroz.

De acordo com os modelos apresentados, o que expressou o melhor ajuste entre o rendimento observado e estimado, foi o que utilizou como indicador a combinação linear das variáveis: precipitação, excesso hídrico, temperatura máxima, temperatura mínima e as

anomalias de TSM de dezembro a abril. As anomalias de TSM do Pacífico na região do El Niño 1+2 e 3, em todos os meses do ciclo produtivo da cultura do arroz (dezembro a maio), que predominantemente explicaram a maior parte da variabilidade da componente CP1, contribuíram para elevar o nível de explicação e exatidão do modelo, produzindo os menores erros de estimativas, afetando negativamente o rendimento agrícola da referida cultura.

Ainda associados à componente CP1, porém explicando um percentual de variabilidade menor em relação às anomalias de TSM, estão as condições hídricas representadas pela precipitação e excesso hídrico nos meses de fevereiro e abril, correspondentes as fases de floração/enchimento de grãos e maturação, respectivamente, e as condições térmicas representadas pela temperatura máxima nos meses de fevereiro a abril e temperatura mínima em fevereiro e abril, as quais afetaram negativamente o rendimento do arroz na região R5 no Centro-Norte do Maranhão. Por outro lado, a precipitação e o excesso hídrico em janeiro e março, além da temperatura máxima em janeiro e temperatura mínima em fevereiro afetaram positivamente o rendimento da cultura do arroz na referida região.

Os efeitos térmicos, exclusivamente, não foram bons indicadores para estimar o rendimento agrícola do arroz. Porém, quando combinados aos efeitos hídricos, notadamente a precipitação, principalmente durante a fase reprodutiva, nos meses de dezembro a maio, foi extremamente importante para melhorar o ajuste dos modelos.

Cabe ressaltar que as variáveis utilizadas para a composição dos indicadores de rendimento agrícola normalmente apresentam grau de dependência entre si, o que compromete a eficiência dos modelos de regressão multivariada, tendo essas variáveis como independentes. A vantagem em se utilizar as componentes principais como variável explicativa está no fato que as mesmas são linearmente independentes e não correlacionadas entre si, o que reduz os efeitos da multicolineariedade nos modelos. O indício mais claro de existência de multicolineariedade é quando o R^2 é bastante alto, mas nenhum dos coeficientes da regressão é estatisticamente significativo, segundo teste “t”, resultando em erros-padrão elevados e até mesmo a impossibilidade de qualquer estimação, no caso de multicolinearidade perfeita.

De uma forma geral, a análise multivariada mostrou ser uma ferramenta importante para estudos que visam caracterizar as condições climáticas dos ambientes agrícolas. Os modelos de regressão linear múltipla foram estatisticamente significativos em explicar o rendimento agrícola da soja, milho e arroz para um nível de significância de 99%, ou seja, a técnica de análise de componentes principais foi eficiente na proposição de indicadores para estimar o rendimento agrícola das referidas culturas regiões R3 no Sul, R7 no Centro-Oeste e R5 no Centro-Norte do Estado do Maranhão, respectivamente.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- ❖ A geoestatística revelou que a variabilidade espacial da precipitação mensal pode ser detectada e modelada no Estado do Maranhão, com anisotropia em graus e direções diferentes, variáveis ao longo dos meses, exceto janeiro e setembro que apresentaram padrão isotrópico, sugerindo que o número de postos, bem como a sua distribuição espacial foram adequados para o estudo permitindo a interpolação da precipitação;
- ❖ A análise de agrupamento aplicada sobre a matriz de cargas fatoriais permitiu de forma mais consistente com as características regionais, a identificação de 10 regiões homogêneas, cuja distribuição espacial foi condizente com as configurações espaciais das cargas fatoriais com tendência das regiões se formarem sobre as áreas onde se verificaram os maiores valores das cargas fatoriais;
- ❖ A técnica de análise de componentes principais se mostrou eficiente na proposição de indicadores para a avaliação do rendimento agrícola das culturas de soja, milho e arroz sobre o estado do Maranhão nas regiões R3 (Sul), R7 (Centro Oeste) e R5 (Norte), respectivamente;
- ❖ Os modelos empíricos de regressão linear múltipla, apesar de considerarem apenas aspectos climáticos e oceanográficos, apresentaram associação na avaliação do rendimento agrícola das culturas da soja, arroz e milho, para as referidas regiões.

Propõem-se para trabalhos futuros as seguintes sugestões:

- ❖ Utilizar a mesma técnica de análise empírica considerando séries de dados mais longas;
- ❖ Trabalhar com períodos mais curtos de tempo que compreendam as fases fenológicas do ciclo produtivo das culturas e levando em consideração diferentes épocas de plantio;
- ❖ Estender esses procedimentos para outras regiões brasileiras;
- ❖ Levar em consideração outros fatores que afetam o rendimento agrícola, tais como: agronômicos e biológicos;
- ❖ Incorporar nas análises outros elementos meteorológicos, como: radiação solar, insolação, umidade, etc. e oceanográficos, como o IOS;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2003: Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo, Argos, 2003.

ALMEIDA, R.; BERNARDI, J. V. E.; BASTOS, W. R.; NASCIMENTO, E. L.; OLIVEIRAa, R. C.; CARVALHO, D. P. de. Método geoestatístico para modelagem ambiental de poluentes em sistemas lacustres – Amazônia Ocidental. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2247-2253.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; FILHO, F. A. S.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. C. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro/2004. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.1, 56-76, 2006

ALVES, J.M.B., REPELLI, C.A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do nordeste e os eventos El Niño/Oscilação Sul (ENOS). Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 583-592, 1992.

ALVES, M. de C.; BOTELHO, S. A.; PINTO, L. V. A.; POZZA, E. A.; FERREIRA, E.; OLIVEIRA, M. S. Análise Geoestatística da variabilidade espacial da vazão das nascentes perenes da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Snata Cruz, Lavras, MG. V Congresso Brasileiro de Agroinformática, SBI-AGRO Londrina, 2005.

ANJOS, I. B. ; NERY, J. T. Variáveis meteorológicas associadas ao rendimento de grãos no Estado do Paraná. Acta Scientiarum. Agronomy Maringá, v. 27, no. 1, p. 133-144, Jan./March, 2005

ARAÚJO, J. C. de. Determinação de zonas de manejo e estimativa do rendimento agrícola de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multiespectral. Botucatu: UNESP, 2004. p. 101. Tese Doutorado.

ASSAD, E. D.; CASTRO, L. H. R. Análise frequencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 28, n. 3, p. 397-402, 1991.

ASSAD, E. D.; MACEDO, M. A.; JUNIOR, J. Z.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Avaliação de métodos geoestatísticos na espacialização de índices agrometeorológicos para definir riscos climáticos. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 2, p. 161-171, 2003.

ASSIS, F. N. Ajuste da função gama aos totais semanais de chuva de Pelotas-RS. Revista Brasileira de Agrometeorologia. V. 1, n.1, p. 131 - 136, 1993.

BANET, T. A.; MORINEAU, A. Aprender de los datos: el análisis de componentes principales. Espanã, Barcelona: UEB, 1999.

BELO FILHO, A.F. Sistema de Estimativa da Evapotranspiração-SEVAP. Campina Grande: CMM, UFCG. 2003. 59 p. Dissertação de Mestrado.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e o rendimento agrícola do milho no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.40, n.5, p.423-432, maio 2005

BERLATO, M. A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja na Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p.119-125, 1999.

BUSSAD, W. O.; MIAZAKI, E. S.; ANDRADE, D. F. Introdução à análise de agrupamento. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 9, 1990. São Paulo – IME – USP. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística. ABR, 1990. 105p.

BOUROCHE, J. M; SAPORTA, G. *Análise de Dados*. Rio de Janeiro. Zaher Editores, 1982.

CAMARGO, E. C. G. *Geoestatística: Fundamentos e Aplicações-geoprocessamento para projetos ambientais* 2 edição - revisada e ampliada São José dos Campos-SP 1998.

CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T. B., KARLEN, D. L., TURCO, R. F., KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.58, p. 1501-1511, 1994.

CARAM, R. de O. *Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no estado de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. UFV, 2007.

CARDIM, M. *Mapeamento do comportamento multivariado das principais variáveis climáticas de interesse agrícola do estado de São Paulo*. Botucatu: UNESP, 2001. 124p. Tese Doutorado.

CARDIM, D.; CATANEO, A. Distribuição espacial do rendimento agrícola média anual da cultura do feijão no estado de São Paulo e sua correlação com índices climáticos. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu-São Paulo, vol. 20, n.1, 2005, p. 11-28.

CARVALHO, L. G. DE; SEDIYAMA, G. C.; PAULO R. CECON, P. R.; ALVES, H. M. R. Aplicação da análise harmônica por séries de fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no estado de minas gerais. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.3, p.732-741, set./dez. 2005

COHEN, S. J. Classification of 500 mb height anomalies using obliquely rotated principal components. Journal of Climate and Applied Meteorology. v.22, n.12, p.1975-1988, 1983

COMRIE, A. C.; GLENN, E. C. Principal components-based regionalization of precipitation regimes across the southwest United States and northern Mexico, with an application to monsoon precipitation variability. Climate Research. v. 10: p. 201–215, 1998.

COUTO, E. G; SCARAMUZZA, J. F.; MARASCHINI, L. Influencia dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão. 2º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, Viçosa, MG, 2002.

CRESSIE, N. A. C. Statistic for spatial data. John Wiley & Sons, Inc., 1993. 900p.

CUNHA, G. R. DA; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V.; PASINATO, A.; MOREIRA, M. B. El Niño - Oscilação do Sul e seus impactos sobre a cultura de cevada no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 137-145, 2001

CURI, P. R. Análise de agrupamento: métodos seqüenciais, aglomerativos e hierárquicos. Ciência e Cultura, v.35, n.10, p.1416-1429, 1983b.

DOURADO NETO, D. Modelos fitotécnicos referentes a cultura do milho. Piracicaba, 1999. 227 p. Tese (livre docência). Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

DYER, T. G. J. The assignment of rainfall stations into homogeneous groups: an application of principal components analysis. Quarterly Journal Royal Meteorology Society, v.101, n.430, p.1005-1013, 1975.

EHRENDORFER, M. A regionalization of Austria's precipitation climate using principal component analysis. Journal of climatology, vol. 7, 71-89, 1987.

ELMORE, K. L.; RICHMAN, M. B. Euclidean Distance as a Similarity Metric for Principal Component Analysis. Monthly Weather Review, VOLUME 129, p. 540-549, 2000.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Cultivo do feijoeiro comum. Sistema de produção, nº 2. Versão eletrônica, 2003

EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do milho. Sistema de produção, nº1. Versão eletrônica, 2003.

EMBRAPA SOJA. Tecnologia de produção de soja região central do Brasil. Sistema de produção. Versão eletrônica, 2003.

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. Produção de milho. Guaíba: Agropecuária, 2000

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT-Agriculture. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 08 mar. 2004.

FARIA, R. T. DE; CHIBANA, E. Y.; GALDINO, J. Riscos de decréscimo no rendimento agrícola de trigo devido a elementos climáticos, em diferentes épocas, na região dos Campos Gerais, Paraná. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 123-134, 2005

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO MARANHÃO - FIEMA. 2004.

FERREIRA, D. B. Relações entre a variabilidade da precipitação e o rendimento agrícola agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. Dissertação de mestrado - São José dos Campos, INPE, 123p. 2005.

FOLHES, M. T.; RENNÓ, C. D.; FISCH, G. Caracterização espaço-temporal do regime pluviométrico na parte paulista da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 359-361.

FRAKES, W. B.; YATES R. B. Information retrieval: Data structures & Algorithms. New Jersey : Prentice Hall, 2000.

FREITAS, V. A. de. Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas. Uberlândia. Monografia (Graduação em Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, 2000. 30p.

FRÈRE, M.; POPOV, G. F. Agrometeorological crop monitoring and forecasting. Rome: FAO, 1979. p.31-40. Plant Production and Protection. Paper, 17.

GOMES, B. M. Comportamento espacial do percentil 75 da precipitação decenal do estado de São Paulo. Botucatu, 2001, 101p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas - Campus de Botucatu.

GOMES, B. M.; CRUZ, R. L. Comportamento espacial dos percentis 75 da precipitação decenal para o estado de São Paulo, na primavera. Irriga. Botucatu, v. 7, n.2, 2000.

GOMES, N. M.; MELLO, C. R. de; FARIA, M. A. de; SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, M. S. de. Ajuste de variogramas no estudo da continuidade espacial de atributos físicos do solo. Irriga. Botucatu, v. 12, n. 1, p. 92-107. 2007.

- GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística Básica e Aplicada*. Uberlândia: UFU, 75p.,2005.
- HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E.; TATHAN, R. L.; BLACK, W. C. *Multivariate data analysis*. Fifth Edition, Printice-Hall: USA, 1998.
- HAAN, C. T. *Statistical Methods in Hydrology*. The Iowa State University Press, Ames Iowa. 1977
- HOLAWÉ, F.; DUTTER, R. Geoestatistical Study of precipitation series in Austria: time and space. *Journal of Hydrology*, v.219, p. 70-82, 1999.
- HONG, W.U; HUBBARD, K. G.; WILHITE, D. A. An agricultural drought risk- assessment model for corn and soybeans. *International Journal of Climatology*. *Int. J. Climatol.* 24: 723–741 (2004)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. 2005. Acessado em 17 de novembro de 2007.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. (1992). *Applied multivariate statistical analysis*. 3rd. Ed. New Jersey: Prentice Hall.
- KAISER, H.F. The varimax criteria for analytical rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23: 141-51, 1958.
- KAISES, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 141-151.
- KELLER, T.; ASSAD, E. D.; SCHUBNELL, P. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.4, p.311-322, 2005.
- KOUSKY, V.E., ROPELEWSKI, C.F. Extremes in the southern oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 4, p. 351-363, 1989.
- KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the witwatersrand. *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afri.* Johannesburg, 52: 119-139, 1951.
- LANDIM, P. M. B. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. Texto didático 02, UNESP – Rio Claro-SP, 2000.
- LANDIM, P.M.B., STURARO, J.R. & MONTEIRO, R. C. Krigagem ordinária para situações com tendência regionalizada. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatémática,Texto Didático 06, 12 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 25 de abril de 2008.

LEÃO, A. B.; ANDRADE, A. R. S.; CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. de B.; GUERRA H. O. C. Variabilidade espacial de fósforo em solo do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, PB Engenheiro Arcoverde, PB. Revista Ciência Agronômica, v.38, n.1, p.1-6, 2007.

LEITE, A. de C. Normais de temperaturas máxima, mínima e média estimadas em função da latitude, longitude e altitude para o Estado do Maranhão. São Luís: Empresa Maranhense de Pesquisa Agropecuária, 1978. 18p. (EMAPA, Boletim técnico, 1).

LOPES, M. de C. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. Santa Maria, 2003, 93p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “Índice de Vegetação Por Diferença normalizada/NDVI Utilizando Krigagem Indicativa. *Holos Environment*, v.4 n.1, 2004 – P. 38-55.

LOURENÇO, R. W. ; LANDIM, P. M. B. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 21(1):150-160, 2005.

LYRA, G. B.; Garcia, B. I. L.; Piedade, S. M. S.; Sedyama, G. C.; Sentelhas, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev. 2006.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. *Forecasting: Methods and Applications*, 3rd edition, John Wiley, New York, 1998.

MARION, E. Parâmetros hídricos para estimativa do rendimento de grãos de soja. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, v. 58, p.1246-1266. El Paso, 1963.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; LIMA, J. M.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, M. S. de. Modelos matemáticos para predição da chuva de projeto para regiões do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.121-128, 2003.

MELLO, C. R., VIOLA, M. R., MELLO, J. M.; SILVA, A. M. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar./abr., 2008.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.2, p.426-435, maio/ago. 2007.

MOTA, F. S. da. Meteorologia Agrícola. Ed. Nobel: São Paulo, 1975.

MOURA, G. M.; GUIMARÃES, E. C.. Avaliação da dependência espacial da precipitação pluviométrica no Triângulo mineiro e Alto Parnaíba. 6ª reunião anual da SBPC, UNICAMP-Campinas – SP, 2008

MOUSINHO, F. E. P.; JÚNIOR, A. S. de A.; GONÇALVES, A. C. A.; FRIZZONE, J. A. Variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial anual para o estado do Piauí. Irriga. Botucatu v. 11, n.2, p. 178-187. 2006

MUÑOZ-DIAZ, D.; RODRIGO, F. S. Spatio-temporal patterns of seasonal rainfall in Spain (1912–2000) using cluster and principal component analysis: comparison. Annales Geophysicae. European Geosciences Union, p. 1435–1448, 2004.

NERY, J. T.; STIVARI, S. M. S.; MARTINS, M. L. O. F.; SILVA, E. S.; SOUSA P. Estudo da precipitação do Estado do Paraná e sua associação à temperatura da superfície do Oceano Pacífico. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 161-171, 2005.

NUGEO/LABGEO. Atlas do Maranhão. UEMA, São Luís-MA. 2002.

OLIVEIRA, J. A. de.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Comportamento espacial de chuvas de verão no estado de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 50, 2005, Londrina. *Anais...*, 2005, 1 CD-ROOM.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, A. V. C.; VILLELA, O. V. Estimativa do rendimento agrícola de arroz irrigado por inundação em função da temperatura do ar e da radiação solar. Sci. Agric., Piracicaba, 52(1):96-100, jan./abr., 1995.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P. de.; CASTRO, E. da M. de. Melhoramento genético do arroz de sequeiro no Nordeste do Brasil. In: QUEIROZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. *Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro* (on line). Versão 1.0. Petrolina (PE): Embrapa Semi-Árido/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, nov. 1999. Disponível via Word Wide Web <http://www.cpsa.Embrapa.br>.

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. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2005.

SANSIGOLO, C. A.; NERY, J. T. Análise de fatores comuns e agrupamentos das precipitações nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. DCM/ INPE, 1998.

SETO, S.; OOHARA, M.; YKEDA, Y. Analysis of precipitation chemistry at a rural site in Hiroshima prefecture, Japan. Atmospheric Environment, v.34, p. 621-628, 2000.

SILVA JUNIOR, R. L. da. Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade. Piracicaba, 2001. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

SILVA, J. W. da.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade temporal de chuvas médias mensais na Estação Climatológica de Uberaba – MG. Revista Eletrônica DIRPE-UFU. (Submetido). 2001.

SILVA, V. P. R.; GUEDES, M. J. F.; LIMA, W. F. A.; CAMPOS, J. H. B. C. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.1, p.83-87, 2002.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade Espacial das Características Químicas do Solo e Produtividade de Milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Arênico. R. Bras. Ci. Solo, 27:1013-1020, 2003.

SIQUEIRA, H. R.; ALVES, G. de F.; GUIMARÃES, E. C. Comportamento da precipitação pluviométrica mensal do estado de Minas Gerais: Análise espacial e temporal. Projeto Financiado pela FAPEMIG - Programa de infra-estrutura para jovens doutores – 2003.

SOUSA, E.B. Um estudo observacional sobre o Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical. São José dos Campos, 1997, 138 p. Tese (Mestrado em Meteorologia), São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997.

SOUSA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Influência dos oceanos pacífico e atlântico na estação chuvosa do semi-árido nordestino. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 277-283, 1998.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, v.38, n.1, 1948, pp. 55-94.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, N. J. 1955, 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

- UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. 1989. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT No Atlântico Equatorial. *Climanálise*, 4 (7):34-34, jul., 1989.
- VALERIANO, M. de M.; PICINI, A. G. Geoprocessamento de informações agroclimáticas. INPE, São José dos Campos, 2003
- VENDRUSCULO, L. G.; CARVALHO, J. R. P.; VIEIRA, S. R. Uso do software GEOEST par análise espacial da precipitação pluvial anual no estado de São Paulo. Anais do IV Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Informática Aplicada à Agropecuária e à Agroindústria, 2003.
- VIANA, J. F. R. SCLUSTER: Um sistema para análise multivariada de agrupamentos de dados em larga escala. Ceará: UECE, 2003. 68p. Monografia.
- VICENTE, J. R. Uma aplicação de métodos multivariados na previsão de rendimento do milho. *Agricultura em São Paulo*, SP, 41(1):125-147, 1994.
- VIEIRA, M. A. D. Geoestatística aplicada. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba, 2002.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F.; BURROWS, I. T. Mapeamento da chuva diária máxima provável para o estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 15, n.1, p. 93-98, 1991.
- VIRJI, H. ; KOUSKY, V. E. Regional and Global Aspects of a Low Latitude Frontal Penetration in Amazonas and Associated Tropical Activity, São José dos Campos-SP, Anais do First International Conference on Southern Hemisphere Meteorology, American Meteorological Society, 1983
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, p. 8995-9005, 1985.
- YOSHIDA, S. Climatic environment and its influence. In: YOSHIDA, S. (Ed.). *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños : International Rice Research Institute, 1981. cap.2, p.65-110.
- ZAMBOTI, J. L. Mapas pluviométricos médios mensais no verão para o estado do paraná, utilizando métodos geoestatísticos. Botucatu: UNESP, 2001. p.117. Tese Doutorado.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f. Tese (Livre Docência) - UNESP, Botucatu.

APÊNDICES

Apêndice 3.1 – Relação dos postos pluviométricos

Localidade	Latitude (graus)	Longitude (graus)	Ordem
Turiaçu	-2,5	-45,8	1
São Bento	-2,7	-44,8	2
Cururupu	-1,8	-44,9	3
Cândido Mendes 2	-1,5	-45,7	4
Cândido Mendes 1	-2,1	-46,0	5
Chapadinha	-3,9	-43,5	6
Carolina	-7,3	-47,5	7
Cantanhede	-3,6	-44,4	8
Cajari	-3,4	-45,0	9
Buriti	-5,6	-47,0	10
Bom Jardim	-4,2	-46,2	11
Barra do Corda 1	-6,0	-45,4	12
Barra do Corda 2	-5,0	-44,9	13
Buriti Bravo	-5,7	-43,6	14
Balsas 2	-7,3	-46,3	15
Balsas 1	-7,9	-46,0	16
Balsas	-7,5	-46,0	17
Alto Turi	-3,0	-45,7	18
Aldeias Altas	-4,6	-43,5	19
Alto Parnaíba 2	-9,1	-45,9	20
Alto Parnaíba 1	-8,8	-46,0	21
Sta Luzia 2	-4,4	-46,7	22
Sta Luzia	-4,0	-45,3	23
Sta Helena	-2,3	-45,3	24
São Félix de Balsas	-7,1	-44,8	25
Sambaíba	-7,1	-45,3	26
Pindaré Mirim	-3,7	-45,4	27
Presidente Juscelino	-2,9	-44,1	28
Pirapemas	-3,7	-44,3	29
Pinheiro 1	-2,5	-45,1	30
Passagem Franca 1	-6,2	-43,8	31
Passagem Franca	-6,0	-43,4	32
Pedreiras	-4,6	-44,6	33
Presidente Dutra	-5,4	-44,9	34
Parnarama	-5,5	-43,4	35
Nina Rodrigues	-3,5	-43,9	36
Mata Roma	-3,6	-43,1	37
Monção	-3,4	-45,7	38
Mirador 2	-6,1	-44,7	39
Mirador 1	-6,0	-44,3	40

Mirador	-6,4	-44,4	41
Lago da Pedra 1	-4,6	-45,1	42
Loreto	-6,8	-45,1	43
Itapecuru Mirim	-3,6	-44,6	44
Imperatriz	-4,8	-47,3	45
Grajaú 3	-6,2	-46,3	46
Grajaú 2	-6,8	-46,3	47
Grajaú 1	-5,6	-46,2	48
Grajaú	-4,9	-46,0	49
Graça Aranha	-5,4	-44,3	50
Duque Bacelar	-4,2	-42,9	51
Coroatá 1	-4,4	-44,3	52
Coroatá	-4,2	-44,2	53
Colinas	-6,0	-44,3	54
Codó 2	-4,4	-43,6	55
Codó 1	-4,5	-43,9	56
Codó	-4,5	-43,9	57
Vitória do Mearim	-3,8	-44,8	58
Vitória do Mearim 1	-3,8	-45,2	59
Vargem Grande 1	-3,6	-43,7	60
Vargem Grande	-3,6	-43,9	61
Vitorino Freire	-4,2	-45,4	62
Urbamo Santos	-3,0	-43,2	63
Tutóia	-2,9	-42,3	64
Tasso Fragosso 1	-8,1	-45,6	65
Sta. Quitéria	-3,4	-42,7	66
Sítio Novo	-5,9	-46,7	67
São Mateus	-4,0	-44,5	68
Barão de Grajaú	-6,6	-43,4	69
Sta. Luzia 1	-4,3	-46,5	70
Pirapemas 1	-3,9	-44,0	71
Pinheiro 2	-2,6	-45,4	72
Lago da Pedra	-4,7	-45,2	73
Guimarães	-2,1	-44,6	74
Tasso Fragosso	-8,3	-46,0	75
São Raimundo das Mangabeiras	-7,4	-45,6	76

Apêndice 4.1 – Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável/mês	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
P/Out	0,08	-0,87	-0,28	0,04	0,14	-0,20	-0,12
P/Nov	-0,44	-0,05	-0,03	-0,07	-0,83	-0,16	-0,02
P/Dez	0,04	-0,06	-0,31	-0,17	-0,44	0,57	0,52
P/Jan	0,03	-0,09	0,28	0,68	0,23	0,27	-0,52
P/Fev	0,04	0,23	0,00	0,05	0,18	0,90	0,03
P/Mar	-0,26	-0,11	-0,29	0,79	-0,06	-0,21	0,04
P/Abr	-0,88	-0,17	0,00	0,14	0,08	-0,22	0,13
Tm/Out	0,35	0,70	-0,22	-0,02	0,41	0,00	-0,19
Tm/Nov	0,74	0,46	-0,06	0,19	0,24	0,18	0,29
Tm/Dez	0,23	0,06	0,01	0,87	0,05	0,01	-0,06
Tm/Jan	0,58	0,31	-0,20	-0,16	0,52	0,03	0,42
Tm/Fev	0,66	-0,26	-0,08	0,41	0,08	-0,36	-0,06
Tm/Mar	0,64	-0,01	0,40	0,12	0,58	0,11	-0,10
Tm/Abr	0,87	0,08	0,03	0,03	0,39	-0,11	-0,08
D/Out	0,09	0,97	0,11	-0,03	0,07	0,15	0,01
D/Nov	0,79	0,18	-0,18	0,19	0,43	0,08	-0,11
D/Dez	-0,06	0,07	0,98	-0,01	-0,01	-0,07	-0,09
D/Jan	-0,16	0,01	-0,06	-0,06	0,04	0,07	0,94
D/Fev	0,56	-0,38	-0,01	0,22	-0,08	-0,59	-0,02
D/Mar	-0,03	0,13	0,97	-0,10	0,04	0,02	-0,07
D/Abr	0,94	-0,08	-0,02	-0,09	0,13	-0,20	-0,05
Autovalor	5,6	2,9	2,5	2,3	2,2	2,0	1,8
Variância (%)	26,5	13,8	12,1	10,8	10,5	9,5	8,6

Apêndice 4.2 – Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
P/Out	0,02	-0,79	0,04	-0,33	-0,21	0,25	0,31
P/Nov	-0,59	-0,10	-0,18	-0,03	-0,10	0,18	-0,67
P/Dez	0,05	-0,17	-0,27	-0,32	0,50	-0,47	-0,46
P/Jan	0,09	-0,08	0,71	0,27	-0,49	-0,31	0,15
P/Fev	0,18	0,18	0,00	-0,01	0,03	-0,93	0,06
P/Mar	-0,30	-0,13	0,73	-0,30	0,01	0,14	-0,06
P/Abr	-0,86	-0,15	0,13	0,02	0,14	0,09	0,18
Tm/Out	0,36	0,78	0,02	-0,20	-0,16	-0,02	0,33
Tm/Nov	0,78	0,43	0,17	-0,06	0,29	-0,12	0,06
Tm/Dez	0,21	0,05	0,89	0,00	0,00	0,00	-0,06
Tm/Jan	0,63	0,33	-0,14	-0,20	0,43	0,01	0,42
Tm/Fev	0,61	-0,24	0,47	-0,08	-0,04	0,46	0,02
Tm/Mar	0,71	0,03	0,17	0,38	-0,12	-0,08	0,51
Tm/Abr	0,91	0,10	0,07	0,02	-0,09	0,18	0,26
Tx/Out	0,29	0,86	0,05	-0,03	-0,13	-0,04	0,34
Tx/Nov	0,73	0,42	0,27	-0,10	0,38	-0,08	0,04
Tx/Dez	0,11	0,23	0,82	0,04	-0,19	0,13	0,38
Tx/Jan	0,42	0,22	-0,11	-0,45	0,64	-0,14	-0,19
Tx/Fev	0,60	-0,11	0,58	-0,19	0,05	0,41	0,10
Tx/Mar	0,79	0,24	0,08	0,31	0,25	-0,27	0,12
Tx/Abr	0,95	0,13	0,02	-0,03	0,06	-0,03	-0,02
D/Out	0,15	0,94	-0,01	0,16	0,09	-0,20	-0,09
D/Nov	0,84	0,21	0,20	-0,20	-0,11	-0,05	0,27
D/Dez	-0,06	0,04	-0,03	0,97	-0,12	0,03	0,00
D/Jan	-0,13	-0,05	-0,11	-0,04	0,92	-0,06	0,07
D/Fev	0,44	-0,36	0,17	-0,04	-0,14	0,66	-0,03
D/Mar	0,00	0,10	-0,10	0,97	-0,08	-0,05	0,03
D/Abr	0,91	-0,06	-0,08	-0,04	-0,12	0,32	0,08
Autovalor	8,6	3,9	3,5	2,9	2,5	2,4	1,9
Variância (%)	30,7	13,9	12,4	10,4	8,9	8,7	6,6

Apêndice 4.3 – Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável/ Mês	Cargas Fatoriais							
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7	CF8
P/Out	0,77	-0,44	0,02	0,19	-0,03	0,36	0,06	0,08
P/Nov	-0,24	-0,60	0,45	-0,18	0,34	-0,11	-0,14	-0,41
P/Dez	-0,21	0,13	0,82	-0,05	-0,13	0,32	0,29	-0,08
P/Jan	0,03	0,04	-0,28	0,89	0,17	-0,19	-0,11	0,10
P/Fev	-0,55	0,29	0,28	0,42	-0,25	0,13	0,01	0,50
P/Mar	0,01	-0,14	-0,13	0,29	0,86	0,25	0,10	0,10
P/Abr	-0,16	-0,67	-0,22	-0,06	0,28	-0,02	0,53	0,01
Tx/Nov	0,00	0,96	-0,06	-0,01	0,06	0,12	0,01	0,07
Tx/Dez	0,09	0,30	-0,70	0,49	0,31	0,06	0,00	-0,07
Tx/Jan	-0,07	0,66	0,36	-0,38	-0,06	0,42	0,22	-0,03
Tx/Fev	0,61	0,55	-0,26	0,17	0,35	0,17	-0,03	-0,12
Tx/Mar	0,04	0,85	0,02	0,20	-0,30	-0,23	0,06	0,04
Ti/Out	0,05	0,44	-0,34	-0,18	-0,16	0,38	-0,56	-0,01
Ti/Dez	-0,04	0,00	0,22	0,06	-0,29	0,25	-0,03	-0,78
Ti/Jan	0,51	0,46	-0,09	0,00	-0,32	0,19	0,16	0,34
Ti/Fev	0,89	0,24	-0,11	0,06	-0,20	0,09	-0,05	-0,17
Ti/Mar	0,92	0,05	-0,08	-0,10	-0,14	-0,10	-0,15	0,13
Ti/Abr	0,45	0,30	0,69	-0,25	-0,05	-0,08	-0,07	-0,06
D/Out	-0,69	0,57	-0,22	-0,16	-0,06	-0,15	-0,22	-0,08
D/Dez	-0,05	-0,07	-0,10	0,11	-0,13	-0,95	-0,01	0,06
D/Jan	-0,18	0,20	0,22	-0,35	0,09	0,11	0,75	0,02
D/Fev	0,74	0,09	-0,03	-0,06	0,39	-0,08	-0,28	-0,06
D/Mar	-0,10	0,01	-0,09	0,09	-0,25	-0,93	0,01	0,08
Ex/Dez	-0,15	-0,09	0,94	-0,10	-0,03	0,10	0,05	-0,07
Ex/Jan	0,00	0,01	-0,15	0,94	0,23	-0,09	-0,07	-0,04
Ex/Fev	-0,52	0,21	0,27	0,47	-0,16	0,06	-0,25	0,52
Ex/Mar	-0,12	-0,20	-0,09	0,24	0,86	0,24	0,10	0,10
Ex/Abr	0,20	-0,53	-0,16	-0,08	0,49	0,00	0,36	-0,06
Autovalor	4,9	4,9	3,6	3,1	2,9	2,8	1,7	1,6
Variância (%)	17,6	17,5	12,8	10,9	10,5	9,9	6,2	5,6

Apêndice 4.4 – Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável/Mês	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
P/Out	0,14	0,03	-0,81	-0,23	-0,27	-0,35	-0,09
P/Nov	-0,92	-0,07	-0,10	-0,12	0,05	0,04	0,03
P/Dez	-0,25	-0,18	-0,17	0,36	0,71	-0,25	0,30
P/Jan	0,18	0,74	-0,10	0,29	-0,45	0,26	0,05
P/Fev	0,19	0,09	0,14	0,93	0,16	-0,01	0,16
P/Mar	-0,23	0,78	-0,10	-0,09	0,02	-0,30	-0,33
P/Abr	-0,44	0,08	-0,15	-0,01	0,00	0,05	-0,83
Tm/Out	0,43	0,00	0,74	0,08	-0,24	-0,25	0,14
Tm/Dez	0,19	0,84	0,10	-0,14	0,04	0,01	0,13
Tm/Jan	0,76	-0,21	0,33	-0,04	0,31	-0,25	0,11
Tm/Fev	0,45	0,43	-0,20	-0,60	-0,04	-0,10	0,36
Tm/Mar	0,86	0,14	0,01	0,06	-0,21	0,31	0,22
Tm/Abr	0,80	0,07	0,10	-0,23	-0,10	-0,05	0,42
Tx/Out	0,42	0,00	0,82	0,10	-0,23	-0,07	0,03
Tx/Nov	0,61	0,24	0,45	-0,04	0,41	-0,12	0,34
Tx/Dez	0,39	0,73	0,25	-0,15	-0,33	-0,01	-0,18
Tx/Jan	0,24	-0,15	0,26	0,00	0,72	-0,42	0,26
Tx/Fev	0,52	0,53	-0,06	-0,54	0,04	-0,22	0,23
Tx/Mar	0,72	0,07	0,24	0,14	0,28	0,29	0,40
D/Out	0,09	-0,01	0,94	0,21	0,10	0,15	0,13
D/Dez	-0,01	-0,03	0,04	0,00	-0,16	0,96	-0,02
D/Jan	0,10	-0,15	-0,02	0,04	0,84	-0,02	-0,39
D/Fev	0,22	0,20	-0,35	-0,65	-0,13	-0,07	0,21
D/Mar	0,06	-0,11	0,10	0,06	-0,13	0,96	0,02
Ex/Dez	-0,51	-0,21	-0,26	0,27	0,54	-0,10	0,41
Ex/Jan	0,09	0,79	-0,15	0,30	-0,36	0,17	0,08
Ex/Fev	0,11	0,14	0,13	0,89	-0,05	0,01	0,27
Ex/Mar	-0,36	0,74	-0,04	-0,04	0,05	-0,28	-0,34
Ex/Abr	-0,28	0,18	-0,29	-0,30	-0,04	-0,07	-0,65
Autovalor	5,7	4,4	3,8	3,5	3,2	2,9	2,8
Variância (%)	19,8	15,2	12,9	11,9	10,9	10,0	9,5

Apêndice 4.5 – Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variáveis/Mês	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
P/Out	0,04	0,06	-0,10	-0,87	-0,21	-0,30	-0,17
P/Nov	-0,80	-0,05	0,47	0,04	-0,25	0,05	-0,18
P/Dez	-0,01	-0,18	0,80	0,00	0,33	-0,30	0,23
P/Jan	0,09	0,74	-0,29	-0,16	0,34	0,32	-0,29
P/Fev	0,17	0,06	0,14	0,19	0,93	-0,03	0,03
P/Mar	-0,32	0,79	-0,05	-0,10	-0,14	-0,28	0,14
P/Abr	-0,70	0,12	-0,22	-0,26	-0,08	0,08	0,53
Tm/Out	0,35	-0,02	-0,42	0,65	0,14	-0,26	-0,21
Tm/Dez	0,26	0,83	-0,03	0,11	-0,08	-0,01	-0,03
Tm/Jan	0,76	-0,23	-0,13	0,30	0,04	-0,32	0,24
Tm/Fev	0,61	0,43	0,00	-0,20	-0,50	-0,11	-0,22
Tm/Mar	0,80	0,12	-0,34	-0,03	0,16	0,31	-0,17
Tm/Abr	0,89	0,05	-0,16	0,08	-0,14	-0,05	-0,25
Tx/Out	0,31	-0,02	-0,48	0,73	0,14	-0,08	-0,11
Tx/Nov	0,78	0,22	0,09	0,48	0,04	-0,18	0,16
Tx/Dez	0,23	0,72	-0,59	0,13	-0,06	-0,01	-0,03
Tx/Jan	0,45	-0,17	0,43	0,35	0,02	-0,51	0,35
Tx/Fev	0,62	0,53	-0,09	-0,08	-0,44	-0,24	-0,08
Tx/Mar	0,84	0,04	0,09	0,29	0,22	0,24	0,04
D/Out	0,13	-0,04	-0,11	0,94	0,22	0,11	0,03
D/Dez	-0,01	-0,04	-0,08	0,07	-0,02	0,97	-0,04
D/Jan	0,06	-0,13	0,32	0,07	0,00	-0,12	0,81
D/Fev	0,34	0,21	0,04	-0,31	-0,65	-0,04	-0,29
D/Mar	0,07	-0,12	-0,08	0,12	0,06	0,96	-0,02
Ex/Dez	-0,21	-0,21	0,90	-0,05	0,20	-0,12	-0,01
Ex/Jan	0,03	0,79	-0,15	-0,17	0,33	0,22	-0,29
Ex/Fev	0,10	0,12	0,11	0,18	0,88	0,02	-0,21
Ex/Mar	-0,44	0,76	0,00	-0,03	-0,09	-0,27	0,16
Ex/Abr	-0,47	0,24	-0,13	-0,36	-0,38	-0,01	0,34
AR/Out	-0,19	-0,04	0,78	-0,47	-0,06	0,06	0,15
AR/Nov	-0,73	-0,05	0,46	-0,01	-0,24	-0,04	-0,36
N3/Out	0,87	-0,14	-0,15	0,03	-0,28	0,09	-0,01
Autovalor	7,8	4,4	4,0	3,9	3,5	3,1	2,1
Variância(%)	24,4	13,9	12,4	12,1	10,9	9,7	6,5

Apêndice 4.6 – Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável/Mês	Cargas Fatoriais								
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7	CF8	CF9
P/Out	-0,10	0,97	0,04	-0,11	0,09	-0,05	-0,01	0,07	-0,08
P/Nov	-0,55	-0,17	-0,31	-0,37	0,09	-0,26	0,38	0,19	-0,34
P/Dez	0,06	-0,10	-0,31	-0,45	0,40	0,34	0,37	-0,33	0,19
P/Jan	0,07	0,06	0,75	0,01	-0,23	-0,46	-0,14	-0,31	-0,03
P/Fev	0,23	-0,27	0,02	0,03	-0,01	0,07	0,00	-0,91	0,10
P/Mar	-0,27	0,10	0,55	-0,05	0,35	0,03	-0,17	-0,03	-0,64
P/Abr	-0,86	0,04	0,10	-0,05	0,05	0,14	-0,25	0,05	-0,05
Ti/Out	0,38	-0,23	0,08	0,84	0,03	0,00	0,17	-0,04	0,09
Ti/Nov	0,80	-0,22	0,20	0,27	0,07	0,32	0,20	-0,09	0,01
Ti/Dez	0,20	0,01	0,91	-0,07	0,11	-0,01	0,20	0,08	0,01
Ti/Jan	0,61	0,04	-0,06	0,46	0,06	0,59	0,07	-0,04	0,13
Ti/Fev	0,55	0,39	0,46	-0,06	0,09	-0,06	-0,03	0,50	0,01
Ti/Mar	0,66	0,19	0,32	0,28	-0,53	0,06	-0,07	-0,14	0,06
Ti/Abr	0,91	0,16	0,09	0,27	-0,09	0,00	-0,18	0,11	-0,05
Tm/Out	0,32	-0,39	0,14	0,81	-0,07	0,00	0,18	-0,04	0,09
Tm/Nov	0,76	-0,30	0,26	0,20	0,20	0,35	-0,05	0,00	0,07
Tm/Dez	0,09	0,00	0,86	0,38	-0,01	-0,10	-0,18	0,10	-0,08
Tm/Jan	0,46	-0,22	-0,14	-0,08	0,55	0,53	0,18	-0,02	0,22
Tm/Fev	0,56	0,26	0,54	0,05	0,25	0,03	-0,17	0,43	-0,07
Tm/Mar	0,80	-0,25	0,20	0,03	-0,23	0,21	0,08	-0,16	0,20
Tm/Abr	0,98	-0,06	0,00	0,04	0,08	0,02	-0,15	0,00	0,04
Tx/Out	0,51	0,04	-0,13	0,77	0,15	-0,10	0,11	0,13	0,00
Tx/Nov	0,18	-0,14	-0,09	0,20	-0,21	0,13	0,84	-0,20	-0,19
Tx/Dez	-0,12	0,05	0,02	0,08	0,11	0,05	0,95	0,12	0,16
Tx/Jan	0,47	0,48	0,17	0,18	-0,12	0,49	-0,03	-0,03	0,31
Tx/Fev	0,50	0,63	0,15	-0,03	0,01	-0,05	-0,02	0,46	0,27
Tx/Mar	0,40	0,72	-0,02	0,00	-0,26	0,01	-0,07	0,41	0,07
Tx/Abr	0,51	0,10	-0,27	-0,60	0,19	0,02	0,19	0,23	0,23
ER/EP-Out	-0,22	0,90	0,05	-0,29	0,10	-0,05	-0,07	0,07	-0,14
ER/EP-Nov	-0,83	-0,15	-0,24	-0,37	-0,12	-0,01	0,00	0,16	0,03
ER/EP-Dez	0,09	0,23	-0,04	0,14	0,94	0,04	0,03	-0,03	0,04
ER/EP-Jan	0,06	0,07	0,22	0,16	-0,08	-0,87	-0,08	0,08	0,07
ER/EP-Fev	-0,31	-0,56	-0,06	0,07	0,07	0,10	-0,10	-0,38	0,61
ER/EP-Mar	-0,11	-0,11	0,21	-0,07	0,88	0,08	-0,09	0,06	-0,17
ER/EP-Abr	-0,91	-0,28	0,08	-0,12	0,08	0,08	-0,07	-0,20	0,12
Autovalor	9,6	4,3	3,8	3,7	3,0	2,4	2,4	2,3	1,5
Variância (%)	27,5	12,2	10,8	10,5	8,7	6,9	6,9	6,7	4,1

Apêndice 4.7 – Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3.

Variável/mês	Cargas Fatoriais							
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7	CF8
P/Out	-0,39	0,85	0,04	0,13	-0,12	0,10	0,20	-0,06
P/Nov	-0,66	-0,39	0,52	-0,04	-0,26	0,16	-0,02	0,06
P/Dez	0,08	-0,08	0,76	-0,24	0,33	-0,11	0,35	-0,24
P/Jan	0,09	0,06	-0,26	0,90	0,20	0,17	-0,15	-0,06
P/Fev	0,25	-0,21	0,11	0,11	0,92	-0,04	-0,01	-0,05
P/Mar	-0,14	0,01	-0,11	0,25	-0,03	0,91	0,21	-0,06
P/Abr	-0,59	-0,13	-0,24	-0,08	-0,12	0,27	0,07	-0,59
Tx/Nov	0,93	-0,02	-0,05	-0,06	0,11	0,06	0,15	0,17
Tx/Dez	0,32	0,04	-0,64	0,53	-0,11	0,29	0,13	0,03
Tx/Jan	0,62	-0,05	0,32	-0,48	0,09	-0,05	0,47	-0,02
Tx/Fev	0,60	0,43	-0,14	0,28	-0,40	0,29	0,22	0,14
Tx/Mar	0,86	0,00	0,03	0,15	0,16	-0,32	-0,14	0,02
Ti/Out	0,30	0,14	-0,31	-0,14	0,10	-0,15	0,23	0,75
Ti/Dez	-0,15	-0,07	0,32	0,11	-0,18	-0,46	0,45	0,15
Ti/Jan	0,47	0,71	-0,13	-0,19	0,20	-0,10	-0,01	-0,02
Ti/Fev	0,31	0,75	-0,01	0,17	-0,45	-0,24	0,10	0,09
Ti/Mar	0,11	0,86	-0,01	-0,04	-0,32	-0,08	-0,25	0,19
Ti/Abr	0,34	0,28	0,74	-0,17	-0,22	-0,12	-0,03	0,06
Ex/Dez	-0,14	-0,10	0,90	-0,19	0,22	-0,03	0,09	-0,09
Ex/Jan	0,04	0,01	-0,12	0,94	0,18	0,20	0,00	-0,07
Ex/Fev	0,14	-0,20	0,12	0,23	0,90	0,04	-0,12	0,17
Ex/Mar	-0,20	-0,11	-0,07	0,20	0,01	0,90	0,21	-0,09
ER/EP-Dez	0,07	0,15	0,07	-0,15	0,02	0,19	0,90	0,14
ER/EP-Jan	-0,20	0,01	-0,21	0,60	-0,12	-0,06	-0,14	0,48
ER/EP-Fev	0,03	-0,55	-0,12	-0,11	0,42	-0,38	0,14	-0,42
ER/EP-Mar	0,10	-0,21	0,02	-0,03	-0,19	0,44	0,76	-0,15
Autovalor	4,2	3,5	3,2	3,1	2,9	2,8	2,4	1,6
Variância (%)	16,1	13,4	12,3	12,0	11,1	10,8	9,1	6,1

Apêndice 4.8 – Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola da soja na região R3

Variável/mês	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
Ti/Out	0,25	0,29	0,85	-0,25	-0,07	0,05	-0,06
Ti/Nov	0,18	-0,07	0,27	0,19	-0,11	0,87	0,07
Ti/Dez	-0,10	0,01	0,03	-0,19	0,06	0,94	0,02
Ti/Jan	0,24	0,52	0,19	0,02	0,11	-0,01	0,66
Ti/Fev	0,15	0,89	-0,03	-0,09	0,16	-0,03	0,07
Ti/Mar	-0,01	0,94	-0,01	0,12	-0,06	-0,05	0,14
Ti/Abr	0,56	0,38	-0,51	-0,16	-0,28	0,18	-0,08
Tm/Out	0,27	-0,03	0,92	-0,06	0,11	0,13	0,03
Tm/Nov	0,79	0,13	0,42	0,00	0,19	0,20	0,23
Tm/Dez	0,18	0,13	-0,06	-0,01	0,91	0,18	-0,01
Tm/Jan	0,53	0,21	0,50	-0,12	-0,06	0,09	0,60
Tm/Fev	0,28	0,74	-0,02	-0,13	0,50	-0,07	-0,05
Tm/Mar	0,35	0,46	0,42	0,52	0,25	-0,06	0,23
Tm/Abr	0,62	0,61	0,42	0,10	0,09	-0,19	0,03
Tx/Out	0,29	-0,17	0,88	0,09	0,16	0,18	0,01
Tx/Nov	0,83	0,06	0,32	-0,10	0,28	-0,05	0,24
Tx/Dez	-0,04	0,10	0,35	0,07	0,89	-0,18	-0,02
Tx/Jan	0,69	-0,11	-0,06	-0,51	-0,09	0,19	0,39
Tx/Fev	0,36	0,59	0,07	-0,24	0,60	-0,20	0,00
Tx/Mar	0,80	0,11	0,22	0,34	0,15	0,09	0,21
Tx/Abr	0,86	0,40	0,23	0,00	0,01	-0,18	-0,02
D/Out	0,50	-0,56	0,57	0,16	0,04	0,08	-0,11
D/Nov	0,61	0,44	0,50	-0,06	0,20	-0,01	0,06
D/Dez	-0,05	-0,04	-0,10	0,97	-0,01	0,01	-0,08
D/Jan	0,19	-0,33	-0,29	-0,14	-0,11	0,08	0,69
D/Fev	0,06	0,78	-0,08	-0,02	0,11	0,09	-0,16
D/Mar	0,04	-0,08	-0,05	0,97	-0,07	-0,01	-0,04
D/Abr	0,55	0,76	0,27	0,02	-0,06	0,04	-0,05
Autovalor	5,8	5,7	4,6	2,9	2,7	2,0	1,7
Variância (%)	20,8	20,6	16,3	10,3	9,6	7,3	6,2

Apêndice 4.9 - Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura da soja na região R3 as componentes principais aplicada em diferentes indicadores.

Parâmetros Regressão	INDICADORES AGROCLIMÁTICOS UTILIZADOS NA ACP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Intercepto	1325,06	1325,06	1325,06	1325,06	1325,06	1325,06	1325,06	1325,06
CP1	-151,26	-152,41			-124,06		-186,64	-251,07
CP2			-173,23					
CP3	-196,73		-259,41		-298,27	-184,52	-272,72	210,60
CP4		-189,68				113,61		-144,87
CP5	195,83	-145,31		-231,02		-271,21		
CP6	-123,67		211,19	-210,03	-188,63			
CP7	-149,51	239,58		-212,01			166,37	
CP8								
CP9								
R ² A(%)	77	80	84	85	83	70	81	74
d	0,96	0,96	0,97	0,97	0,96	0,93	0,96	94
P-Valor	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
F	10,3	14,4	26,3	27,1	23,6	11,9	20,2	14,1
EPE(Kg/ha)	193,7	183,2	158,8	156,6	166,5	219,9	177,7	205,9

Apêndice 4.10 – Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis/mês	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Nov	-0,69	0,34	0,00	-0,34	-0,16
P/Dez	-0,28	0,55	-0,03	-0,62	0,29
P/Jan	0,16	-0,28	-0,64	0,35	-0,18
P/Fev	0,06	0,79	0,37	0,20	0,04
P/Mar	-0,25	0,11	0,18	0,68	-0,02
P/Abr	-0,26	0,64	-0,22	0,54	0,24
P/Mai	-0,29	0,47	-0,04	0,36	0,48
Tx/Nov	0,47	-0,02	0,74	0,19	-0,05
Tx/Dez	0,65	-0,41	0,13	0,55	-0,17
Tx/Jan	0,60	0,00	0,67	0,07	-0,12
Tx/Fev	0,21	-0,60	-0,46	0,19	0,30
Tx/Mar	0,70	0,02	0,13	0,04	0,64
Tx/Abr	0,66	-0,55	0,21	-0,27	0,19
Tx/Mai	0,58	-0,59	0,16	-0,17	0,36
Ti/Nov	0,84	0,41	-0,03	-0,05	-0,06
Ti/Dez	0,94	0,27	-0,11	-0,01	-0,11
Ti/Jan	0,93	0,27	-0,04	-0,14	-0,17
Ti/Fev	0,92	0,22	-0,20	-0,13	-0,04
Ti/Mar	0,90	0,28	-0,24	-0,02	-0,15
Ti/Abr	0,89	0,26	-0,26	-0,09	-0,01
Ti/Mai	0,87	0,32	-0,25	0,07	0,06
Autovalor	8,7	3,5	2,2	2,1	1,2
Variância(%)	41,6	16,9	10,3	9,9	5,8

Apêndice 4.11 – Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Dez	-0,27	0,49	-0,60	-0,38	0,26
P/Jan	0,19	-0,24	0,62	-0,48	-0,14
P/Fev	0,03	0,81	-0,02	0,40	0,02
P/Mar	-0,29	0,14	0,56	0,40	0,04
P/Abr	-0,30	0,70	0,49	-0,05	0,22
P/Mai	-0,31	0,49	0,29	0,13	0,49
Tx/Dez	0,63	-0,34	0,50	0,39	-0,14
Tx/Jan	0,57	0,04	-0,20	0,69	-0,15
Tx/Fev	0,25	-0,59	0,42	-0,25	0,38
Tx/Mar	0,67	0,07	-0,06	0,16	0,61
Tx/Abr	0,68	-0,55	-0,27	0,14	0,21
Tx/Mai	0,60	-0,56	-0,19	0,12	0,36
Ti/Dez	0,93	0,28	0,04	-0,05	-0,11
Ti/Jan	0,93	0,27	-0,09	-0,04	-0,17
Ti/Fev	0,92	0,23	-0,03	-0,18	-0,03
Ti/Mar	0,90	0,30	0,09	-0,18	-0,15
Ti/Abr	0,90	0,27	0,02	-0,19	-0,01
Ti/Mai	0,86	0,36	0,16	-0,18	0,07
Autovalor	7,4	3,3	2,0	1,6	1,2
Variância(%)	41,1	18,2	11,1	9,0	6,6

Apêndice 4.12 – Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais					
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
P/Nov	-0,71	0,27	-0,17	-0,21	-0,08	0,05
P/Dez	-0,32	0,51	-0,46	-0,54	0,26	0,13
P/Jan	0,18	-0,31	-0,31	0,60	-0,07	0,39
P/Fev	0,03	0,81	0,28	0,01	0,18	0,05
P/Mar	-0,19	0,09	0,47	0,40	0,44	0,44
P/Abr	-0,26	0,58	-0,03	0,53	0,46	0,15
P/Mai	-0,29	0,40	0,06	0,36	0,35	-0,67
Tx/Nov	0,48	0,11	0,73	-0,28	0,07	0,11
Tx/Dez	0,69	-0,33	0,45	0,38	-0,13	-0,04
Tx/Jan	0,57	0,13	0,58	-0,25	-0,21	-0,18
Tx/Fev	0,32	-0,66	-0,27	0,33	0,26	-0,18
Tx/Mar	0,71	0,08	0,01	-0,16	0,46	-0,25
Tx/Abr	0,72	-0,48	0,04	-0,43	0,12	0,04
Tx/Mai	0,65	-0,53	0,00	-0,35	0,27	0,05
Ti/Nov	0,79	0,48	-0,07	-0,02	-0,09	0,00
Ti/Dez	0,90	0,34	-0,09	0,06	-0,20	0,00
Ti/Jan	0,89	0,34	-0,10	-0,07	-0,26	0,05
Ti/Fev	0,89	0,28	-0,25	0,00	-0,16	-0,03
Ti/Mar	0,86	0,33	-0,22	0,12	-0,18	0,14
Ti/Abr	0,86	0,29	-0,32	0,07	-0,11	0,01
Ti/Mai	0,84	0,36	-0,22	0,18	-0,01	-0,04
EP/Nov	0,59	0,08	0,44	-0,36	0,32	0,17
EP/Dez	0,85	-0,17	0,26	0,29	-0,05	-0,03
EP/Jan	0,72	0,03	0,48	0,28	-0,21	-0,08
EP/Fev	0,82	-0,29	-0,31	0,13	0,17	-0,09
EP/Mar	0,91	0,19	-0,14	-0,01	0,20	0,07
EP/Abr	0,86	-0,20	-0,26	-0,20	0,14	0,03
EP/Mai	0,86	-0,17	-0,21	-0,03	0,33	0,04
Autovalores	13,2	3,8	2,8	2,4	1,6	1,1
Variância(%)	47,0	13,5	10,0	8,6	5,8	3,8

Apêndice 4.13 – Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais					
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
P/Dez	-0,32	0,46	-0,76	0,10	0,16	0,12
P/Jan	0,22	-0,24	0,24	0,61	-0,33	0,32
P/Fev	0,00	0,82	0,16	-0,21	0,30	0,20
P/Mar	-0,22	0,09	0,60	0,14	0,38	0,47
P/Abr	-0,28	0,64	0,31	0,49	0,28	0,18
P/Mai	-0,30	0,43	0,28	0,25	0,37	-0,65
Tx/Dez	0,67	-0,28	0,62	-0,12	-0,05	-0,04
Tx/Jan	0,54	0,13	0,22	-0,72	0,12	-0,02
Tx/Fev	0,37	-0,63	0,13	0,50	0,17	-0,21
Tx/Mar	0,69	0,11	-0,14	0,01	0,50	-0,16
Tx/Abr	0,72	-0,49	-0,25	-0,25	0,22	0,08
Tx/Mai	0,66	-0,51	-0,25	-0,14	0,37	0,18
Ti/Dez	0,89	0,36	0,01	-0,02	-0,22	-0,06
Ti/Jan	0,88	0,36	-0,09	-0,12	-0,23	0,03
Ti/Fev	0,89	0,29	-0,14	0,07	-0,20	-0,08
Ti/Mar	0,87	0,37	-0,04	0,11	-0,26	0,09
Ti/Abr	0,88	0,33	-0,14	0,13	-0,15	0,00
Ti/Mai	0,84	0,40	-0,01	0,22	-0,11	-0,10
EP/Dez	0,84	-0,14	0,42	0,00	-0,06	-0,10
EP/Jan	0,70	0,07	0,57	-0,31	-0,02	0,00
EP/Fev	0,85	-0,26	-0,07	0,32	0,10	-0,11
EP/Mar	0,91	0,23	-0,10	0,10	0,17	0,11
EP/Abr	0,89	-0,18	-0,28	0,03	0,17	0,10
EP/Mai	0,88	-0,13	-0,14	0,21	0,29	0,09
Autovalor	11,6	3,5	2,4	2,0	1,4	1,0
Variância(%)	48,2	14,5	10,2	8,2	6,0	4,3

Apêndice 4.14 – Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/dez	-0,46	-0,15	0,09	-0,54	0,15
P/Jan	0,33	0,06	0,03	0,69	-0,36
P/Fev	-0,56	-0,35	0,42	0,12	0,31
P/Mar	-0,34	-0,33	-0,22	0,61	0,23
P/Abr	-0,66	-0,06	0,13	0,49	0,40
N12/Dez	0,73	-0,58	0,01	0,10	0,20
N12/Jan	0,75	-0,52	-0,07	0,11	0,23
N12/Fev	0,86	-0,36	-0,18	0,02	0,18
N12/Mar	0,89	0,07	-0,30	-0,08	0,13
N12/Abr	0,87	0,13	-0,17	-0,09	-0,06
DP/Dez	-0,23	0,83	0,10	-0,18	0,36
DP/Jan	-0,09	0,95	0,03	-0,02	0,18
DP/Fev	0,36	0,89	0,00	0,15	0,02
DP/Mar	0,52	0,76	0,00	0,25	0,17
DP/Abr	0,51	0,58	0,12	0,13	0,08
Tx/Mar	0,43	-0,22	0,62	-0,09	0,44
Tx/Abr	0,79	-0,16	0,31	-0,24	0,00
Ti/Mar	0,15	0,06	0,94	0,13	-0,24
Ti/Abr	0,22	-0,01	0,92	0,04	-0,17
Autovalor	6,2	4,4	2,6	1,6	1,1
Variância (%)	32,5	23,2	13,9	8,7	5,7

Apêndice 4.15 – Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais					
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
P/dez	-0,50	-0,21	0,01	-0,29	0,74	0,11
P/Jan	0,38	0,07	0,20	0,80	0,20	-0,20
P/Fev	-0,56	-0,33	0,44	-0,03	-0,10	0,32
P/Mar	-0,30	-0,34	-0,13	0,43	-0,53	0,32
P/Abr	-0,62	-0,08	0,23	0,51	0,04	0,47
N12/Dez	0,76	-0,57	0,04	0,01	-0,05	0,21
N12/Jan	0,76	-0,52	-0,04	0,06	0,08	0,26
N12/Fev	0,87	-0,36	-0,17	0,01	0,10	0,19
N12/Mar	0,88	0,08	-0,32	-0,07	0,03	0,11
N12/Abr	0,84	0,14	-0,19	-0,04	0,21	-0,07
DA/Dez	-0,26	0,80	-0,01	-0,21	0,12	0,35
DA/Jan	-0,12	0,94	-0,04	-0,03	0,09	0,20
DA/Fev	0,35	0,90	-0,05	0,09	-0,03	0,08
DA/Mar	0,50	0,77	-0,02	0,13	-0,06	0,23
DA/Abr	0,48	0,61	0,11	0,05	0,06	0,12
Tx/Mar	0,43	-0,17	0,58	-0,27	0,03	0,40
Tx/Abr	0,78	-0,12	0,25	-0,39	-0,07	-0,04
Ti/Mar	0,16	0,12	0,94	-0,06	-0,04	-0,18
Ti/Abr	0,21	0,04	0,89	-0,20	-0,01	-0,10
D/Dez	0,69	0,33	0,20	0,17	-0,43	-0,16
D/Jan	-0,11	-0,01	-0,33	-0,73	-0,46	0,10
D/Fev	0,80	-0,34	-0,15	0,14	0,19	0,11
Autovalor	7,3	4,6	2,7	2,1	1,4	1,1
Variância (%)	33,0	20,9	12,5	9,6	6,4	5,2

Apêndice 4.16 – Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais					
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6
P/dez	-0,43	-0,20	0,06	-0,24	-0,63	0,41
P/Jan	0,36	0,08	0,20	0,83	-0,18	-0,16
P/Fev	-0,54	-0,40	0,41	-0,04	0,23	0,24
P/Mar	-0,28	-0,38	-0,18	0,39	0,64	0,02
P/Abr	-0,62	-0,15	0,20	0,50	0,18	0,46
N12/Dez	0,80	-0,50	0,04	0,01	0,15	0,16
N12/Jan	0,81	-0,44	-0,03	0,07	0,07	0,24
N12/Fev	0,91	-0,27	-0,15	0,02	0,00	0,21
N12/Mar	0,88	0,17	-0,29	-0,06	0,02	0,12
N12/Abr	0,84	0,23	-0,14	-0,01	-0,18	0,00
DA/Dez	-0,32	0,79	0,03	-0,19	0,02	0,39
DA/Jan	-0,19	0,93	0,00	0,00	0,02	0,20
DA/Fev	0,27	0,92	-0,01	0,11	0,12	0,00
DA/Mar	0,43	0,81	0,02	0,15	0,23	0,11
DA/Abr	0,42	0,65	0,15	0,09	0,09	0,03
Tx/Mar	0,43	-0,15	0,60	-0,26	0,14	0,41
Tx/Abr	0,78	-0,06	0,28	-0,37	0,08	-0,11
Ti/Mar	0,12	0,09	0,95	-0,04	0,01	-0,22
Ti/Abr	0,19	0,03	0,90	-0,16	0,03	-0,15
ER/EP-Jan	0,10	-0,01	0,36	0,76	-0,40	0,07
ER/EP-Fev	-0,83	0,26	0,13	-0,17	0,10	-0,12
Autovalor	6,8	4,5	2,7	2,1	1,3	1,1
Variância (%)	32,4	21,4	13,0	9,9	6,0	5,1

Apêndice 4.17 – Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola do milho na região R7.

Variáveis	Cargas Fatoriais						
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
P/Nov	-0,63	-0,17	-0,47	0,30	0,23	-0,03	0,23
P/Dez	-0,51	0,14	-0,09	0,78	0,17	0,18	-0,04
P/Jan	0,37	-0,04	0,17	-0,32	0,80	-0,04	-0,13
P/Fev	-0,59	0,50	0,33	-0,06	-0,06	0,33	0,39
P/Mar	-0,30	0,28	-0,20	-0,60	0,04	0,06	0,10
P/Abr	-0,63	0,18	0,25	-0,35	0,25	0,43	-0,26
P/mai	-0,48	0,24	-0,11	-0,19	-0,13	0,32	-0,53
N12/Dez	0,72	0,57	-0,23	-0,03	0,02	0,21	0,04
N12/Jan	0,71	0,50	-0,28	0,00	0,11	0,30	0,02
N12/Fev	0,83	0,31	-0,34	0,03	0,04	0,23	-0,10
N12/Mar	0,88	-0,15	-0,30	-0,02	-0,13	0,12	-0,12
N12/Abr	0,84	-0,18	-0,17	0,12	0,07	0,05	0,11
DA/Dez	-0,22	-0,73	0,30	0,15	-0,26	0,33	-0,23
DA/Jan	-0,10	-0,88	0,30	0,03	-0,07	0,24	-0,14
DA/Fev	0,37	-0,85	0,24	-0,08	0,02	0,10	-0,07
DA/Mar	0,52	-0,69	0,24	-0,17	0,01	0,30	0,19
DA/Abr	0,47	-0,52	0,26	0,02	0,12	0,30	0,49
Tx/Mar	0,44	0,42	0,46	0,19	-0,29	0,34	-0,26
Tx/Abr	0,80	0,21	0,13	0,28	-0,23	-0,13	0,17
Tx/Mai	0,87	0,29	0,07	0,21	-0,11	0,17	0,11
Ti/Mar	0,22	0,21	0,90	0,10	0,07	-0,21	0,02
Ti/Abr	0,27	0,27	0,83	0,18	-0,02	-0,19	-0,04
Ti/Mai	0,18	0,44	0,78	0,09	0,03	-0,26	-0,21
ER/EP-Dez	-0,71	0,23	-0,23	0,47	0,13	0,09	-0,03
ER/EP-Jan	0,12	0,07	0,28	-0,03	0,83	0,13	-0,09
ER/EP-Fev	-0,77	-0,26	0,33	-0,04	-0,23	-0,07	0,20
Ex/Dez	-0,16	-0,06	-0,02	0,87	0,05	0,19	-0,09
Ex/Jan	0,25	-0,39	-0,16	0,32	0,70	-0,20	-0,10
Ex/Fev	-0,53	0,44	0,37	-0,03	0,26	0,35	0,40
Autovalor	8,9	5,0	3,9	2,7	2,4	1,5	1,4
Variância(%)	30,8	17,4	13,6	9,3	8,2	5,2	4,7

Apêndice 4.18 - Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura do milho na região R7 as componentes principais aplicada em diferentes indicadores.

Parâmetros	INDICADORES AGROCLIMÁTICOS UTILIZADOS NA ACP							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Intercepto	507,216	507,216	507,216	507,216	507,216	507,216	507,216	507,216
CP1					-64,7005	-60,2433	-65,0629	-57,2882
CP2	49,919	51,9733	49,8778	52,6958				
CP3	-27,1427	62,2548		64,718		35,1691	28,4359	39,6849
CP4	54,0332		72,0279		67,3784	64,013	60,3434	-58,9013
CP5	-85,2266	-82,409	-54,1201	-69,8389	-68,3616	-39,6868		46,1985
CP6			51,0421	36,2821		-56,9955	-71,7655	-57,6739
CP7								
R ² A(%)	82	83	80	80	83	84	86	84
d	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
P-Valor	0,0002	0,0000	0,0003	0,0003	0,0000	0,0003	0,0001	0,0003
F	17,01	24,3	15,2	14,8	24,6	15,4	22	15,4
EPE	52,5	50,6	55	55,8	50,4	50	46,8	50

Apêndice 4.19 - Resultados da ACP referentes ao indicador 1 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis/mês	Cargas Fatoriais			
	CF1	CF2	CF3	CF4
P/Jan	-0,62	-0,30	0,49	0,50
P/Fev	0,91	0,20	-0,12	0,23
P/Mar	0,20	0,64	0,70	-0,09
P/Abr	0,70	-0,39	0,46	-0,03
Ex/Jan	-0,75	-0,30	0,28	0,46
Ex/Fev	0,86	-0,01	0,05	0,36
Ex/Mar	0,25	0,62	0,70	-0,12
Ex/abr	0,69	-0,40	0,45	-0,05
Tx/Nov	-0,37	0,55	-0,07	0,08
Tx/Dez	-0,35	0,67	0,20	0,32
Tx/Jan	0,13	0,80	-0,44	0,08
Tx/Fev	-0,70	-0,04	0,39	-0,52
Autovalor	4,4	2,7	2,1	1,1
Variância(%)	36,3	22,7	17,7	8,8

Apêndice 4.20 - Resultados da ACP referentes ao indicador 2 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais		
	CF1	CF2	CF3
P/Jan	0,45	-0,60	-0,14
P/Fev	-0,74	0,36	0,44
P/Mar	0,16	0,10	0,89
P/Abr	-0,66	-0,43	0,39
Tx/Jan	0,03	0,93	0,11
Tx/Fev	0,80	-0,38	0,09
Tx/Mar	0,70	0,27	0,17
Tx/Abr	0,79	0,34	0,06
D/Jan	0,12	0,81	-0,33
D/Fev	0,88	-0,05	0,35
Autovalor	3,7	2,5	1,4
Variância(%)	37,4	25,3	14,3

Apêndice 4.21 - Resultados da ACP referentes ao indicador 3 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,45	-0,60	0,49	0,02	-0,22
P/Fev	-0,50	0,57	0,00	0,60	-0,10
P/Mar	0,20	0,02	-0,08	0,70	0,57
P/Abr	-0,74	-0,22	0,15	0,39	0,18
Tx/Jan	0,31	0,88	-0,08	0,03	0,24
Tx/Fev	0,54	-0,66	-0,16	-0,15	0,39
Tx/Mar	0,57	-0,02	-0,59	-0,05	0,06
Tx/Abr	0,74	0,04	-0,49	-0,08	0,04
EP/Jan	0,41	0,87	0,11	0,16	-0,03
EP/Fev	0,73	-0,44	0,35	0,21	-0,05
EP/Mar	0,65	0,06	0,25	0,46	-0,46
EP/Abr	0,92	0,21	-0,04	0,18	-0,24
D/Nov	0,09	-0,05	0,83	-0,05	0,44
D/Dez	0,53	0,40	0,60	-0,27	0,06
D/Jan	0,34	0,75	0,13	-0,40	0,19
D/Fev	0,85	-0,32	-0,17	0,24	0,18
Autovalor	5,4	3,8	2,2	1,6	1,2
Variância(%)	33,7	23,5	13,6	10,2	7,3

Apêndice 4.22 - Resultados da ACP referentes ao indicador 4 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Nov	-0,21	-0,25	0,21	0,74	0,32
P/Dez	-0,50	-0,08	-0,16	0,54	0,52
P/Jan	0,71	0,00	-0,56	-0,12	0,06
P/Fev	-0,45	0,72	0,46	0,12	-0,05
P/Mar	0,21	0,29	0,42	-0,44	0,68
P/Abr	-0,58	0,55	-0,34	-0,27	0,25
Tx/Nov	0,38	-0,31	0,41	-0,16	0,04
Tx/Dez	0,43	-0,14	0,35	-0,74	-0,20
Tx/Jan	0,06	-0,04	0,87	-0,11	-0,32
Tx/Fev	0,39	-0,57	-0,30	-0,16	0,45
Tx/Mar	0,18	-0,59	0,35	0,14	0,42
Tx/Abr	0,36	-0,62	0,42	0,18	0,22
Ti/Nov	0,67	0,61	-0,10	0,19	0,01
Ti/Dez	0,65	0,57	-0,13	-0,15	0,01
Ti/Jan	0,58	0,48	0,43	0,30	-0,25
Ti/Fev	0,82	0,30	-0,22	0,22	0,24
Ti/Mar	0,70	0,51	-0,04	0,27	0,13
Ti/Abr	0,73	0,28	0,24	0,37	0,04
Ex/Jan	0,70	-0,15	-0,57	-0,04	-0,10
Ex/Fev	-0,33	0,80	0,26	0,22	0,06
Ex/Mar	0,12	0,30	0,41	-0,48	0,67
Ex/Abr	-0,61	0,53	-0,36	-0,28	0,23
Autovalor	5,9	4,5	3,3	2,5	2,1
Variância(%)	26,9	20,6	15,2	11,6	9,7

Apêndice 4.23 - Resultados da ACP referentes ao indicador 5 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,63	-0,16	0,61	-0,22	0,10
P/Fev	-0,67	0,69	0,00	0,08	-0,14
P/Mar	0,08	0,43	0,18	0,73	0,44
P/Abr	-0,75	-0,04	0,52	0,14	0,18
Tx/Jan	0,08	0,59	-0,71	0,02	0,18
Tx/Fev	0,63	-0,52	0,14	0,38	0,19
Tx/Mar	0,46	-0,14	-0,40	0,53	-0,15
Tx/Abr	0,62	-0,03	-0,42	0,38	-0,19
Ti/Jan	0,36	0,84	0,02	-0,25	-0,15
Ti/Fev	0,65	0,29	0,57	-0,03	-0,10
Ti/Mar	0,46	0,54	0,57	-0,07	-0,21
Ti/Abr	0,63	0,60	0,23	0,00	-0,28
Ex/Jan	0,66	-0,28	0,47	-0,35	0,03
Ex/Fev	-0,58	0,67	0,27	0,07	-0,24
Ex/Mar	-0,01	0,39	0,16	0,72	0,47
Ex/Abr	-0,77	-0,07	0,51	0,12	0,19
D/Nov	0,14	0,12	0,28	-0,39	0,76
D/Dez	0,50	0,33	-0,26	-0,51	0,43
D/Jan	0,18	0,27	-0,75	-0,30	0,35
D/Fev	0,81	0,03	0,09	0,48	0,01
Autovalor	5,9	3,6	3,5	2,6	1,7
Variância(%)	29,4	18,2	17,6	13,1	8,7

Apêndice 4.24 - Resultados da ACP referentes ao indicador 6 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,71	0,31	-0,54	-0,04	-0,13
P/Fev	-0,69	0,51	0,41	0,20	0,09
P/Mar	0,09	0,50	0,39	-0,65	0,29
P/Abr	-0,65	0,41	-0,44	-0,23	0,29
Tx/Jan	-0,09	-0,04	0,87	-0,02	-0,36
Tx/Fev	0,67	-0,29	-0,20	-0,47	0,19
Tx/Mar	0,43	-0,42	0,38	-0,16	0,48
Tx/Abr	0,59	-0,33	0,44	-0,09	0,17
Ti/Jan	0,31	0,56	0,50	0,46	-0,24
Ti/Fev	0,72	0,53	-0,10	0,17	0,06
Ti/Mar	0,52	0,70	0,03	0,31	0,09
Ti/Abr	0,63	0,49	0,35	0,34	0,06
Ex/Jan	0,72	0,10	-0,52	0,06	-0,28
Ex/Fev	-0,54	0,66	0,19	0,31	0,26
Ex/Mar	0,00	0,47	0,37	-0,67	0,27
Ex/Abr	-0,68	0,37	-0,46	-0,23	0,27
AR/Nov	0,06	-0,46	0,06	0,66	0,51
AR/Dez	-0,10	-0,46	0,06	0,51	0,55
AR/Jan	0,40	0,42	-0,55	0,27	0,34
AR/Fev	-0,82	-0,04	-0,24	0,29	-0,25
Autovalor	5,8	3,9	3,3	2,7	1,7
Variância(%)	29,1	19,4	16,7	13,5	8,7

Apêndice 4.25 - Resultados da ACP referentes ao indicador 7 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,42	-0,19	0,81	0,07	0,04
P/Fev	-0,53	0,78	-0,23	-0,10	0,02
P/Mar	0,08	0,46	0,00	0,85	-0,22
P/Abr	-0,78	0,16	0,22	0,26	0,46
Tx/Jan	0,29	0,46	-0,67	-0,11	-0,25
Tx/Fev	0,54	-0,52	0,18	0,47	0,12
Tx/Mar	0,51	-0,19	-0,35	0,35	0,12
Tx/Abr	0,74	-0,08	-0,32	0,16	0,14
Ti/Jan	0,45	0,75	0,14	-0,33	-0,22
Ti/Fev	0,52	0,26	0,71	0,08	-0,17
Ti/Mar	0,38	0,54	0,65	-0,05	0,06
Ti/Abr	0,65	0,56	0,32	-0,10	0,03
Ex/Jan	0,43	-0,35	0,73	-0,10	-0,16
Ex/Fev	-0,48	0,80	0,05	-0,08	0,17
Ex/Mar	-0,02	0,43	-0,04	0,86	-0,24
Ex/Abr	-0,81	0,12	0,21	0,25	0,43
N3/Dez	0,86	0,32	-0,07	-0,06	0,32
N3/Jan	0,89	0,25	-0,10	-0,03	0,31
N3/Fev	0,93	0,15	-0,19	-0,04	0,26
N3/Mar	0,93	0,05	-0,21	0,09	0,13
N3/Abr	0,82	-0,26	-0,32	-0,02	-0,06
Autovalor	8,3	3,9	3,3	2,1	1,0
Variância(%)	39,4	18,3	15,7	10,2	5,0

Apêndice 4.26 - Resultados da ACP referentes ao indicador 8 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,48	-0,04	0,78	0,14	-0,01
P/Fev	-0,66	0,67	-0,27	-0,06	0,08
P/Mar	0,13	0,49	-0,21	0,75	-0,36
P/Abr	-0,72	0,05	0,19	0,51	0,34
Tx/Jan	0,16	0,40	-0,70	-0,31	-0,22
Tx/Fev	0,69	-0,39	0,11	0,43	0,06
Tx/Mar	0,58	-0,12	-0,43	0,17	0,20
Tx/Abr	0,73	0,01	-0,38	-0,04	0,15
Ti/Jan	0,27	0,79	0,11	-0,41	-0,21
Ti/Fev	0,51	0,42	0,63	0,08	-0,18
Ti/Mar	0,35	0,67	0,55	-0,01	0,15
Ti/Abr	0,57	0,69	0,23	-0,17	0,13
Ex/Jan	0,49	-0,19	0,75	-0,07	-0,15
Ex/Fev	-0,61	0,72	0,00	0,01	0,20
Ex/Mar	0,04	0,45	-0,23	0,76	-0,39
Ex/Abr	-0,75	0,01	0,18	0,49	0,31
N12/Dez	0,80	0,40	-0,19	0,07	0,32
N12/Jan	0,84	0,26	-0,18	0,08	0,37
N12/Fev	0,93	0,05	-0,21	0,13	0,21
N12/Mar	0,81	-0,23	-0,17	0,21	-0,10
N12/Abr	0,78	-0,31	-0,11	-0,04	-0,13
Autovalor	8,0	3,9	3,2	2,3	1,1
Variância(%)	38,2	18,4	15,0	10,8	5,3

Apêndice 4.27 - Resultados da ACP referentes ao indicador 9 para avaliação do rendimento agrícola do arroz na região R5.

Variáveis	Cargas Fatoriais				
	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5
P/Jan	0,50	-0,60	0,07	0,34	0,45
P/Fev	-0,63	0,65	0,29	0,09	0,24
P/Mar	0,07	0,28	0,37	0,79	-0,37
P/Abr	-0,78	-0,09	-0,07	0,44	0,14
Tx/Jan	0,23	0,72	0,39	-0,30	-0,24
Tx/Fev	0,58	-0,34	-0,47	0,36	-0,30
Tx/Mar	0,56	0,17	-0,13	0,07	-0,41
Tx/Abr	0,73	0,38	-0,37	0,04	-0,13
Tm/Jan	0,28	0,69	0,55	-0,21	0,13
Tm/Fev	0,72	-0,33	-0,04	0,40	0,20
Tm/Mar	0,61	0,05	0,33	0,21	0,49
Tm/Abr	0,87	0,35	0,14	0,03	0,24
Ex/Jan	0,51	-0,67	0,05	0,08	0,37
Ex/Fev	-0,58	0,51	0,24	0,24	0,46
Ex/Mar	-0,02	0,27	0,37	0,77	-0,41
Ex/Abr	-0,81	-0,12	-0,08	0,41	0,11
N3/Jan	0,81	0,41	-0,10	0,07	0,22
N3/Fev	0,86	0,37	-0,10	-0,03	0,08
N3/Mar	0,88	0,27	-0,03	0,01	-0,09
DA/Jan	-0,11	-0,69	0,54	-0,27	-0,22
DA/Fev	0,30	-0,72	0,57	-0,10	-0,10
DA/Mar	0,43	-0,49	0,66	-0,08	-0,18
Autovalor	8,0	4,8	2,5	2,3	1,8
Variância(%)	36,2	21,9	11,2	10,6	8,1

Apêndice 4.28 - Resultados da Análise de Regressão Multivariada utilizando como variáveis explicativas do rendimento agrícola da cultura do arroz na região R5 as componentes principais aplicada em diferentes indicador.

Parâmetros	INDICADORES AGROCLIMÁTICOS UTILIZADOS NA ACP								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Intercepto	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47	1266,47
CP1	61,1564	-74,4799	-98,6906		-65,9124		-112,47	-90,1992	-103,809
CP2	-135,704	-182,784	-145,379	113,437		109,886			-111,313
CP3	144,55	65,3387	57,6629	-150,484	195,4	-153,83	162,768	151,584	
CP4			95,8013				59,6082	109,356	125,769
CP5				90,8856		88,4195	44,815	40,8071	71,7862
CP6									
CP7									
CP8									
R ² (%)	85	85	84	87	85	86	88	88	87
d	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	0,97
P-Valor	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
F	27,4	28,4	20	31,8	40,6	30,4	27,2	27,4	23,6
EPE	85,6	84,3	87,2	80	85,7	81,8	75,9	75,6	81