Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Aline Tochio Angelo

**Determinação da probabilidade de ocorrência de períodos secos e
condições atmosféricas associadas nas zonas produtoras de cana-
de-açúcar do Estado de São Paulo**

São Paulo

2011

ALINE TOCHIO ANGELO

Determinação da probabilidade de ocorrência de períodos secos e condições atmosféricas associadas nas zonas produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo

Dissertação apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas para a obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas.

Área de concentração: Meteorologia

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas

Versão corrigida. A versão original encontra-se disponível na unidade.

São Paulo

2011

Aos meus pais, meus verdadeiros
mestres, que sempre me
incentivaram a seguir na vida
acadêmica.

Agradecimentos

A Deus, por tudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edmilson Dias de Freitas, pela paciência, compreensão e dedicação, pelas sugestões, críticas e discussões, e por sempre acreditar que eu era capaz, mesmo quando nem eu acreditava.

Ao amigo Edmilson Dias de Freitas, pelos momentos de descontração e por saber diferenciar a amizade da orientação.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Jaime, pela compreensão, pelos incentivos e estímulos, contribuições essenciais para a execução deste trabalho.

Aos meus amigos Bruno Paralupi Cestaro, Daniel Faria, Juarez Quezada e Silva e Wagner Galichio, por sua amizade verdadeira e companheirismo. Ao Bruno, com quem pude contar em todas as vezes que precisei, um agradecimento especial por sua ajuda e colaboração.

Às professoras Maria Assunção Faus da Silva Dias e Leila Véspoli de Carvalho, pela breve assistência remota.

À minha irmã e ao meu cunhado, Fernanda e Luciano, que, juntamente com meus pais, assistiram pacientemente às minhas prévias, mesmo tendo formação na área de ciências biológicas e sem entender nada de Meteorologia.

Ao meu namorado, Raphael Ezsias Zanon, pela ajuda técnica no começo do trabalho e por estar sempre ao meu lado.

À Simone Valarini, pela companhia no dia a dia, e aos demais amigos e colegas, pelas distrações nos intervalos de trabalho.

À Agência Nacional de Águas, pela disponibilidade dos dados de precipitação utilizados neste trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido.

RESUMO

ANGELO, A. T. **Determinação da probabilidade de ocorrência de períodos secos e condições atmosféricas associadas nas zonas produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.** 2011. 131 f. Dissertação – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

A cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas cultivados no Brasil. O País é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo o Estado de São Paulo responsável por 57,5 % desta produção. Como em qualquer outra cultura, as condições atmosféricas constituem um dos principais fatores responsáveis pela quebra na produtividade. A fim de determinar as regiões paulistas mais susceptíveis a variações no regime de precipitação que possam ser prejudiciais ao cultivo canavieiro, foram calculadas as probabilidades de ocorrência de períodos secos no Estado para o período de 1971-2003. Os resultados mostraram que as regiões centro-norte e centro-oeste paulistas são as que possuem condições pluviométricas mais adequadas às exigências hídricas da cana-de-açúcar, com estações seca e chuvosa mais bem definidas do que nas demais regiões. Nas áreas produtoras de cana-de-açúcar, foram encontradas quatro regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação. Para estas regiões, foram determinadas as datas de início e fim da estação chuvosa, de modo a selecionar veranicos que possam ter prejudicado a produção no Estado. Para esses períodos, foram construídos campos médios para diferentes variáveis meteorológicas, defasados no tempo em até 3 pântadas. A comparação entre os campos médios obtidos e campos observados em sete episódios de veranicos mostra que o campo de divergência de massa é o mais indicado na previsão dos mesmos, com 70 a 100 % de semelhanças nas características meteorológicas identificadas. Por fim, foram feitas análises sobre a existência de mudanças no padrão de precipitação das regiões canavieiras paulistas. Foi possível concluir que a quantidade de chuva acumulada nos meses de DJF apresentou leve tendência de aumento no período 1937-2003, bem como o número de dias de chuva maior que 1 mm, indicando um aumento do número de eventos de precipitação significativos. A análise da tendência nas regiões homogêneas mostrou antecipação no início e atraso no fim da época das chuvas no interior do Estado, ocasionando um prolongamento na duração da estação chuvosa.

Palavras chave: Estação Chuvosa, Redução de Perdas Agrícolas, Veranicos, Mudanças Climáticas, Cana-de-açúcar.

ABSTRACT

ANGELO, A. T. **Determining the probability of occurrence of dry periods and associated atmospheric conditions in sugarcane production areas of São Paulo State.** 2011. 131 f. Dissertation – Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, São Paulo.

Sugarcane is one of the major agricultural products grown in Brazil. The country is the largest sugarcane producer in the world, and São Paulo State accounts for 57,5 % of Brazilian production. As in any other culture, the weather conditions play an important role on production losses. In order to identify the most vulnerable State regions for sugarcane cultivation, especially with respect to hydric deficit, the probabilities of dry spells in the State were calculated for the 1971-2003 period. The results showed that the rainfall conditions on the northern central and midwestern regions of São Paulo are the ones that better fulfill sugarcane water requirements, with wet and dry seasons better defined in comparison with the other regions. Based on precipitation over sugarcane production areas, four homogeneous regions were determined inside the State. The onset and end of the rainy season in these four regions were investigated in order to select dry spells that might have hindered the production of sugarcane in the State. Lagged mean atmospheric fields based on these dry spells were constructed. Comparisons between mean and observed fields during seven different dry spells showed that the divergence field is the one that can be best used in the forecast of dry spells, with resemblance of 70 to 100 % on meteorological characteristics and its mean values. Finally, tests were made in order to investigate the existence of long term changes in precipitation patterns over the productive regions of São Paulo. Results led to the conclusion that the amount of precipitation accumulated during de DJF trimester tended to increase during the 1937-2003 period, as well as the number of days with rainfall greater than 1 mm, indicating that significant precipitation events have possibly also increased. The trend analysis of the rainy season in the four homogeneous regions of interest showed early start and late end of the rainy season in the countryside, causing a more extended rainy season.

Key words: Rainy season, Agricultural lost reduction, Dry spells, Climate change, Sugarcane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil por região principal de produção entre 1990 e 2009. Adaptado de SCA Etanol do Brasil.....	18
Figura 1.2: Expansão das áreas de cultivo da cana-de-açúcar sobre o Estado de São Paulo entre 2003 e 2010. Fonte: Projeto CANASAT.....	19
Figura 1.3: Representação esquemática dos dois tipos de linha de instabilidade: (a) assimétrico e (b) simétrico. Adaptado de Houze, Smull e Dodge (1990).....	22
Figura 1.4: Visão esquemática da circulação de Walker ao longo do equador durante períodos de El Niño (painel inferior) e La Niña (painel superior). Áreas sombreadas indicam TSM > 27 °C; linhas tracejadas mostram variação de pressão horizontal na alta e na baixa troposfera. Adaptado de Webster e Chang (1987).....	24
Figura 1.5: Quadro esquemático das variações espaço-temporais do distúrbio associado com a oscilação de 40 – 50 dias. As letras indicam as datas associadas com a oscilação na pressão em Canton. A letra A se refere ao período de baixa pressão e a letra E, ao de alta pressão. O distúrbio médio na pressão é mostrado na parte inferior de cada quadro e a altura da tropopausa, na parte superior. Adaptado de Madden e Julian (1994).....	26
Figura 1.6: Padrões de bloqueio observados no Hemisfério Sul: tipo dipolo (a); tipo Omega invertido (b); crista de grande amplitude (c). Adaptado de Bluenstein (1993).....	27
Figura 2.1: Disposição das 93 estações meteorológicas selecionadas. As estações estão representadas pelo número de identificação.....	31
Figura 2.2: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo A.....	34
Figura 2.3: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações (a) 2447007 (São Miguel Arcanjo), (b) 2447010 (Itariri), (c) 2447012 (Sete Barras), (d) 2448013 (Apiaí), (e) 2448015 (Iporanga), (f) 2448024 (Jacupiranga), (g) 2448026 (Barra do Turvo), (h) 2347052 (Ibiúna).....	35
Figura 2.4: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo B.....	37
Figura 2.5: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2345067 (São Luís do Paraitinga), (b) 2348031 (Itapeva), (c) 2346071 (Itapeçerica da Serra), (d) 2347049 (Pilar do Sul), (e) 2348014 (Guareí), (f) 2348026 (Itapetininga), (g) 2349007 (Piraju), (h) 2349016 (Taguaí), (i) 2251012 (Mirante do Paranapanema).....	38
Figura 2.6: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo C.....	40

Figura 2.7: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2149006 (Urupês), (b) 2149028 (Guaimbê), (c) 2151011 (Irapuru), (d) 2247041 (Campinas), (e) 2247046 (Campinas), (f) 2247100 (Artur Nogueira), (g) 2248004 (São Carlos), (h) 2248015 (Pederneiras), (i) 2249005 (Pirajuí), (j) 2250009 (Rancharia), (k) 2251009 (Indiana).	41
Figura 2.8: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo D.....	44
Figura 2.9: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2150032 (Osvaldo Cruz), (b) 2151005 (Diamantina), (c) 2151021 (Alfredo Marcondes), (d) 2249023 (Cabrália Paulista), (e) 2249028 (Ribeirão do Sul), (f) 2249086 (Óleo), (g) 2250048 (Assis), (h) 2250063 (Paraguaçu Paulista), (i) 2251002 (Marabá Paulista), (j) 2251014 (Narandiba), (k) 2349002 (Cerqueira César).	45
Figura 2.10: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo E.....	47
Figura 2.11: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2246022 (Monte Alegre do Sul), (b) 2246090 (Joanópolis), (c) 2248029 (Botucatu), (d) 2345023 (Redenção da Serra), (e) 2345164 (São José dos Campos), (f) 2346001 (Itatiba), (g) 2346025 (Arujá), (h) 2346287 (Cotia), (i) 2347014 (Porto Feliz), (j) 2347029 (Mairinque), (k) 2348004 (Bofete), (l) 2348017 (Angatuba).....	48
Figura 2.12: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo F.....	50
Figura 2.13: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2047025 (Orlândia), (b) 2047067 (Ituverava), (c) 2048006 (Guaíra), (d) 2048013 (Guaraci), (e) 2048014 (Olimpia), (f) 2048016 (Barretos), (g) 2049004 (Américo de Campos), (h) 2049018 (Sebast. do Sul), (i) 2049033 (Icém), (j) 2050012 (Palmeiras D'Oeste), (k) 2050024 (Fernandópolis), (l) 2150001 (Araçatuba).....	51
Figura 2.14: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo G.....	54
Figura 2.15: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2047028 (Altinópolis), (b) 2047029 (Batatais), (c) 2048019 (Jaborandi), (d) 2049028 (Nipoã), (e) 2049051 (Cedral), (f) 2147013 (Ribeirão Preto), (g) 2147022 (Sta. Rosa do Viterbo), (h) 2148001 (Pitangueiras), (i) 2148031 (Itápolis), (j) 2149005 (Mendonça), (k) 2149018 (Lins), (l) 2151006 (Mte. Castelo),	

(m) 2246003 (Aguaí), (n) 2246016 (Lindóia), (o) 2247044 (Rio das Pedras), (p) 2345062 (Taubaté).	55
Figura 2.16: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo <i>H</i>	58
Figura 2.17: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2147043 (Descalvado), (b) 2147073 (Casa Branca), (c) 2148041 (Araraquara), (d) 2148061 (Araraquara), (e) 2148106 (Cândido Rodrigues), (f) 2149007 (Barbosa), (g) 2149021 (Cafelândia), (h) 2150010 (Araçatuba), (i) 2150026 (Alto Alegre), (j) 2150029 (Getulina), (k) 2247005 (Leme), (l) 2247011 (Araras), (m) 2248009 (Dourado), (n) 2248045 (Torrinha).....	60
Figura 2.18: Aptidão edafoclimática para cultura da cana-de-açúcar (restrição de solo e/ou clima). Adaptado de IAC.	62
Figura 3.1: Gráfico das distâncias euclidianas entre os <i>clusters</i> (círculos azuis) e a distância de corte para determinação das regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação.	64
Figura 3.2: Dendograma com as seis regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação, obtido com a técnica das distâncias euclidianas e com o método de <i>Ward</i>	64
Figura 3.3: Regiões homogêneas quanto à precipitação, obtidas com dados pentadais através da Análise de Cluster.	65
Figura 3.4: Comparação entre as séries médias e as séries suavizadas obtidas para cada região homogênea.....	66
Figura 3.5: Área da produção de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo na safra 2009/2010. Fonte: Projeto CANASAT.	67
Figura 3.6: Produção de cana-de-açúcar em São Paulo entre 1971 e 2003. Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.....	73
Figura 3.7: Composição da divergência de massa em 200 hPa (10^{-5} s^{-1}), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos <i>lags</i> -3, -2, 1 e 0.	77
Figura 3.8: Composições de anomalia de radiação de onda longa emergente (ROLE, em W m^{-2}), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos <i>lags</i> -3, -2, 1 e 0.	79
Figura 3.9: Composições de anomalia de pressão ao nível do mar (PNMM, em hPa), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos <i>lags</i> -3, -2, 1 e 0.....	80
Figura 3.10: Composições de anomalia de geopotencial (HGT, em m), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos <i>lags</i> -3, -2, -1 e 0.....	81
Figura 3.11: Composições de vento horizontal em 850 e 200 hPa, para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), no <i>lag</i> -3.....	83

Figura 4.1: Mudanças observadas (a) na temperatura média global da superfície do mar; (b) no nível médio do mar com dados de bóias (azul) e de satélite (vermelho); (c) na cobertura de neve no Hemisfério Norte em março-abril. Curvas suavizadas representam valores de médias decadais, enquanto círculos mostram valores anuais. Áreas sombreadas são intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e das séries temporais (c). Fonte: IPCC (2007).	85
Figura 4.2: Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico, e forçamento radiativo nos últimos 10.000 anos (painéis maiores) e entre 1750 e 2005 (painéis menores). Medidas foram feitas de amostras atmosféricas (linhas vermelhas) e testemunhos de gelo (cores diferentes para estudos diferentes). Adaptado do AR4 / IPCC (IPCC, 2007).	86
Figura 4.3: Disposição das estações analisadas neste capítulo.	91
Figura 4.4: Evolução da precipitação acumulada (barra azul) e do número de dias de chuva maior que 1mm (barra vermelha) para DJF nas estações utilizadas neste capítulo.	92
Figura 4.5: Precipitação acumulada em DJF (barras azuis) e número de dias de chuva maior que 1mm (linha vermelha). Linhas pretas tracejadas representam a regressão linear de toda a série. Linhas rosas e azuis representam a regressão linear a cada 22 anos.	94
Figura 4.6: Dados de precipitação acumulada (barras azuis) em DJF e número de dias de chuva acima de 1 mm (barras / linhas vermelhas) na estação 2345067 (São Luís do Paraitinga): (a) continuação da série apresentada na figura 4.4; (b) regressões lineares para a série completa e a cada 24 anos.	96
Figura 4.7: Gráficos com o início da estação chuvosa e sua tendência em cada região homogênea. O eixo y indica a pênitade de início da estação.	97
Figura 4.8: Gráficos com o fim da estação chuvosa e sua tendência em cada região homogênea. O eixo y indica a pênitade de fim da estação.	98
Figura 4.9: Duração e tendência de cada estação chuvosa nas regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Efeito do estresse hídrico nos diferentes períodos fenológicos da cana-de-açúcar. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).	17
Tabela 2.1: Cidades onde estão localizadas as estações pluviométricas e seus respectivos códigos.	31
Tabela 2.2: Relação dos grupos de estações que possuem comportamento semelhante com relação à ocorrência de probabilidades.	33
Tabela 3.1: Valores dos percentis 5 e 15 e seus respectivos valores de precipitação para as regiões 3, 4, 5 e 6, em milímetros.....	69
Tabela 3.2: Pêntadas de início e fim da estação chuvosa nas regiões 3, 4, 5 e 6, e médias para o Estado de São Paulo em cada ano.....	69
Tabela 3.3: Relação dos autores e das datas de início e fim da estação chuvosa.	70
Tabela 3.4: Estações chuvosas deste trabalho e a ocorrência ou não de El Niño/La Niña.	71
Tabela 3.5: Safras com redução, respectivas porcentagens e ocorrência ou não de El Niño/La Niña no ano safra e no ano anterior à safra.	73
Tabela 3.6: Veranicos selecionados para a construção dos campos médios em cada região...	74
Tabela 4.1: Duração das estações chuvosas (em pêntadas) nas regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar.	99
Tabela A.1: Informações das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho.....	112
Tabela A.2: Correspondência entre as pêntadas e as datas convencionais.	114

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ANA	Agência Nacional de Águas
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
AR4	<i>Assessment Report 4</i> (Quarto Relatório de Avaliação)
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GEE	Gases do Efeito Estufa
IOS	Índice de Oscilação Sul
LI	Linha(s) de instabilidade
LIPF	Linha(s) de instabilidade pré-frontal
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
OMJ	Oscilação de Madden-Julian
OS	Oscilação Sul
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
ROLE	Radiação de Onda Longa Emergente
SCM	Sistema(s) Convectivo(s) de Mesoescala
TAR	<i>Third Assessment Report</i> (Terceiro Relatório de Avaliação)
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UDOP	União dos Produtores de Bioenergia
UNICA	União da Indústria de Cana-de-Açúcar
SEBr	Sudeste do Brasil
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCPS	Zona de Convergência do Pacífico Sul

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	15
1.1. A cana-de-açúcar	15
1.2. Produção mundial e nacional da cana-de-açúcar.....	18
1.3. Fenômenos atmosféricos e fatores que influenciam a precipitação em São Paulo	20
1.4. Objetivos	29
CAPÍTULO II: DETERMINAÇÃO DA PROBABILIDADE DE PERÍODOS SECOS.....	30
2.1. Dados	30
2.2. Metodologia.....	32
2.3. Resultados e Discussões.....	33
CAPÍTULO III: CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ASSOCIADAS A VERANICOS	63
3.1. Determinação de regiões homogêneas quanto ao regime pluviométrico.....	63
3.2. Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa	67
3.3. Seleção dos veranicos	74
3.4. Análise dos campos atmosféricos associados aos veranicos.....	75
CAPÍTULO IV: VERIFICAÇÃO DE MUDANÇAS NO PADRÃO CLIMÁTICO	84
4.1. Evidências das mudanças climáticas no mundo	84
4.2. Efeito estufa.....	86
4.3. Impactos das mudanças climáticas	87
4.4. Projeções para o Brasil.....	88
4.5. Verificação de tendências no padrão de precipitação do Estado de São Paulo.....	90
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

APÊNDICE A – Tabelas.....	112
APÊNDICE B – Médias mensais climatológicas para cada estação meteorológica	115
APÊNDICE C – Morfologia e ciclo de vida da cana-de-açúcar	127
ANEXO A.1 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário A2.	128
ANEXO A.2 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário B2.	129
ANEXO A.3 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário A2.	130
ANEXO A.4 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário B2.	131

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta da família das gramíneas, também representada pelo milho, pelo sorgo e pelo arroz. Pertence à espécie *Saccharum officinarum* e é originária da Ásia. De forma geral, se adapta bem a regiões quentes e úmidas, mostrando melhor desempenho nas áreas que apresentam duas estações distintas: uma quente e úmida, para o crescimento e desenvolvimento vegetativo, e outra fria e seca, para maturação, acúmulo de sacarose e colheita (ALFONSI et al., 1987). O ciclo de vida e a morfologia da cana-de-açúcar podem ser vistos no Apêndice C.

Existem duas maneiras principais de realizar o plantio da cana-de-açúcar: o sistema de cana de ano e o sistema de cana de ano e meio. No sistema de cana de ano e meio geralmente o plantio ocorre entre janeiro e abril e a colheita entre maio e novembro do ano seguinte, permanecendo a planta cerca de 18 meses no campo. Nos primeiros três meses a planta inicia seu desenvolvimento e, com a chegada da seca e do inverno, o crescimento passa a ser muito lento durante cinco meses (abril a agosto), vegetando nos sete meses subsequentes (setembro a abril) para, então, amadurecer nos meses seguintes, até completar 16 a 18 meses. Este sistema é o mais recomendado tecnicamente por várias razões, entre estas o fato de que o plantio nessa época não expõe a lavoura à maior incidência de pragas e ervas daninhas, e a época de colheita não coincide com a época das chuvas (COLETI, 1987). A cana de ano é normalmente plantada entre setembro e novembro e colhida cerca de 12 meses depois. Este sistema de plantio apresenta a vantagem de ser uma segunda época de plantio em grandes áreas, pois facilita o gerenciamento e otimiza a utilização de máquinas e de mão-de-obra, que ficam subdivididas entre o período de plantio de cana de ano e meio e cana de ano. Entretanto, apresenta desvantagens, como menor produtividade que a cana de 18 meses, uma vez que a cana de ano tem apenas sete ou oito meses de crescimento efetivo, além do fato de que o preparo do solo para o plantio da cana de ano pode ser dificultado, pois há pouco tempo para o preparo. Com o início da estação chuvosa, ocorrem poucos dias úteis para operações agrícolas e, se a área de plantio for muito grande, é necessária elevada quantidade de mão-de-obra (Agência de Informação Embrapa, 2011).

Uma vez plantada, a cana-de-açúcar permanecerá produzindo durante quatro ou cinco anos consecutivamente (às vezes até mais), quando então a produtividade diminui muito e é feita a reforma do canavial (União dos Produtores de Bioenergia – UDOP, 2011). A cana-de-açúcar de primeiro corte é chamada de "cana planta", a de segundo corte, "cana soca" e a de terceiro corte em diante, "ressoca".

As diversas fases fenológicas da cana-de-açúcar requerem diferentes condições meteorológicas. Na germinação, a temperatura ótima é de 32 a 38 °C (DOORENBOS; KASSAM, 1994) e a temperatura base (temperatura abaixo da qual o crescimento da cultura é considerado nulo) fica em torno de 21 °C. Já o crescimento ótimo é obtido com temperaturas médias diárias entre 30 e 34 °C, sendo praticamente nulo em temperaturas acima de 38 °C e abaixo de 20 °C (ALFONSI et al., 1987). Durante o desenvolvimento vegetativo, os processos fisiológicos da cana-de-açúcar não estimulam o acúmulo da sacarose, e sim a continuação de seu desenvolvimento (MACHADO, 1987). Assim, em condições atmosféricas favoráveis ao crescimento, o acúmulo de sacarose é mínimo, e quando as condições restringem o crescimento, estimula-se o acúmulo da sacarose, dando início à fase de maturação.

A maturação se inicia nos meses finais do ciclo da cultura, quando algum estresse ambiental (deficiência hídrica ou frio) torna desfavorável o crescimento da planta. Esta fase necessita de temperaturas mais baixas, na faixa entre 10 e 20 °C, já que a queda de temperatura é responsável pela redução do ritmo vegetativo e pelo acúmulo de sacarose nos colmos. Entretanto, deve-se tomar cuidado com temperaturas muito baixas, que não são suportadas pela cana. Em áreas sujeitas a geadas, o cultivo da cultura torna-se praticamente inviável.

A cana-de-açúcar é uma planta C4, possuindo alta eficiência fotossintética. Isto significa que quanto maior for a intensidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cana-de-açúcar. Ou seja, enquanto há radiação disponível para a planta, a fotossíntese aumenta até atingir o ponto de compensação fótico, a partir do qual a taxa de fotossíntese permanece constante, independente da quantidade de luz fornecida (ROSENBERG; BLAD; VERMA, 1983).

Assim como a temperatura, a necessidade hídrica da cana-de-açúcar também varia com o curso da cultura, além de depender do tipo de variedade utilizada. A cultura precisa de 1000 a 1500 mm anuais de chuva, aproximadamente, distribuídos de forma adequada ao longo do ciclo de vida da cana (ALFONSI et al., 1987; PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008). Durante o crescimento e desenvolvimento vegetativo, é necessário um período com grande quantidade de chuva para que a planta cresça da forma desejada. Já na maturação, o ideal é a

ocorrência de um período mais seco para ocasionar a redução do alongamento do internódio, resultando no aumento do teor de sacarose nos colmos (MARIN et al., 2009). A Tabela 1.1 mostra o efeito da falta de água nos períodos do desenvolvimento da cana-de-açúcar (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Tabela 1.1: Efeito do estresse hídrico nos diferentes períodos fenológicos da cana-de-açúcar. Adaptado de Doorenbos e Kassam (1994).

Período	Efeito
Germinação e perfilhamento	Retardo no brotamento e número menor de perfilhos
Crescimento vegetativo e início da colheita	Redução na taxa de alongamento dos colmos
Final da colheita	Forçamento do amadurecimento
Maturação	Estresse hídrico severo = perda do teor de açúcar

Dessa forma, a ocorrência de deficiência hídrica durante os períodos de estabelecimento e de início do desenvolvimento vegetativo da cultura afeta mais a produção do que se ocorrer nos estágios seguintes, já que reduz o desenvolvimento radicular e a emissão e sobrevivência de perfilhos, que, por sua vez, afetam o número final de colmos.

Quando ocorre estresse hídrico, a cana apresenta sintomas típicos, como mudança leve na coloração das folhas, mudança no ângulo entre as folhas e o colmo e enrolamento progressivo das folhas (PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008). Com isso, muitas reações químicas e processos fisiológicos são diminuídos ou até mesmo interrompidos. De acordo com esses autores, se a duração da interrupção fisiológica for temporária, ao se reaplicar água a planta poderá apresentar um crescimento a uma taxa superior àquela observada anteriormente à ocorrência do estresse (crescimento compensatório).

O consumo de água da cana-de-açúcar depende do estágio fenológico e de outros fatores, como condições climáticas, água disponível no solo e variedades da cultura. Marin et al. (2009) resumiram o consumo hídrico da cana-de-açúcar em diferentes regiões do mundo. Aqui no Brasil, o consumo médio diário de água é de 2,5 mm. Scardua e Rosenfeld (1987) fizeram um estudo parecido, publicando os principais resultados de determinações de consumo de água para diversas regiões do mundo onde se cultivava a cana-de-açúcar, encontrando o mesmo valor médio de 2,5 mm de água por dia.

1.2. Produção mundial e nacional da cana-de-açúcar

O Brasil é hoje o principal produtor de cana-de-açúcar do mundo. Em 2010 a indústria sucroalcooleira produziu 624,99 milhões de toneladas de cana moída, batendo o recorde de produção, segundo resultados do terceiro levantamento da safra 2010/2011, divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2011). Esse número representa aumento de 3,4 % na produção total em comparação com o ciclo 2009/2010. A produção mundial de cana-de-açúcar totaliza quase 1,5 bilhões de toneladas (União da Indústria de Cana-de-Açúcar – UNICA, 2011) e está localizada predominantemente na faixa tropical do planeta, nos países em desenvolvimento da América Latina, da África e do Sudeste Asiático. Segundo dados da FAO (*Food and Agriculture Organization*, 2011), os maiores países produtores de cana-de-açúcar são Brasil, Índia, China, Tailândia e Paquistão.

A produção de cana-de-açúcar no Brasil se concentra nas regiões Centro-Sul (90 %) e Nordeste (10 %). Segundo a UNICA, até o dia 31 de janeiro de 2011 a colheita na região Centro-Sul estava praticamente encerrada e a região havia acumulado cerca de 556 milhões de toneladas de cana, um aumento de 2,63 % em relação à safra 2009/2010. O gráfico da Figura 1.1 mostra o avanço da produção brasileira da cana nos últimos anos.

Fonte: União da Indústria de Cana-de-Açúcar/UNICA e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA.

Figura 1.1: Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil por região principal de produção entre 1990 e 2009. Adaptado de SCA Etanol do Brasil.

São Paulo é líder na produção brasileira de cana-de-açúcar. Segundo a CONAB (2011), o Estado produziu pouco mais de 359 milhões de toneladas em 2010, concentrando 57,5 % da produção nacional. Ao longo dos últimos anos a área de produção canavieira aumentou consideravelmente no Estado. Dados do Projeto CANASAT, que utiliza técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapear a área cultivada e fornecer informações sobre a distribuição espacial da cana-de-açúcar desde 2003, mostram a evolução das áreas de cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre 2003 e 2010, conforme observado na Figura 1.2.

Figura 1.2: Expansão das áreas de cultivo da cana-de-açúcar sobre o Estado de São Paulo entre 2003 e 2010. Fonte: Projeto CANASAT.

Com relação à área plantada no Brasil, oito milhões de hectares foram destinados ao plantio canavieiro, 8,4 % a mais do que a da safra anterior (CONAB, 2011). O Estado de São Paulo ocupa a maior parte, com 4,4 milhões de hectares - 54,28 % do total nacional. Em seguida, aparecem Minas Gerais (695 mil ha), Goiás (599,3 mil ha), Paraná (582,3 mil ha), Alagoas (438,6 mil ha), Mato Grosso do Sul (396,1 mil ha) e Pernambuco (346,8 mil ha). No que diz respeito à produção de cana-de-açúcar, o terceiro levantamento da CONAB mostrou que os maiores produtores nacionais de cana-de-açúcar são os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraná, Mato Grosso do Sul e Alagoas.

Dois produtos principais resultam da moagem da cana-de-açúcar: o álcool e o açúcar. Do total de cana produzido no Brasil em 2010, 53,8 % (336,2 milhões de toneladas) foram destinados à produção de 27,7 bilhões de litros de etanol e 46,2 % (288,7 milhões de toneladas) à produção do açúcar, que chegou a 38,7 milhões de toneladas (CONAB, 2011).

A produção de etanol tem aumentado a cada ano para atender a demanda (interna e externa) pelo combustível. Do total de etanol produzido em 2010, 19,6 bilhões de litros são do tipo hidratado (o que é usado diretamente nas bombas dos postos de gasolina) e 8,1 bilhões são do tipo anidro (utilizado na mistura com a gasolina; UNICA, 2011). Mesmo nos Estados

onde a gasolina tem vantagem econômica sobre o etanol, o uso deste último sempre representa uma contribuição importante para a redução significativa de partículas emitidas para a atmosfera. Considerando-se todo o processo, do plantio da cana à produção do etanol e seu uso como combustível, a redução nas emissões de CO₂ e outros gases de efeito similar chega a quase 90 % na comparação direta com o uso de gasolina (UNICA, 2011).

1.3. Fenômenos atmosféricos e fatores que influenciam a precipitação em São Paulo

Sabendo que o desenvolvimento satisfatório da cana-de-açúcar depende de condições distintas e específicas de precipitação (seção 1.1), é muito importante conhecer o regime pluviométrico da região que será utilizada no cultivo da planta. Nesta seção são relacionados os principais fenômenos meteorológicos que, de alguma forma, influenciam as condições de chuva no Estado de São Paulo.

a) Zona de Convergência do Atlântico Sul

Os sistemas frontais atuam sobre o Brasil durante o ano todo, com maior frequência nas latitudes mais altas, e contribuem para a variabilidade da precipitação nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Durante o verão do Hemisfério Sul, algumas características marcantes são observadas (QUADRO, 1994), como a presença da Alta da Bolívia (AB) em altos níveis sobre o oeste da América do Sul, o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste do Brasil, e a presença da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Este último contribui para a convergência do ar tropical com o ar extratropical, formando os sistemas frontais. Os ventos de leste em baixos níveis oriundos do oceano Atlântico, ao encontrarem a Cordilheira dos Andes, são forçados a virar para sul (JORGETTI, 2008), aumentando o fluxo de umidade proveniente da Amazônia. Toda essa situação contribui para a caracterização de uma banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste, estendendo-se até o oceano Atlântico Subtropical, chamada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004). Este é um dos mais importantes fenômenos de escala intra-sazonal que influenciam o regime de chuvas do Estado de São Paulo durante o verão, já que apresenta condições apropriadas para a manutenção da precipitação por vários dias nas regiões afetadas (QUADRO, 1994). Como a ZCAS é um sistema muito intenso, as áreas nas adjacências de sua banda de nebulosidade podem sofrer

longos períodos de estiagem (CASARIN; KOUSKY, 1986; D'ALMEIDA, 1997; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997). De acordo com Carvalho, Jones e Liebmann (2004), a maior parte dos eventos de ZCAS tem duração menor ou igual a quatro dias. ZCAS com maior extensão sobre o continente do que sobre o oceano podem durar mais de quatro dias, e são mais frequentes em janeiro do que em dezembro e fevereiro.

b) Linhas de instabilidade

Intensas células convectivas podem se organizar em mesoescala e formar blocos, que podem se agrupar ou não em bandas. Quando um conjunto de blocos se organiza em mesoescala, ele é chamado de sistema convectivo de mesoescala (SCM; BLUENSTEIN, 1993). Um tipo de estrutura destes sistemas são as linhas de instabilidade (LI), formadas por bandas convectivas bem definidas, com uma área de precipitação estratiforme na retaguarda (SALES, 2000). O conjunto de cumulonimbus que forma a LI se desloca de maneira uniforme, com tempo de vida variando entre poucas horas e um dia (SILVA DIAS, 1987).

A relação entre a chuva estratiforme e as células convectivas nas LI é a principal característica da organização de tempestades em mesoescala. Segundo Gandu (1984), essa região de precipitação estratiforme é decorrente da dissipação de células convectivas antigas, que acontece no estágio maduro do ciclo de vida das LI. De acordo com o autor, no estágio inicial as LI são formadas por cumulonimbus isolados. Estas se fundem no estágio de intensificação quando novas células se formam (entre ou à frente das células já existentes), fazendo com que as correntes descendentes intensifiquem a convergência em baixos níveis. No estágio maduro, a linha apresenta a mesma configuração descrita por Sales (2000), com uma linha de células convectivas à frente e uma região de precipitação estratiforme na traseira do sistema. Na fase final, cessa a formação de novas células convectivas, persistindo somente a precipitação horizontal uniforme por várias horas seguidas. Em geral a linha convectiva tem formato de arco e se move rapidamente, enquanto a região estratiforme é bem ampla (da ordem de 10^4 km² de área horizontal; HOUZE; SMULL; DODGE, 1990). Existem dois tipos de LI: simétrica e assimétrica (Figura 1.3). A diferença entre os dois casos é que no tipo assimétrico as células mais intensas, no hemisfério norte, se formam na ponta sul, sudoeste ou oeste da linha principal, enquanto as células mais fracas, em processo de dissipação, se encontram na outra ponta da linha. Com isso, a região estratiforme tende a ser maior na parte norte, nordeste ou leste da linha principal. Já no caso simétrico não há preferência de localização das células mais intensas, ou seja, novas células crescem ao longo de toda a linha

principal, e, assim, o centro da região estratiforme fica diretamente atrás do centro da linha convectiva (HOUZE; SMULL; DODGE, 1990).

Figura 1.3: Representação esquemática dos dois tipos de linha de instabilidade: (a) assimétrico e (b) simétrico. Adaptado de Houze, Smull e Dodge (1990).

Em latitudes médias, as linhas de instabilidade frequentemente aparecem em situações frontais, podendo aparecer tanto no setor quente como no setor frio (SILVA DIAS, 1987). A LI pré-frontal (LIPF) geralmente é uma perturbação mais intensa que a própria frente fria, representando um fenômeno adverso de tempo, que provoca chuva e ventos fortes, intensa atividade elétrica e queda de granizo (SCOLAR, 1983), causando prejuízos não só nas cidades, mas também nas áreas agrícolas. Associados às LI estão características como diminuição (aumento) da pressão antes (depois) de sua passagem e queda de temperatura após (efeito piscina de ar frio; SALES, 2000). Lima e Silva Dias (1980), citadas por Scolar (1983), mostraram que os efeitos de uma LIPF no leste de São Paulo são semelhantes aos de uma frente fria: mínimo na pressão e giros na direção do vento antes da passagem da LI, acarretando em queda de cerca de 5 °C após a passagem do sistema.

c) Temperatura da superfície do mar

Existem vários estudos que relacionam, de alguma forma, a temperatura da superfície do mar (TSM) dos oceanos Pacífico e Atlântico com a precipitação no Brasil e, em especial, na região Sudeste (ALVES et al., 2005; MUZA et al., 2009; CARDOSO; SILVA DIAS, 2004; DRUMOND, 2005).

As características das anomalias de TSM de baixa frequência associadas com eventos extremos secos e úmidos sobre o Sudeste do Brasil (SEBr) foram estudados por Muza et al. (2009). Os autores concluíram que eventos extremos sobre a região, tanto secos quanto úmidos, estão relacionados com anomalias negativas de TSM sobre o Pacífico leste. Outra característica interessante descoberta por esses autores é que os eventos extremos estão

associados a fases opostas do dipolo de TSM do Atlântico Sul. Eventos extremos úmidos (secos) sobre o SEBr ocorrem quando o gradiente de anomalias de TSM sobre o Atlântico sul vai em direção ao sul (norte).

Drumond (2005) também relacionou águas anormalmente quentes no Atlântico sul subtropical com episódios de seca no SEBr, enquanto que anomalias frias no sudoeste do Atlântico estão relacionadas ao aumento da precipitação na região da ZCAS.

Alves et al. (2005) estudaram a influência da TSM no início da estação chuvosa sobre o Sudeste do Brasil. Seus resultados sugerem que variações interanuais do início da estação chuvosa na região estão associadas com anomalias mais quentes nas águas superficiais do oceano Pacífico. A estação chuvosa parece começar mais cedo em anos nos quais a TSM está mais quente no Pacífico equatorial e mais tarde em anos nos quais se observa TSM mais fria no Pacífico central.

d) Oscilação Sul, El Niño e La Niña

O gradiente de pressão associado à circulação de Walker, orientada zonalmente na região tropical, está submetido a uma variação interanual irregular. Esta oscilação na pressão possui dois centros de ação: um no Pacífico oeste tropical e no leste do oceano Índico, e outro sobre o Pacífico sudeste tropical. A oscilação na pressão (e as mudanças associadas a esta) foi nomeada de Oscilação Sul (OS) por Sir Gilbert Walker (PHILANDER, 1985) e pode ser notada através da comparação entre séries temporais de anomalias de pressão próximas à superfície entre os setores oeste e leste do Pacífico equatorial.

A intensidade da Oscilação Sul é medida através do Índice de Oscilação Sul (IOS), obtido através da diferença entre as pressões ao nível do mar no Tahiti (Pacífico central) e Darwin (Pacífico oeste). A época em que a anomalia de pressão ao nível médio do mar (PNMM) fica positiva em Darwin e negativa no Tahiti é chamada de fase negativa ou fase quente da OS. Neste caso, ocorre desintensificação dos ventos alísios e aumento da área de TSM elevada no oceano Pacífico, caracterizando o fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENOS). A expressão ENOS se refere a um fenômeno de duas componentes: uma de natureza oceânica, no caso o El Niño, e outra de natureza atmosférica, representada pela Oscilação do Sul (CUNHA, 1999). Quando estas mudanças aparecem com sinal invertido, é dito que a OS se encontra em sua fase positiva ou fase fria, também chamada de La Niña.

O padrão de circulação de Walker sofre grandes alterações durante as diferentes fases da OS, sendo observado um deslocamento da célula de circulação para leste durante eventos El Niño, causando grandes secas nas regiões sob ação do seu ramo descendente, tais como o

Nordeste brasileiro. Eventos de La Niña (fase positiva da OS) estão associados a baixos valores de TSM próximo ao equador, nas regiões do Pacífico central e leste, com zonas de convergência isoladas e com escalas menores que aquelas observadas em eventos El Niño. A Figura 1.4 mostra uma visão esquemática da circulação de Walker ao longo do equador durante eventos de El Niño e La Niña.

Figura 1.4: Visão esquemática da circulação de Walker ao longo do equador durante períodos de El Niño (painel inferior) e La Niña (painel superior). Áreas sombreadas indicam TSM > 27 °C; linhas tracejadas mostram variação de pressão horizontal na alta e na baixa troposfera. Adaptado de Webster e Chang (1987).

Segundo Carvalho, Jones e Liebmann (2002), episódios de El Niño parecem modular a ocorrência de extremos associados à intensa convecção na ZCAS, deslocada para norte de São Paulo e para o oceano Atlântico. Análises sobre a influência de eventos El Niño (GRIMM, 2003) e La Niña (GRIMM, 2004) sobre o Sistema de Monções da América do Sul indicaram que, em eventos de El Niño, ocorrem anomalias negativas de precipitação sobre a ZCAS e positivas no Sul do Brasil. Durante eventos La Niña observa-se comportamento oposto, com anomalias positivas sobre a ZCAS e negativas no Sul do Brasil (DRUMOND, 2005).

Com relação à precipitação, eventos extremos de chuva e seca não têm relação nítida com o ENOS sobre o SEBr (MUZA et al., 2009). Entretanto, o aumento de convecção sobre o SEBr está relacionado à supressão de convecção sobre o Pacífico equatorial oeste e aumento sobre o Continente Marítimo. Por outro lado, o aumento da convecção sobre a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS) e a supressão sobre o Pacífico equatorial estão relacionados a condições secas na escala de tempo de baixa frequência sobre o SEBr.

Minuzzi et al. (2007) identificaram alterações nas datas de início da estação chuvosa no centro-oeste de São Paulo e comentaram que podem ocorrer alguns atrasos no início das chuvas nos anos de La Niña. Este resultado é compatível com o encontrado por Alves et al. (2005).

e) Oscilação de Madden-Julian

Em 1971, Roland Madden e Paul Julian realizaram um estudo com dados de pressão e vento zonal da Ilha de Canton (3° S, 172° W) e notaram um máximo bastante pronunciado na análise espectral das componentes de 850 hPa e 150 hPa do vento zonal no período de 41 a 53 dias (MADDEN; JULIAN, 1971). Suas análises mostraram que essa oscilação apresentava as seguintes características: picos intensos no vento zonal na baixa troposfera, fracos ou não existentes na camada 700 – 400 hPa, e intensos novamente na alta troposfera; pico no espectro da pressão na estação de coleta de dados nesta banda de frequência ($0,0245 - 0,0190 \text{ dia}^{-1}$); as temperaturas troposféricas exibiam um pico similar e eram altamente coerentes com a oscilação da pressão em tal estação (anomalias positivas de pressão eram associadas com anomalias negativas de temperatura por toda a troposfera). Como não havia evidência desta oscilação anteriormente a este estudo, Madden e Julian especularam que esta seria causada por uma grande célula de circulação, da ordem de centenas de quilômetros, orientada nos planos zonais e centrada no Pacífico central, próximo ao equador. Eles haviam descoberto um dos fenômenos atmosféricos de baixa frequência mais importantes, que mais tarde levaria seus nomes: a Oscilação de Madden-Julian (OMJ). A Figura 1.5 mostra um esquema de células com movimento para leste, orientadas no plano equatorial, conforme ocorre com a OMJ.

A OMJ influencia principalmente o hemisfério de verão, tendo em vista que a propagação para leste da OMJ é sempre acompanhada das altas subtropicais no oceano, que são mais intensas no hemisfério de verão. Jones et al. (2004) mostraram que a duração temporal de eventos relativos à OMJ pode variar de 4 a 14 pênadas, e que a variabilidade espacial da mesma varia entre 30° e 150° de longitude, com frequência maior de eventos em torno da longitude de 90° . Além disso, uma importante característica da OMJ é seu alto grau de variabilidade entre diferentes casos, da escala sazonal para a interanual.

Relações significativas entre a OMJ e a ocorrência de precipitação extrema sobre o Brasil foram encontradas por Carvalho, Jones e Liebmann (2004). Não é possível isolar os efeitos da OMJ dos efeitos da ZCAS porque o primeiro modula a persistência do segundo, mas alguns aspectos peculiares da OMJ são notáveis. Ocorre um aumento na chuva diária de

mais de 5 mm por dia sobre o leste do Brasil (onde a climatologia é de chuva entre 15 e 20 mm dia⁻¹) na fase da OMJ quando é observada supressão na convecção sobre o Pacífico central. Analogamente, na fase da OMJ caracterizada por aumento da convecção sobre a Indonésia e supressão sobre o Pacífico central, ocorre diminuição da chuva diária sobre o Sudeste do Brasil.

Figura 1.5: Quadro esquemático das variações espaço-temporais do distúrbio associado com a oscilação de 40 – 50 dias. As letras indicam as datas associadas com a oscilação na pressão em Canton. A letra A se refere ao período de baixa pressão e a letra E, ao de alta pressão. O distúrbio médio na pressão é mostrado na parte inferior de cada quadro e a altura da tropopausa, na parte superior. Adaptado de Madden e Julian (1994).

f) Bloqueios atmosféricos

O "bloqueio" atmosférico é assim chamado por causar uma interrupção no deslocamento normal de oeste para leste dos sistemas migratórios. O fenômeno é constituído

por um anticiclone de grande escala, quase estacionário, que persiste por vários dias, produzindo um grande desvio dos sistemas transientes (frentes frias e ciclones) e provocando condições anômalas de tempo durante longos períodos e em grandes áreas (KNOX; HAY, 1984). De acordo com Sinclair (1996), próximo à alta do bloqueio são observadas condições de tempo estável. Por outro lado, a deflexão dos distúrbios ciclônicos de seu caminho normal pode trazer condições instáveis de tempo nas áreas adjacentes, principalmente na região equatorial do bloqueio. Seguindo esse raciocínio, de acordo com Bluenstein (1993), as regiões próximas aos ciclones de altos níveis tendem a presenciar uma combinação de precipitação e temperaturas mais baixas, enquanto que as áreas próximas ao anticiclone de altos níveis normalmente presenciam condições de seca.

Ainda segundo Sinclair (1996), existe um cinturão de frequência máxima de anticlones entre 25° S e 45° S, além de uma tendência de as altas se formarem nas regiões ao sul dos três continentes subtropicais e se dissiparem nas regiões a leste das bacias oceânicas. Mas, para os anticlones caracterizarem um bloqueio, essas altas precisam acontecer dentro de uma região onde normalmente ocorre um fluxo regular de distúrbios transientes, ou seja, entre as latitudes de 45° S e 55° S. Este resultado está de acordo com o obtido por Mendes et al. (2005), que encontraram uma região preferencial em torno de 60° S. Uma vez que o anticiclone estacionário se estabelece, ocorre uma divisão no escoamento de oeste, fazendo com que os *eddies* transientes se desviem para norte e para sul, seguindo os ramos do jato (TRENBERTH, 1986). Esta divisão do escoamento pode gerar três tipos diferentes de bloqueios: dipolo, Omega invertido e crista de grande amplitude (Figura 1.6).

Figura 1.6: Padrões de bloqueio observados no Hemisfério Sul: tipo dipolo (a); tipo Omega invertido (b); crista de grande amplitude (c). Adaptado de Bluenstein (1993).

O tipo dipolo constitui-se de um anticiclone de grande amplitude acompanhado de um ciclone no lado equatorial; o tipo Omega invertido constitui-se de um anticiclone entre dois ciclones na forma de uma letra "Omega" invertida (HS); e o tipo sem definição é formado por uma crista estacionária de grande amplitude. A bifurcação do jato em altos níveis provoca ventos intensos no lado equatorial do bloqueio e uma região de ventos mais fracos na área do anticiclone de bloqueio.

Kayano (1999) estudou bloqueios no verão e no inverno do Hemisfério Sul com 17 anos de dados e notou algumas características comuns entre eles, como persistência de padrões nos campos de vento em baixos e altos níveis, de geopotencial em 500 hPa e de PNMM em pelo menos 7 dias, bifurcação do fluxo de oeste nos altos níveis, o estabelecimento de uma configuração do tipo Omega no campo de PNMM e uma estrutura equivalente barotrópica. Como consequência dos bloqueios, a autora concluiu que, no inverno, ar mais frio e mais seco que o normal é advectado para a ponta sul da América do Sul pelo fluxo de nordeste em baixos níveis, observado no Pacífico sudeste. Enquanto que no verão as anomalias negativas de temperatura são observadas abaixo de 35° S na América do Sul. Com relação à água precipitável no inverno, anomalias negativas são encontradas na região central da América do Sul ao longo da zona de confluência dos fluxos de baixos níveis com origem no Pacífico e na região amazônica. A sudoeste e a nordeste dessas áreas, condições mais úmidas que o normal são observadas. Essa área a sudoeste com anomalias positivas de água precipitável coincide com a localização da corrente de jato subtropical, que age como uma barreira que impede a incursão de frentes frias em direção ao equador. Já no verão, a autora observou anomalias negativas no Sul do Brasil e abaixo da latitude de 40° S. De forma mais resumida e generalizada, pode-se dizer que anomalias positivas de precipitação ocorrem na região de saída do jato e do cavado ao norte do anticiclone de bloqueio. Estas anomalias podem estar relacionadas à passagem de sistemas transientes ao norte da alta de bloqueio.

Estudos feitos sobre a climatologia de bloqueios (MENDES et al., 2005; SINCLAIR, 1996), considerando que o número de dias bloqueados deveria ser no mínimo 5 para a caracterização do fenômeno, concluíram que existem quatro regiões favoritas para a formação dos bloqueios no Hemisfério Sul: região da Austrália, Nova Zelândia e Pacífico sudoeste (120° E - 120° W); Pacífico sudeste (120° W - 80° W); oceano Atlântico (80° W - 10° W) e oceano Índico (70° E - 120° E), sendo que as duas regiões do Pacífico sul foram as que apresentaram maior frequência de ocorrência do fenômeno. Na escala sazonal, os períodos mais favoráveis são o inverno e o início da primavera. Foi descoberto ainda que os bloqueios

podem durar até 28 dias. Entretanto, os resultados dos estudos discordam sobre a ocorrência do fenômeno em anos de El Niño e La Niña. Mendes et al. (2005) identificaram que a frequência de bloqueios é maior em anos de El Niño do que em anos de La Niña, mas que parecem ser mais intensos em anos de La Niña. Já Marques (1996; citado por Mendes et al., 2005) encontrou maior frequência de bloqueios em anos de La Niña.

Analisando bloqueios que ocorreram em julho de 2008 e de 2009, Dutra et al. (2010) notaram que os bloqueios que se formam no sul da América do Sul provocam anomalias negativas de precipitação no Estado de São Paulo.

1.4. Objetivos

Tendo em vista a importância econômica da cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo e a necessidade da cultura de estações seca e chuvosa bem definidas, o objetivo principal deste trabalho é identificar as condições atmosféricas que possam ser desfavoráveis ao cultivo paulista da cana-de-açúcar, do ponto de vista pluviométrico. Isto foi feito em duas etapas: cálculo de probabilidades de ocorrência de períodos secos ao longo do ano e identificação e análise meteorológica de períodos secos prolongados em diferentes localidades, cobrindo todo o Estado.

Como objetivos secundários foram realizados ao longo do desenvolvimento do trabalho a identificação de regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação, a determinação das datas de início e fim de estações chuvosas, e a análise de tendências para a verificação de possíveis mudanças no padrão climático das regiões canavieiras do Estado de São Paulo, com relação ao regime pluviométrico.

CAPÍTULO II: DETERMINAÇÃO DA PROBABILIDADE DE PERÍODOS SECOS

A ocorrência de longos períodos secos prejudica o crescimento da cana-de-açúcar, especialmente na fase de desenvolvimento vegetativo (seção 1.1). Tendo em vista o fato de que a fase da cana-de-açúcar que mais precisa de água coincide com a estação chuvosa do Estado de São Paulo, é de extrema importância determinar a ocorrência de períodos secos dentro da estação chuvosa (veranicos), de forma a evitar a quebra de produção por falta de chuva em um momento em que esta não é esperada.

2.1. Dados

Inicialmente foram coletados dados de 148 estações pluviométricas espalhadas por todo o Estado de São Paulo, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) e disponíveis na página na internet do Sistema de Informações Hidrológicas Hidroweb (2008). As datas de início e fim de coleta dessas estações eram diferentes entre si, sendo que o período de tempo mais comum encontrado foi o de 1971 a 2003 (138 estações). Dentro desse período comum, muitas estações apresentavam dados faltantes. Foi estabelecido um critério de preenchimento de dados, de forma que apenas as estações que apresentassem até 1,5 % de dados faltantes na série seriam tratadas (93 estações). Foi utilizado o método de regressão linear entre estações próximas à estação a ser tratada para o preenchimento de dados faltantes, sendo a estação com maior coeficiente de determinação, R^2 , usada no preenchimento. Todos os dados faltantes das 93 estações foram preenchidos. A disposição final das estações é mostrada na Figura 2.1. Cada estação é representada por um código, formado por 7 algarismos: os dois primeiros indicam a latitude, os dois seguintes, a longitude, e os três finais indicam o número de identificação de cada estação. A relação das cidades onde ficam as estações e seus respectivos códigos é apresentada na Tabela 2.1. As informações completas de cada estação (cidade, latitude, longitude, código e operadora responsável) estão apresentadas na Tabela A.1 (apêndice A).

Os dados coletados destas estações são totais diários de chuva, que foram transformados em séries com totais acumulados em cinco dias (pêntadas), de forma a

trabalhar com um número reduzido de dados, sem perder a informação necessária para o estudo em questão. Assim como em Freitas (1998), essas pêntricas são calculadas sem sobreposição de datas, de 01 de janeiro a 31 de dezembro de cada ano, obtendo-se uma série temporal anual de comprimento igual a 73 pêntricas. Para os anos bissextos, o dia 29 de fevereiro é incluído na 12ª pêntrica, sendo que o valor da precipitação neste caso é o total acumulado em seis dias. A Tabela A.2 (apêndice A) apresenta a correspondência entre cada uma das 73 pêntricas e o calendário convencional.

Figura 2.1: Disposição das 93 estações meteorológicas selecionadas. As estações estão representadas pelo número de identificação.

Tabela 2.1: Cidades onde estão localizadas as estações pluviométricas e seus respectivos códigos. Continua.

Estação	Código	Estação	Código	Estação	Código
Orlândia	2047025	Araçatuba	2150001	Marabá Paulista	2251002
Altinópolis	2047028	Araçatuba	2150010	Indiana	2251009
Batatais	2047029	Alto Alegre	2150026	Mir. Paranapanema	2251012
Ituverava	2047067	Getulina	2150029	Narandiba	2251014
Guaíra	2048006	Osvaldo Cruz	2150032	Redenção da Serra	2345023
Guaraci	2048013	Diamantina	2151005	Taubaté	2345062
Olímpia	2048014	Monte Castelo	2151006	S. L. Paraitinga	2345067
Barretos	2048016	Irapuru	2151011	S. J. Campos	2345164
Jaborandi	2048019	Alf. Marcondes	2151021	Itatiba	2346001
Am. De Campos	2049004	Aguaí	2246003	Arujá	2346025
Sebast. Do Sul	2049018	Lindóia	2246016	Itap. Da Serra	2346071
Nipoã	2049028	Mte. Alegre Sul	2246022	Cotia	2346287
Icém	2049033	Joanópolis	2246090	Porto Feliz	2347014
Cedral	2049051	Leme	2247005	Mairinque	2347029
Palmeiras D'oeste	2050012	Araras	2247011	Pilar do Sul	2347049
Fernandópolis	2050024	Campinas	2247041	Ibiúna	2347052
Ribeirão Preto	2147013	Rio das Pedras	2247044	Bofete	2348004
Sta. Rosa Viterbo	2147022	Campinas	2247046	Guareí	2348014
Descalvado	2147043	Artur Nogueira	2247100	Angatuba	2348017
Casa Branca	2147073	São Carlos	2248004	Itapetininga	2348026
Pitangueiras	2148001	Dourado	2248009	Itapeva	2348031
Itápolis	2148031	Pederneiras	2248015	Cerqueira César	2349002

Tabela 2.1: Conclusão.

Estação	Código	Estação	Código	Estação	Código
Araraquara	2148041	Botucatu	2248029	Piraju	2349007
Araraquara	2148061	Torrinha	2248045	Taguaí	2349016
Cândido Rodrigues	2148106	Pirajuí	2249005	S. M. Arcanjo	2447007
Mendonça	2149005	Cabrália Pta.	2249023	Itariri	2447010
Urupês	2149006	Ribeirão do Sul	2249028	Sete Barras	2447012
Barbosa	2149007	Óleo	2249086	Apiaí	2448013
Lins	2149018	Rancharia	2250009	Iporanga	2448015
Cafelândia	2149021	Assis	2250048	Jacupiranga	2448024
Guaimbê	2149028	Paraguaçu Pta.	2250063	Barra do Turvo	2448026

2.2. Metodologia

Foram calculadas as probabilidades de ocorrência de pêntadas secas ao longo do ano, e de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 pêntadas secas seguidas nos 30 dias seguintes a cada uma das pêntadas do ano. Sabendo que a cana-de-açúcar precisa, em média, de 2,5 mm por dia de água (12,5 mm por pêntada), será considerada seca a pêntada que tiver chuva menor que esse limite.

A probabilidade de um evento E ocorrer de h maneiras diferentes, em um total de m modos possíveis e igualmente prováveis, é dada por (SPIEGEL, 1993):

$$P_E = \frac{h}{m} \quad (1)$$

No caso deste trabalho, o evento E é a ocorrência de n (1,..., 6) pêntadas secas seguidas nos 30 dias seguintes a uma pêntada qualquer do ano. Por exemplo: ao longo de 30 dias (6 pêntadas), existem 4 maneiras possíveis de ocorrerem 3 pêntadas secas seguidas:

S S S C C C

C S S S C C

C C S S S C

C C C S S S

sendo S relativo aos eventos de seca e C , aos eventos de chuva. O mesmo raciocínio vale para os demais valores de n . É importante ressaltar que as análises deste trabalho foram focadas apenas nas pêntadas secas consecutivas, e não intercaladas, no período de 30 dias. Ou seja, o caso "C S C S S C", por exemplo, não é considerado como um período seco de 3 pêntadas. Além disso, não podemos esquecer que essas combinações são possíveis em todos os anos de dados de cada estação meteorológica. Sendo assim:

$$P_n = \frac{ns}{nc * N} \quad (2)$$

Na equação (2), P_n representa a probabilidade de ocorrerem n pântadas secas seguidas, ns é o número de vezes que aconteceram as n pântadas secas seguidas, nc é o número de combinações possíveis para cada valor de n , e N é o número de anos da série temporal.

2.3. Resultados e Discussões

Através dos dados obtidos de cada estação meteorológica selecionada, foram feitos gráficos com as médias mensais climatológicas de cada estação para o período de 1971 a 2003 (APÊNDICE B). Observando estes gráficos, é possível identificar a tendência climatológica que predomina no Estado de São Paulo. Todas as estações meteorológicas apresentam uma separação nítida entre as estações seca e chuvosa. Porém, em algumas localidades, como o norte paulista, por exemplo, estas estações são mais bem definidas que em outras, como é o caso da região sul do Estado.

Aplicando a equação 2, foi determinada a probabilidade de ocorrência de pântadas secas durante um período de 30 dias após uma pântada qualquer do ano. Neste trabalho, foram analisadas as probabilidades de 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas nos 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano. De forma a facilitar a interpretação dos gráficos, as estações foram agrupadas apenas com base na semelhança entre seus comportamentos com relação às probabilidades, ou seja, estações que apresentaram valores parecidos de probabilidades em um mesmo período foram colocadas dentro do mesmo grupo. Foram organizados 8 grupos, que se dividem conforme a Tabela 2.2 abaixo.

Tabela 2.2: Relação dos grupos de estações que possuem comportamento semelhante com relação à ocorrência de probabilidades. Continua.

Estação / Cidade	Grupo
2447007 (S. M. Arcanjo); 2447010 (Itariri); 2447012 (Sete Barras); 2448013 (Apiaí); 2448015 (Iporanga); 2448024 (Jacupiranga); 2448026 (Barra do Turvo); 2347052 (Ibiúna).	A
2345067 (S. L. do Paraitinga); 2346071 (Itapecerica da Serra); 2347049 (Pilar do Sul); 2348014 (Guarei); 2348026 (Itapetininga); 2348031 (Itapeva); 2349007 (Piraju); 2349016 (Taguaí); 2251012 (Mir. Paranapanema).	B

Tabela 2.2: Conclusão.

Estação / Cidade	Grupo
2149006 (Urupês); 2149028 (Guaimbê); 2151011 (Irapuru); 2247041 (Campinas); 2247046 (Campinas); 2247100 (Artur Nogueira); 2248004 (São Carlos); 2248015 (Pederneiras); 2249005 (Pirajuí); 2250009 (Rancharia); 2251009 (Indiana).	C
2150032 (Osvaldo Cruz), 2151005 (Diamantina), 2151021 (Alfredo Marcondes), 2249023 (Cabrália Paulista), 2249028 (Ribeirão do Sul), 2249086 (Óleo), 2250048 (Assis), 2250063 (Paraguaçu Paulista), 2251002 (Marabá Paulista), 2251014 (Narandiba), 2349002 (Cerqueira César).	D
2246022 (Mte. Alegre do Sul), 2246090 (Joanópolis), 2248029 (Botucatu), 2345023 (Redenção da Serra), 2345164 (S. J. dos Campos), 2346001 (Itatiba), 2346025 (Arujá), 2346287 (Cotia), 2347014 (Porto Feliz), 2347029 (Mairinque), 2348004 (Bofete), 2348017 (Angatuba).	E
2047025 (Orlândia), 2047067 (Ituverava), 2048006 (Guaíra), 2048013 (Guaraci), 2048014 (Olímpia), 2048016 (Barretos), 2049004 (Américo de Campos), 2049018 (Sebast. do Sul), 2049033 (Icém), 2050012 (Palmeiras D'Oeste), 2050024 (Fernandópolis), 2150001 (Araçatuba).	F
2047028 (Altinópolis), 2047029 (Batatais), 2048019 (Jaborandi), 2049028 (Nipoã), 2049051 (Cedral), 2147013 (Ribeirão Preto), 2147022 (Sta. Rosa do Viterbo), 2148001 (Pitangueiras), 2148031 (Itápolis), 2149005 (Mendonça), 2149018 (Lins), 2151006 (Monte Castelo), 2246003 (Aguai), 2246016 (Lindóia), 2247044 (Rio das Pedras), 2345062 (Taubaté).	G
2147043 (Descalvado), 2147073 (Casa Branca), 2148041 (Araraquara), 2148061 (Araraquara), 2148106 (Cândido Rodrigues), 2149007 (Barbosa), 2149021 (Cafelândia), 2150010 (Araçatuba), 2150026 (Alto Alegre), 2150029 (Getulina), 2247005 (Leme), 2247011 (Araras), 2248009 (Dourado), 2248045 (Torrinha).	H

a) Análise do grupo A

As estações pertencentes ao grupo A estão no sul do Estado, região próxima ao nível do mar (Vale do Ribeira). A localização das estações deste grupo é mostrada na Figura 2.2. Na Figura 2.3 estão apresentados os valores das probabilidades.

Estação	Cidade
2447007	S. M. Arcanjo
2447010	Itariri
2447012	Sete Barras
2448013	Apiáí
2448015	Iporanga
2448024	Jacupiranga
2448026	Barra do Turvo
2347052	Ibiúna

Figura 2.2: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo A.

Figura 2.3: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes (a) 2447007 (So Miguel Arcanjo), (b) 2447010 (Itariri), (c) 2447012 (Sete Barras), (d) 2448013 (Apia), (e) 2448015 (Iporanga), (f) 2448024 (Jacupiranga), (g) 2448026 (Barra do Turvo), (h) 2347052 (Ibina). Continua.

Figura 2.3: Conclusão.

A característica comum entre essas estações é que a probabilidade de ocorrência de períodos secos não é alta. Com relação à probabilidade de 2 pântadas secas seguidas a uma pântada qualquer do ano, o valor máximo é encontrado na estação de Jacupiranga (2448024 – *f*), sendo igual a 60 % na pântada 43. Já na estação que fica em Sete Barras (2447012 – *c*), esse valor não chega a 50 %. Nas demais estações deste grupo, esse valor de probabilidade varia entre 50 e 60 % no meio do ano, sendo este intervalo encontrado entre as pântadas 37 e 45 nas estações 2448013, de Apiaí (*d*), e 2448015, de Iporanga (*e*), entre as pântadas 27 e 45 em Jacupiranga (2448024 – *f*), e entre as pântadas 29 e 43 nas demais estações. Analisando agora a linha de 3 pântadas secas seguidas, pode-se perceber que seu valor oscila em torno de 40 % entre os meses de abril e agosto, passando de 40 % apenas nas estações de Jacupiranga (*f*), Barra do Turvo (*g*), Iporanga (*e*) e Ibiúna (*h*).

Os valores da probabilidade de 6 pântadas secas seguidas são praticamente insignificantes, passando de 20 % apenas nas estações de Ibiúna (pântadas 30 a 32), Iporanga (pântadas 41 e 42), Jacupiranga (pântadas 40 a 45) e Barra do Turvo (pântadas 38 a 42).

A partir da pântada 48, os valores de probabilidade começam a ficar abaixo de 30 % nas estações deste grupo, o que indica o baixo índice de veranicos. Entretanto, é importante ressaltar que, apesar de baixa, essa probabilidade existe e deve ser dada a devida atenção.

De forma geral, estas sete estações não são propícias ao cultivo da cana-de-açúcar por não apresentarem estação seca bem definida, lembrando que esta cultura precisa de um período mais seco durante o desenvolvimento (capítulo 1). Nos meses de inverno, a probabilidade de ocorrência de 10 dias secos não passa de 60 %, e a de 30 fica em 20 %.

b) Análise do grupo B

Este grupo difere do grupo anterior por possuir valores mais altos de probabilidades. A maioria das estações também está no sul do Estado, mas em altitude mais elevada com relação às estações do grupo A. A estação 2251012, apesar de ter sido classificada para este grupo por apresentar comportamento semelhante dos valores das probabilidades, fica localizada no extremo oeste paulista. Na Figura 2.4 está a localização das estações pertencentes a este grupo.

Estação	Cidade
2345067	S. L. do Paraitinga
2346071	Itapecerica da Serra
2347049	Pilar do Sul
2348014	Guarei
2348026	Itapetininga
2348031	Itapeva
2349007	Piraju
2349016	Taguaí
2251012	Mir. Paranapanema

Figura 2.4: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo B.

A característica comum deste grupo é que os valores máximos das probabilidades de 2 e 6 pântadas secas ficam em torno de 70 e 40 %, respectivamente. Começando a análise pela probabilidade de 2 pântadas secas seguidas, nota-se pela Figura 2.5 que todas as estações possuem valores entre 60 e 70 % no meio do ano, sendo que nas estações de Itapetininga (2348026 – f), Piraju (2349007 – g) e Mirante do Paranapanema (2251012 – i), o período com este intervalo de valores começa entre as pântadas 33 e 34 e vai até a pântada 45. A estação 2348014, que fica em Guarei (e), acaba esse período na mesma pântada 45, mas começa antes, na pântada 28. Já a cidade de São Luís do Paraitinga (2345067 – a) possui um período menor com valores altos (pântadas 38 a 41). Nas demais estações este intervalo de valores ocorre entre as pântadas 36 e 45.

Figura 2.5: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes: (a) 2345067 (So Lus do Paraitinga), (b) 2348031 (Itapeva), (c) 2346071 (Itapeccerica da Serra), (d) 2347029 (Pilar do Sul), (e) 2348014 (Guarei), (f) 2348026 (Itapetininga), (g) 2349007 (Piraju), (h) 2349016 (Tagua), (i) 2251012 (Mirante do Paranapanema). Continua.

Figura 2.5: Conclusão.

Passando para a análise de 3 pêntricas secas seguidas a uma pêntrica qualquer do ano, a Figura 2.5 nos mostra que apenas a estação de número 2345067, que fica em São Luís do Paraitinga (*a*), não chega a 50 % de probabilidade. As estações 2346071 (Itapeccerica da Serra – *c*), 2348031 (Itapeva – *b*) e 2349016 (Taguaí – *h*) possuem seus valores máximos (entre 50 e 55 %) durante o mês de julho, e as demais estações possuem valores entre 55 e 61 % no mesmo período. Durante o verão, como era de se esperar, a probabilidade de não chover não é alta, mas nas estações 2349016 (Taguaí – *h*) e Paranapanema (2251012 – *i*) o valor da probabilidade de 3 pêntricas secas começa a passar de 30 % já na pêntrica 12 (começo de março).

Com relação à probabilidade de 6 pêntricas secas seguidas, 3 das 9 estações possuem valor máximo de 30 %: 2345067 (São Luís do Paraitinga – *a*), 2346071 (Itapeccerica da Serra – *c*) e 2348031 (Itapeva – *b*). As demais estações deste grupo apresentam valores entre 30 e 40% ao longo do mês de julho. Já a partir de meados de outubro, essa probabilidade fica abaixo de 10 %.

Olhando para os dois grupos descritos até agora, é possível perceber que, ao diminuir a latitude, aumentam as probabilidades de não ocorrência de chuva naquela estação coletora, principalmente durante o inverno. Isso vai ao encontro das necessidades hídricas da cana-de-açúcar, já que é necessário um período seco para o bom amadurecimento da planta.

c) Análise do grupo C

Apesar de as estações deste grupo apresentarem comportamento semelhante com relação à probabilidade de períodos secos, elas não se encontram muito próximas umas das outras, conforme pode ser observado na figura 2.6.

Estação	Cidade
2149006	Urupês
2149028	Guaimbê
2151011	Irapuru
2247041	Campinas
2247046	Campinas
2247100	Artur Nogueira
2248004	São Carlos
2248015	Pederneiras
2249005	Pirajuí
2250009	Rancharia
2251009	Indiana

Figura 2.6: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo C.

Todas as estações possuem de 70 a 80 % de probabilidade de ocorrência de 2 pântadas secas seguidas a uma determinada pântada do ano durante os meses de inverno (Figura 2.7), sendo que a estação de Urupês (2149006 – a) é que possui um período de tempo maior com este intervalo de valores: entre as pântadas 28 e 45. As demais estações começam o período de valores altos entre as pântadas 32 e 34 e terminam entre as pântadas 43 e 44.

Para a probabilidade de 3 pântadas secas seguidas, a maioria das estações deste grupo possui o mesmo intervalo de valores máximos (70 a 80 %), o que não havia sido observado nos grupos A e B. As exceções ficam por conta das estações 2249005 (Pirajuí – j), 2250009 (Rancharia – k) e 2251009 (Indiana – l), onde essa probabilidade varia entre 60 e 70 % entre as pântadas 33 e 44. Entre as pântadas 51 e 56 (setembro), os valores de probabilidade começam a diminuir, mas ainda há cerca de 30 % de chance de seca durante esse mês.

Figura 2.7: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes: (a) 2149006 (Urups), (b) 2149028 (Guaimb), (c) 2151011 (Irapuru), (d) 2247041 (Campinas), (e) 2247046 (Campinas), (f) 2247100 (Artur Nogueira), (g) 2248004 (So Carlos), (h) 2248015 (Pederneiras), (i) 2249005 (Piraju), (j) 2250009 (Rancharia), (k) 2251009 (Indiana). Continua.

Figura 2.7: Conclusão.

Com relação à probabilidade de acontecerem 6 pântadas secas depois uma pântada qualquer do ano, nota-se pela Figura 2.7 que os valores começam a ser tornar expressivos mais cedo neste grupo. Todas as estações apresentam entre 50 % e 60 % de chance de não chover durante um mês inteiro entre meados de junho e a primeira quinzena de agosto.

Existem duas estações dentro deste grupo que são exemplos de que a climatologia de precipitação pode ser diferente até mesmo dentro de uma mesma cidade. As estações 2247041 (*d*) e 2247046 (*e*) ficam na cidade de Campinas, separadas entre si por 13 km (em linha reta) e em altitudes diferentes: a estação 2247041 fica a 600 metros do nível do mar, e a estação 2247046, a 710 metros. Olhando para a linha de 2 pântadas secas seguidas, nota-se que esta oscila entre 70 e 80 % entre as pântadas 32 e 44 na estação 041, e entre as pântadas 33 e 43 na estação 046. Analisando a probabilidade de 3 pântadas secas seguidas, podemos notar que a estação 041 possui valores entre 70 e 75 % entre as pântadas 35 e 42, enquanto que a estação 046 possui valor máximo de 71 % apenas na pântada 41. A linha de 6 pântadas secas seguidas também é diferente para as duas estações. Observando o gráfico da estação 041, notam-se valores entre 50 e 58 % entre as pântadas 36 e 41, enquanto que a estação 046 passa de 50 % apenas uma vez, na pântada 41 (55 %).

d) Análise do grupo D

As estações pertencentes a este grupo se localizam no centro e no oeste do Estado de São Paulo, sendo relativamente próximas umas das outras, como mostra a Figura 2.8.

Observando a Figura 2.9 percebe-se que a probabilidade de acontecerem 6 pântadas secas seguidas nas estações 2150032 (Osvaldo Cruz – *a*), 2151005 (Diamantina – *b*), 2151021 (Alfredo Marcondes – *c*), 2249023 (Cabrália Paulista – *d*) e 2250063 (Paraguaçu Paulista – *h*) varia entre 40 e 50 % entre as pântadas 36 e 43, começando um pouco antes na estação de Alfredo Marcondes (pântada 34) e um pouco depois em Cabrália Paulista (pântada 37). O valor desta probabilidade atinge 51 % nas estações de Osvaldo Cruz (pântadas 37 e 41) e de Diamantina (pântada 41). Para estas mesmas estações, nota-se que as probabilidades de 2 e 3 pântadas secas seguidas variam entre 70 e 80 % e entre 60 e 70 %, respectivamente, entre as pântadas 34 e 43, começando um pouco antes em Diamantina (pântada 30) e um pouco depois em Cabrália Paulista (pântada 36). Já nas estações 2249028 (Ribeirão do Sul – *e*), 2249086 (Óleo – *f*), 2250048 (Assis – *g*), 2251002 (Marabá Paulista – *i*) e 2251014 (Narandiba – *j*), existe entre 40 e 50 % de probabilidade de ocorrerem 6 pântadas secas seguidas em um período menor de tempo do que nas estações anteriores, apenas entre as pântadas 39 e 44, aproximadamente. Dessas, apenas a estação de Óleo chega a 51 %, também na pântada 41.

Estação	Cidade
2150032	Osvaldo Cruz
2151005	Diamantina
2151021	Alfredo Marcondes
2249023	Cabrália Paulista
2249028	Ribeirão do Sul
2249086	Óleo
2250048	Assis
2250063	Paraguaçu Paulista
2251002	Marabá Paulista
2251014	Narandiba
2349002	Cerqueira César

Figura 2.8: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo D.

Considerando as probabilidades de 2 e 3 pântadas secas seguidas, os valores oscilam entre 70 e 80 % e entre 60 e 70 %, respectivamente, entre as pântadas 37 e 43, começando um pouco antes nas estações de Paraguaçu Paulista e Marabá Paulista (pântadas 34 e 35, respectivamente) e um pouco depois em Narandiba (pântada 39). A estação 2349002, que fica em Cerqueira César (gráfico *k*), é a que possui menores valores de probabilidade, com apenas 41 % de probabilidade de ocorrência de 6 pântadas secas (pântada 41) e oscilações de 70 a 72 % e de 60 a 63 % nas probabilidades de 2 e 3 pântadas secas seguidas, respectivamente, entre as pântadas 39 e 42.

Durante o verão, os valores de probabilidade ainda não são preocupantes. A maioria das estações apresenta entre 20 e 30 % de probabilidade de 2 pântadas secas seguidas, valores que não comprometem o plantio.

De forma geral, este grupo começa a ter condições mais favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar do que os grupos anteriores. Mas durante o inverno, que geralmente é a época de desenvolvimento da cultura, a probabilidade de não chover precisa ser ainda maior para que a maturação da planta não seja comprometida.

Figura 2.9: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes: (a) 2150032 (Osvaldo Cruz), (b) 2151005 (Diamantina), (c) 2151021 (Alfredo Marcondes), (d) 2249023 (Cabrlia Paulista), (e) 2249028 (Ribeiro do Sul), (f) 2249086 (leo), (g) 2250048 (Assis), (h) 2250063 (Paraguau Paulista), (i) 2251002 (Marab Paulista), (j) 2251014 (Narandiba), (k) 2349002 (Cerqueira Csar). Continua.

Figura 2.9: Conclusão.

e) Análise do grupo E

O comportamento das estações do grupo *E* é bastante parecido com o das estações do grupo *D*. A diferença principal entre estes grupos é basicamente a localização geográfica: as estações do grupo *E* ficam na porção centro-leste (Figura 2.10), enquanto as estações do grupo *D* ficam no centro-oeste do Estado.

Figura 2.10: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo E.

Analisando as linhas de 2 pântadas secas seguidas na Figura 2.11, nota-se que os valores de probabilidade variam entre 70 e 80 % em todas as estações, sendo que nas estações 2246022 (Monte Alegre do Sul – *a*), 2246090 (Joanópolis – *b*), 2346001 (Itatiba – *f*), e 2346025 (Arujá – *g*), este intervalo de valores é mais observado entre as pântadas 33 e 42. Apenas nas estações 2345023 (Redenção da Serra – *d*) e 2345164 (São José dos Campos – *e*) é que o período de valores altos desta probabilidade começa antes, na pântada 30. Nas estações 2347014 (Porto Feliz – *i*), 2348004 (Bofete – *k*) e 2348017 (Angatuba – *l*), o período de valores altos começa na pântada 36 e vai até a pântada 43. Já nas estações 2248029 (Botucatu – *c*), 2346287 (Cotia – *h*), 2347029 (Mairinque – *j*), o intervalo de tempo com valores altos da probabilidade começa mais tarde e é menor, sendo observado entre as pântadas 38 e 43.

Analisando a curva de 3 pântadas secas seguidas a uma pântada qualquer do ano, é possível notar que todas as estações apresentam valores entre 60 e 70 % no meio do ano. Entretanto, a estação 2345164 (São José dos Campos – *e*) chega a 73 % de probabilidade entre as pântadas 35 e 36, e as estações 2346025 (Arujá – *g*) e 2346287 (Cotia – *h*) têm valor máximo de 63 %. A partir de outubro, aproximadamente, a probabilidade dessa ocorrência não passa de 20 %, valor menor do que o encontrado no grupo D.

Figura 2.11: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes: (a) 2246022 (Monte Alegre do Sul), (b) 2246090 (Joanpolis), (c) 2248029 (Botucatu), (d) 2345023 (Redeno da Serra), (e) 2345164 (So Jos dos Campos), (f) 2346001 (Itatiba), (g) 2346025 (Aruj), (h) 2346287 (Cotia), (i) 2347014 (Porto Feliz), (j) 2347029 (Mairinque), (k) 2348004 (Bofete), (l) 2348017 (Angatuba). Continua.

Figura 2.11: Conclusão.

Com relação à probabilidade de 6 pêntadas secas seguidas, todas as estações deste grupo possuem valores oscilando entre 40 e 50 % no inverno, mas o comportamento desta linha é bastante diferente dentro deste grupo. Começando pela estação de Redenção da Serra (2345023 – *d*), os valores entre 40 e 50 % ocorrem entre as pêntadas 27 e 33, e novamente entre as pêntadas 39 e 42. Próxima a esta estação fica a estação 2345164 (*e*), em São José dos Campos, que tem o mesmo intervalo de valores entre as pêntadas 28 e 42. É importante

ressaltar que ambas as estações ficam no vale do Paraíba, o que pode ser o motivo de apresentarem um mesmo padrão. Já as estações de Monte Alegre do Sul (2246022 – *a*), Joanópolis (2246090 – *b*) e Itatiba (2346001 – *f*) começam mais tarde esse período de maiores valores de probabilidade, entre as pântadas 35 e 36, terminando também entre as pântadas 42 e 43. As demais estações apresentam um período muito curto de tempo para esses valores de probabilidade, com início entre as pântadas 38 e 42 e término entre 41 e 43.

f) Análise do grupo F

As estações que foram classificadas para o grupo *F* se encontram todas no norte paulista (Figura 2.12), uma das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado, sendo este o grupo que apresenta os maiores valores para todas as probabilidades.

Estação	Cidade
2047025	Orlândia
2047067	Ituverava
2048006	Guaíra
2048013	Guaraci
2048014	Olímpia
2048016	Barretos
2049004	Américo de Campos
2049018	Sebast. do Sul
2049033	Icém
2050012	Palmeiras D'Oeste
2050024	Fernandópolis
2150001	Araçatuba

Figura 2.12: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo *F*.

Observando os gráficos da Figura 2.13, nota-se que, para todas as estações, os valores máximos das probabilidades de 2 e 3 pântadas secas seguidas oscilam entre 80 e 90 %, e os máximos de 6 pântadas secas chegam a ou passam de 70 %. Analisando a linha de 2 pântadas secas seguidas, percebe-se que quase todas as estações têm o início de seu período de probabilidade entre 80 e 89 % entre as pântadas 30 e 31. A exceção fica por conta da estação 2047067 (Ituverava – *b*), que tem o início antes, na pântada 29, e da estação 2150001 (Araçatuba – *l*), que tem o início bem depois, na pântada 36. Apesar dessas diferenças, todas as estações coletoras desse grupo terminam esse período entre as pântadas 43 e 44. Apenas duas estações chegam a 90 %: a estação 2049018 (Sebastianópolis do Sul – *h*) tem seu valor

máximo desta probabilidade em 91 % na pântada 40, e a estação 2048006 (Guará – *c*) tem máximo de 90 % nas pântadas 40 e 41.

Figura 2.13: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2047025 (Orlândia), (b) 2047067 (Ituverava), (c) 2048006 (Guaíra), (d) 2048013 (Guaraci), (e) 2048014 (Olimpia), (f) 2048016 (Barretos), (g) 2049004 (Américo de Campos), (h) 2049018 (Sebast. do Sul), (i) 2049033 (Icém), (j) 2050012 (Palmeiras D'Oeste), (k) 2050024 (Fernandópolis), (l) 2150001 (Araçatuba). Continua.

Figura 2.13: Conclusão.

A curva de 3 pêntadas secas seguidas é mais diferenciada entre as estações deste grupo do que a linha de 2 pêntadas. Como já foi dito, todas as estações apresentam valores máximos entre 80 e 90 %, mas em épocas diferentes do ano. A estação de Palmeiras D'Oeste (2050012 – j), por exemplo, atinge este intervalo apenas entre as pêntadas 34 e 36, enquanto as estações de Araçatuba (2150001 – l) e Ituverava (2047067 – b) apresentam estes valores entre as pêntadas 38 e 42. Em Guaíra (2048006 – c), os valores entre 80 e 90 % são encontrados entre

as pântadas 36 e 43, enquanto que na estação de Guaraci (2048013 – *d*) este intervalo é observado entre as pântadas 30 e 39. Nas demais estações o período de valores mais altos começa entre as pântadas 31 e 33 e termina entre as pântadas 42 e 43.

Das doze estações deste grupo, apenas 4 apresentam valores de 6 pântadas secas seguidas acima de 70 %: Guaíra (*c* – 72 % nas pântadas 38 e 42), Olímpia (*e* – 76 % na pântada 33 e 73 % nas pântadas 41 e 42), Américo de Campos (*g* – 72 % nas pântadas 34 e 41) e Fernandópolis (*k* – 73 % nas pântadas 37 a 39). As demais estações chegam a 70 % pelo menos uma vez, todas durante o mês de julho.

Apesar de as probabilidades de períodos secos serem altas no inverno, o que favorece a maturação e a colheita da cana, é preciso dar atenção à época de crescimento da planta, na qual não podem ocorrer longos períodos sem chuva. No período entre as pântadas 33 e 43, os valores de probabilidade de 6 pântadas secas seguidas são altos e, apesar de a cana apresentar mecanismos de redução nas atividades fisiológicas durante período de estresse hídrico, um período tão longo quanto o de 6 pântadas sem chuva pode causar danos irreversíveis. Mas durante o verão, são observados valores semelhantes aos dos grupos anteriores: a partir de outubro os valores de probabilidade de ocorrerem 2 pântadas secas seguidas começam a ficar abaixo de 20 %.

Sendo assim, este é um grupo com condições favoráveis ao cultivo canavieiro por apresentar valores altos de probabilidade de períodos secos durante o inverno e baixos durante o verão.

g) Análise do grupo G

Apesar de as estações deste grupo apresentarem comportamento semelhante com relação aos valores de probabilidades, assim como no grupo *C* estas se encontram bastante espalhadas pelo Estado, com localizações no leste, no norte e no oeste paulistas, como podemos observar através da Figura 2.14. Aqui, a característica comum é que os valores máximos de probabilidade atingem o mesmo intervalo para todas as estações: variam entre 80 e 88 % para 2 pântadas secas seguidas, entre 70 e 80 % para 3 pântadas secas seguidas (com exceção da estação 2048019), e entre 60 e 68 % para 6 pântadas secas seguidas, como mostra a Figura 2.15.

Estação	Cidade
2047028	Altinópolis
2047029	Batatais
2048019	Jaborandi
2049028	Nipão
2049051	Cedral
2147013	Ribeirão Preto
2147022	Sta. Rosa do Viterbo
2148001	Pitangueiras
2148031	Itápolis
2149005	Mendonça
2149018	Lins
2151006	Monte Castelo
2246003	Aguaí
2246016	Lindóia
2247044	Rio das Pedras
2345062	Taubaté

Figura 2.14: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo G.

Os valores máximos de probabilidade de 2 pântadas secas seguidas se encontram entre as pântadas 36 e 42 para as estações 2149018 (Lins – *k*), 2151006 (Monte Castelo – *l*) e 2345062 (Taubaté – *p*). Nas estações 2246003 (Aguaí – *m*), 2246016 (Lindóia – *n*) e 2247044 (Rio das Pedras – *o*), o período de valores altos se encerra na mesma pântada, mas tem início depois, na pântada 39. Todas as outras estações têm esse período iniciado mais cedo, em torno da pântada 30, e também têm o seu encerramento até a pântada 43, aproximadamente. Vale a pena ressaltar nesse grupo, assim como no grupo F, que todas as estações possuem baixa probabilidade de veranicos no começo do ano, que é a época normal de plantio e crescimento da cana-de-açúcar.

A probabilidade de ocorrência de 3 pântadas secas seguidas segue o mesmo comportamento da linha de 2 pântadas para a maior parte das estações. Na estação 2048019, que fica em Jaborandi (*c*), o máximo desta probabilidade chega a 83 % entre as pântadas 39 e 42. Em todas as outras estações, o valor máximo varia de 70 a 80 %, e acontecem entre as pântadas 39 e 44 nas estações de Lindóia e Rio das Pedras (2246016 e 2247044, *n* e *o*, respectivamente), entre 35 e 42 em Taubaté e Lins (2149018 e 2345062, *p* e *k*, respectivamente), e entre 37 e 43 em Monte Castelo (2151006 – *l*). Nas demais estações, esse período de máximos começa entre as pântadas 29 e 30, atrasando um pouco em Itápolis (2148031 – *i*) e em Mendonça (2149005 – *j*) – ambas na pântada 32 – e termina entre as pântadas 43 e 44.

De todas as estações deste grupo, apenas duas apresentam um período maior que 3 pântadas com probabilidade de 6 pântadas secas seguidas maior que 60 %: a estação 2048019 (c), de Jaborandi (entre as pântadas 38 e 42), e a estação 2147022 (g), de Santa Rosa do Viterbo (entre as pântadas 36 e 43). Nas estações 2047028 (Altinópolis – a), 2147013 (Ribeirão Preto – f), 2148001 (Pitangueiras – h) e 2345062 (Taubaté – p), os valores máximos ocorrem entre as pântadas 39 e 42, e em 2049028 (Nipoã – d), entre 30 e 34 e entre 44 e 46. No restante das estações, apenas entre as pântadas 41 e 42 é que os valores desta curva ultrapassam os 60 %.

Figura 2.15: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas no período de 30 dias seguintes a uma determinada pântada do ano nas estações: (a) 2047028 (Altinópolis), (b) 2047029 (Batatais), (c) 2048019 (Jaborandi), (d) 2049028 (Nipoã), (e) 2049051 (Cedral), (f) 2147013 (Ribeirão Preto), (g) 2147022 (Sta. Rosa do Viterbo), (h) 2148001 (Pitangueiras), (i) 2148031 (Itápolis), (j) 2149005 (Mendonça), (k) 2149018 (Lins), (l) 2151006 (Mte. Castelo), (m) 2246003 (Aguaí), (n) 2246016 (Lindóia), (o) 2247044 (Rio das Pedras), (p) 2345062 (Taubaté). Continua.

Figura 2.15: Continuação.

Figura 2.15: Conclusão.

Apesar dos altos valores de probabilidade durante o inverno, este grupo também apresenta baixos valores de probabilidade durante o verão. A partir da pênstada 50 (setembro), a curva de 3 pênstadas secas seguidas fica abaixo de 30 % e cai rapidamente, ficando abaixo de 20 % já em outubro. Sendo assim, pode-se concluir que este também é um grupo favorável ao cultivo da cana-de-açúcar.

h) Análise do grupo H

As estações deste grupo se encontram na faixa central do Estado de São Paulo, entre as latitudes 21° e 23° S (Figura 2.16). Apresentam valores de probabilidade parecidos com o grupo anterior: os máximos ficam entre 80 e 85 % para 2 pêntadas secas seguidas e entre 70 e 80 % para 3 pêntadas secas seguidas em todas as estações. A diferença se encontra na linha de 6 pêntadas seguidas, que não passa de 61 % neste grupo, conforme pode ser observado na Figura 2.17.

Estação	Cidade
2147043	Descalvado
2147073	Casa Branca
2148041	Araraquara
2148061	Araraquara
2148106	Cândido Rodrigues
2149007	Barbosa
2149021	Cafelândia
2150010	Araçatuba
2150026	Alto Alegre
2150029	Getulina
2247005	Leme
2247011	Araras
2248009	Dourado
2248045	Torrinha

Figura 2.16: Disposição e relação das estações pluviométricas do grupo H.

Das 14 estações que compõem este grupo, apenas 4 apresentam os máximos valores de probabilidade durante mais de 3 pêntadas: 2147043 (Descalvado – a), 2148041 (Araraquara – c), 2148106 (Cândido Rodrigues – e) e 2149007 (Barbosa – f). Nestas localidades, os máximos de probabilidade de 2 e 3 pêntadas secas seguidas acontece no mesmo período (entre as pêntadas 32 e 42): a probabilidade de não chover durante 2 pêntadas seguidas a uma determinada pêntada do ano varia de 80 a 84 %, e a de 3 pêntadas, de 70 a 78 %. Já a curva de 6 pêntadas secas seguidas é diferente entre essas estações. Nas estações 2148106 e 2149007, as probabilidades variam entre 50 e 61 % entre as pêntadas 31 e 42, e 32 e 43, respectivamente. A estação 2147043 possui o mesmo intervalo de valores entre as pêntadas 36 e 42, atingindo 61 % também na pêntada 29. Por fim, a estação 2148041 (Araraquara) apresenta valores entre 50 e 61 % apenas 3 vezes no ano: nas pêntadas 36, 38 e 41.

As estações 2150026 (Alto Alegre – i) e 2150029 (Getulina – j) possuem comportamento bastante semelhante entre si. Ambas apresentam valores máximos de

probabilidade nos mesmos períodos. A probabilidade de 2 pêntadas secas seguidas varia entre 80 e 83 % entre as pêntadas 37 e 41; a de 3 pêntadas varia de 70 a 78 % entre as pêntadas 35 e 42; o intervalo de máximos (50 a 61 %) para 6 pêntadas começa na pêntada 36 e termina na pêntada 42 na estação 2150026 e na pêntada 43 para a 2150029.

Outras duas estações que apresentam comportamento semelhante quanto às linhas de 2 e 3 pêntadas secas seguidas são 2248009 (Dourado – *m*) e 2248045 (Torrinha – *n*). Seus máximos ficam entre 80 e 82 % apenas nas pêntadas 40 e 41, e entre 70 e 75 % entre as pêntadas 39 e 42, respectivamente. Entretanto, os máximos da probabilidade de 6 pêntadas seguidas são diferentes. Na estação 2248009, o intervalo vai de 50 a 58 %, e na 2248045, vai de 50 a 61 %. Apesar disso, esses intervalos acontecem entre as pêntadas 41 e 43 nas duas estações.

As demais estações deste grupo apresentam curvas diferentes de probabilidades. As estações 2150010 (Araçatuba – *h*) e 2247005 (Leme – *k*) possuem valores máximos de 2 e 3 pêntadas secas seguidas (80 a 85 % e 70 a 79 %, respectivamente) começando na pêntada 33 e terminando na pêntada 43, aproximadamente. Já suas linhas de 6 pêntadas secas seguidas são bem diferentes. A da estação 2150010 nem chega a 60 %, e a da 2247005 oscila entre 50 e 61 % nas pêntadas 41, 42 e 43. Na estação 2148061 (Araraquara – *d*), os máximos de 2 e 3 pêntadas secas seguidas acontecem nos períodos 33 a 42, oscilando entre 78 e 83 % e entre 67 e 76 %, respectivamente. Para a curva de 6 pêntadas secas seguidas, o máximo não passa de 52 % (pêntadas 32 a 36, 38, 41 e 42).

As três estações restantes [2147073 (Casa Branca – *b*), 2149021 (Cafelândia – *g*) e 2247011 (Araras – *l*)] apresentam o seguinte comportamento: máximos de 2 pêntadas secas seguidas entre 80 e 85 %, de 3 pêntadas entre 70 e 77 %, e de 6 pêntadas entre 60 e 68 %, todos acontecendo no período que vai das pêntadas 38-40 até 41-42.

De forma geral, este grupo possui valores máximos de probabilidade acontecendo ao longo do mês de julho, com valores atingindo 70 % já a partir da segunda quinzena do mês de maio. Mesmo assim, durante os meses de verão, as probabilidades de veranicos não passam de 20 %.

Figura 2.17: Probabilidades de ocorrerem 2, 3 e 6 pntadas secas seguidas no perodo de 30 dias seguintes a uma determinada pntada do ano nas estaes: (a) 2147043 (Descalvado), (b) 2147073 (Casa Branca), (c) 2148041 (Araraquara), (d) 2148061 (Araraquara), (e) 2148106 (Cndido Rodrigues), (f) 2149007 (Barbosa), (g) 2149021 (Cafelndia), (h) 2150010 (Araatuba), (i) 2150026 (Alto Alegre), (j) 2150029 (Getulina), (k) 2247005 (Leme), (l) 2247011 (Araras), (m) 2248009 (Dourado), (n) 2248045 (Torrinha). Continua.

Figura 2.17: Continuação.

Figura 2.17: Conclusão.

Com base nesses resultados, é possível dizer que as estações que ficam no centro-norte e centro-oeste paulistas são as que apresentam melhores condições pluviométricas para o cultivo da cana-de-açúcar, tendo em vista época de chuva e de seca bem definidas. Existe entre 70 e 90 % de probabilidade de não chover no inverno, condição necessária para que a planta amadureça e acumule açúcar, além de favorecer a colheita. Já no verão, os valores de probabilidade ficam abaixo de 20 % entre novembro e fevereiro, que normalmente corresponde ao período de máximo crescimento da cana planta e crescimento das socas.

Estes resultados concordam com o zoneamento agroclimático da cana-de-açúcar, publicado pelas Secretarias de Agricultura e do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo (Figura 2.18), que mostra que as áreas do sul e leste paulistas realmente são inaptas ao cultivo canavieiro.

Figura 2.18: Aptidão edafoclimática para cultura da cana-de-açúcar (restrição de solo e/ou clima). Adaptado de IAC.

CAPÍTULO III: CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS ASSOCIADAS A VERANICOS

Conforme mencionado nos capítulos anteriores, a falta de chuva pode provocar prejuízos na plantação de cana-de-açúcar, principalmente se esta acontecer dentro da estação chuvosa. Para auxiliar na previsão destes períodos secos dentro da estação chuvosa, doravante tratados como veranicos, e evitar que eles causem quebras na produção, neste capítulo serão analisados os campos atmosféricos globais dos períodos em que ocorreram estes veranicos, com o objetivo de tentar identificar padrões associados a eles.

3.1. Determinação de regiões homogêneas quanto ao regime pluviométrico

Para entender o regime de precipitação do Estado de São Paulo, foram determinadas regiões com padrões de precipitação semelhantes. Para isso, os dados pentadais das 93 estações foram submetidas a uma Análise de Cluster, técnica multivariada que agrupa elementos de características semelhantes segundo certo critério (CARDOSO; SILVA DIAS, 2004).

A análise de cluster é uma técnica usada na identificação de grupos homogêneos baseada em características selecionadas. Seu objetivo é agrupar informações dentro de grupos sucessivamente maiores, utilizando medidas de similaridade ou distância (FREITAS, 1998). Os objetos começam a ser classificados em grupos (*clusters*) individuais, e em seguida diminui-se o limite para o critério de classificação até que todos os objetos sejam colocados no mesmo *cluster*. Neste trabalho foi usada a análise de agrupamento baseada nas distâncias euclidianas entre os pontos, que são simplesmente as distâncias geométricas em um espaço multidimensional. O uso da distância euclidiana é sugerido para fornecer dissimilaridades entre variáveis quantitativas e com mesma unidade (JOLLIFFE, 1986). Para determinar quando dois *clusters* são suficientemente similares para serem colocados juntos, utilizou-se o método de *Ward*, que é baseado em uma análise aproximada da variância para avaliar as distâncias entre os *clusters* (FREITAS, 1998).

Para identificar o estágio da análise que apresenta a quantidade de grupos mais adequada é necessário encontrar o nível de parada. Segundo Cardoso e Silva Dias (2004), isto pode ser feito analisando o gráfico das distâncias entre os grupos. Quando o processo de

agrupamento é iniciado, grupos semelhantes são separados por pequenas distâncias. Ao longo do processo essa distância aumenta e o número de *clusters* diminui. Assim, no ponto onde ocorre uma alteração evidente na distância entre os *clusters*, a separação é considerada suficiente e define-se a quantidade de grupos resultante da análise. Neste trabalho, este resultado é mostrado na Figura 3.1. A linha vermelha representa a distância de ligação escolhida para o corte. Podemos notar que, após o primeiro salto significativo entre as distâncias, existem cinco valores relevantes (n), indicados pelos círculos azuis. O número de regiões homogêneas é igual ao número de valores de distâncias relevantes mais um ($n+1$), resultando, portanto, em 6 regiões homogêneas. Na Figura 3.2, o dendrograma calculado pelo método de *Ward* mostra as estações coletoras separadas dentro dos 6 *clusters* finais.

Figura 3.1: Gráfico das distâncias euclidianas entre os *clusters* (círculos azuis) e a distância de corte para determinação das regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação.

Figura 3.2: Dendrograma com as seis regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação, obtido com a técnica das distâncias euclidianas e com o método de *Ward*.

Sendo assim, a Figura 3.3 mostra a separação espacial aproximada das seis regiões homogêneas quanto ao regime de precipitação, obtidas pela Análise de Cluster.

Figura 3.3: Regiões homogêneas quanto à precipitação, obtidas com dados pentadais através da Análise de Cluster.

Depois de determinadas essas regiões, foram obtidas séries médias suavizadas representativas de cada uma delas da mesma maneira que em Freitas (1998):

- 1) Foram calculadas as precipitações médias para cada pêntrada do ano ao longo dos 33 anos de dados (73 valores);
- 2) Para evitar problemas de fronteira, os quatro primeiros valores médios foram colocados no final da série e os quatro últimos, no começo (81 valores);
- 3) Calcularam-se as medianas móveis de 5 elementos das séries, obtidas através da ordenação crescente de cada conjunto de 5 valores, sendo o terceiro valor equivalente à mediana (77 valores);
- 4) De maneira semelhante, calcularam-se as medianas móveis de 3 elementos dessa nova série (75 valores);
- 5) Por fim, foi feita uma suavização da série através da aplicação do Filtro de Hann (73 valores), com o objetivo de atribuir um peso maior ao valor central:

$$P(k) = \frac{S(k-1)}{4} + \frac{S(k)}{2} + \frac{S(k+1)}{4} \quad (3)$$

Assim foram obtidas as séries médias suavizadas para cada região homogênea, apresentadas na Figura 3.4

Figura 3.4: Comparação entre as séries médias e as séries suavizadas obtidas para cada região homogênea.

Como o interesse deste trabalho são áreas produtoras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, a partir deste ponto serão estudadas apenas as regiões 3, 4, 5 e 6, já que não há plantação de cana nas regiões 1 e 2 (sul e leste paulistas), conforme mostra o mapa da área de produção da safra 2009/2010 do Projeto CANASAT (Figura 3.5).

Figura 3.5: Área da produção de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo na safra 2009/2010. Fonte: Projeto CANASAT.

3.2. Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa

Em seguida, foram determinadas as datas de início e fim da estação chuvosa nas diferentes regiões homogêneas obtidas para o Estado de São Paulo. São vários os métodos que podem ser usados para essa definição. Virmani (1975), citado em Freitas (1998), e Marengo et al. (2001) utilizaram a precipitação acumulada com base em um certo valor limiar. Outros autores escolheram usar uma data de referência para o início das chuvas, além do valor limite de precipitação acumulada. Por exemplo, Sansigolo (1989) determinou o início da estação chuvosa como sendo o primeiro dia após 01 de setembro com 20 mm acumulados em 1 ou 2 dias consecutivos e condicionados à não ocorrência de 10 dias secos nos 30 dias seguintes. O fim das chuvas também acontecia após uma data de referência (30 de janeiro). Usando dados diários de 1940 a 1985, o autor verificou que, em média, a estação chuvosa começa entre os dias 27 de setembro e 12 de outubro (pêntadas 51 a 54), com desvio de 3 dias, e termina no dia 04 de março (pêntada 13), com desvio de 5 dias.

Sugahara (1991) e D'Almeida (1997), além de se basearem em um valor limite de precipitação, também definiram uma data de referência para o início da estação chuvosa: a partir da pêntada 37, que está dentro da estação seca. A pêntada de início seria a primeira na qual ocorresse precipitação média maior ou igual a 2 mm/dia (10 mm na pêntada), e que não fosse seguida por uma sequência de 3 pêntadas com precipitação média menor ou igual a 3 mm/dia. O fim da estação chuvosa foi determinado de maneira semelhante. A diferença destes estudos para os demais é que os autores calcularam o início e o fim da estação chuvosa para cada ano, enquanto os outros estudos fizeram uma média para todos os anos. Para efeito de comparação, foi feita a média para o período estudado por eles. D'Almeida encontrou o início

na pântada 55 (± 6) e o fim, na pântada 23 (± 5), para o período 1972 – 1992. Sugahara, para o período 1971 – 1988, obteve início em 52 (± 7) e fim em 23 (± 5).

Kousky (1988), por outro lado, optou por usar dados de radiação de onda longa emergente (ROLE) de 1979 a 1982, usando o valor limite de 240 W m^{-2} como discriminante de precipitação convectiva. O autor encontrou que a estação chuvosa começa entre as pântadas 51 e 54 desde Mato Grosso até São Paulo, e termina entre as pântadas 15 a 21, período que corresponde de meados de março a meados de abril.

Mais recentemente, Alves et al. (2005) calcularam o início da estação chuvosa utilizando tanto dados de precipitação acumulada (também com data de referência para início na pântada 37) como dados de ROLE, fazendo uma comparação entre os resultados obtidos com cada método. Os autores explicaram que o limite de 240 W m^{-2} foi usado por ser um valor que mais se aproxima da transição entre o período seco e o chuvoso, de acordo com a climatologia de ROLE usada (1979 – 2000). Para o Estado de São Paulo, encontraram o início da estação chuvosa na pântada 57 com dados de precipitação e na pântada 56 com os campos de ROLE (desvio de ± 2 pântadas).

No presente estudo, os critérios para as datas de início e fim da estação chuvosa foram definidas como em Freitas (1998), que calculou os valores dos percentis através da aplicação da distribuição Gama nas séries médias suavizadas, obtidas para o Paraná. Entretanto, para evitar alarmes falsos, foi adicionada uma data de referência, a partir da qual a estação chuvosa poderia começar ou terminar. Apesar disso, os percentis foram calculados com as séries inteiras, para o ano todo e não só a partir da data de referência. Sendo assim, os critérios para a data de início neste estudo são:

- a) A primeira ocorrência, a partir de agosto, de pântada com precipitação maior ou igual ao percentil 5 da distribuição Gama, obtido da ordenação das precipitações médias suavizadas para o ano todo;
- b) A condição (a) deve ser seguida pela ocorrência de um conjunto de três pântadas consecutivas cuja média das precipitações é maior que o valor correspondente ao percentil 15.

Para a data de fim da estação chuvosa, os critérios são:

- a) A primeira ocorrência, a partir de março, de um conjunto de três pântadas consecutivas cuja média das precipitações é menor ou igual ao valor correspondente ao percentil 15. Nesse caso, a primeira das três pântadas será o final da estação chuvosa;
- b) A condição (a) deve ser seguida por um conjunto de três pântadas consecutivas cuja média das precipitações é menor que o valor correspondente ao percentil 5.

A Tabela 3.1 mostra os percentis e seus respectivos valores de precipitação para as regiões homogêneas de interesse.

Tabela 3.1: Valores dos percentis 5 e 15 e seus respectivos valores de precipitação para as regiões 3, 4, 5 e 6, em milímetros.

Percentil	Região 3	Região 4	Região 5	Região 6
5	7,3	4,8	5,4	3,7
15	9,6	6,8	7,5	5,9

As datas de referência para início e fim da estação chuvosa foram definidas através da análise de possíveis inícios e fins, que haviam sido calculados anteriormente, sem o critério da data de referência. Os meses de agosto e março foram escolhidos por não excluírem nenhuma possível data de início e fim. Na Tabela 3.2 estão as pântadas de início e fim da estação chuvosa de cada ano nas regiões homogêneas, bem como as médias para o Estado de São Paulo.

Tabela 3.2: Pântadas de início e fim da estação chuvosa nas regiões 3, 4, 5 e 6, e médias para o Estado de São Paulo em cada ano. Continua.

Estação chuvosa	Região 3		Região 4		Região 5		Região 6		Estado SP	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
1971/72	54	20	54	20	51	20	54	20	53	20
1972/73	47	22	48	29	44	30	54	29	48	28
1973/74	48	20	56	20	54	18	54	22	53	20
1974/75	54	21	55	13	54	22	55	22	55	20
1975/76	54	17	54	22	54	17	54	22	54	20
1976/77	44	22	44	23	44	21	45	23	44	22
1977/78	50	19	49	15	50	19	51	18	50	18
1978/79	50	20	58	20	50	20	50	20	52	20
1979/80	45	22	45	22	48	22	48	22	47	22
1980/81	51	25	52	25	51	17	52	19	52	22
1981/82	54	17	54	22	56	22	54	22	55	21
1982/83	55	37	55	34	55	33	55	32	55	34
1983/84	50	28	50	15	50	28	50	28	50	25
1984/85	53	25	44	25	51	25	44	23	48	25
1985/86	49	30	49	22	61	19	60	18	55	22
1986/77	45	36	46	15	46	15	46	29	46	24
1987/88	51	17	51	17	51	31	51	23	51	22
1988/89	57	20	56	22	57	19	56	21	57	21
1989/90	47	29	47	28	47	28	47	28	47	28
1990/91	46	28	46	28	46	23	46	27	46	27
1991/92	54	30	53	29	55	30	53	28	54	29
1992/93	47	21	50	27	47	23	47	21	48	23

Tabela 3.2: Conclusão.

Estação chuvosa	Região 3		Região 4		Região 5		Região 6		Estado SP	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
1993/94	48	23	51	22	46	23	51	23	49	23
1994/95	56	27	58	27	59	22	59	21	58	24
1995/96	53	21	53	23	53	17	53	23	53	21
1996/97	50	14	50	15	50	15	50	19	50	16
1997/98	47	26	52	26	52	26	52	26	51	26
1998/99	44	27	50	22	44	27	44	27	46	26
1999/2000	51	18	51	19	59	18	51	19	53	19
2000/01	46	19	46	20	46	19	46	20	46	20
2001/02	47	18	47	19	52	18	49	18	49	18
2002/03	49	25	50	22	49	23	50	26	50	24
Média	50	23	51	22	51	22	51	23	51	23
Desvio	4	5	4	5	5	5	4	4	4	5

Analisando a tabela 3.2, é possível perceber variações interanuais no início e fim da estação chuvosa entre as regiões, provavelmente devido a oscilações na TSM do oceano Pacífico, como sugeriram Alves et al. (2005), e aos fenômenos associados à estas (El Niño/La Niña), segundo Minuzzi et al. (2007), conforme visto anteriormente. Entretanto, de maneira geral, a média das pântadas de início obtidas neste estudo para as diferentes regiões de São Paulo varia entre 50 e 51 (setembro), e as de fim, entre 22 e 23 (abril), com desvio de 4 a 5 pântadas. No capítulo IV (seção 4.5 b) são apresentadas análises sobre a evolução das datas de início e fim e da duração da estação chuvosa ao longo do período disponível.

Comparando esses resultados com os obtidos pelos autores citados anteriormente (Tabela 3.3), nota-se que as datas de início da estação chuvosa são bastante semelhantes àquelas obtidas por Sansigolo (1989), Sugahara (1991) e Kousky (1988). D'Almeida (1997) e Alves et al. (2005) obtiveram inícios mais tardios, mas considerando os desvios padrão ainda se encontram muito próximos dos valores obtidos por esses autores.

Tabela 3.3: Relação dos autores e das datas de início e fim da estação chuvosa.

Autor	Início	Fim
Sansigolo	51 a 54 (± 3)	13 (± 1)
Sugahara	52 (± 7)	23 (± 5)
D'Almeida	55 (± 6)	23 (± 5)
Kousky	51 a 54	15 a 21
Alves et al.	57 (± 2)	-
Este trabalho	51 (± 4)	23 (± 5)

Para o fim da estação chuvosa, o resultado deste trabalho é idêntico ao encontrado por Sugahara (1991) e D'Almeida (1997), compatível com o encontrado por Kousky (1988) se considerados os desvios, e diferente do obtido por Sansigolo (1989), que obteve um fim precoce da época de chuvas se comparado aos demais autores.

Como já foi visto anteriormente, alguns estudos (ALVES et al., 2005; MINUZZI et al., 2007) relacionaram o início e fim da estação chuvosa com os eventos de El Niño e La Niña, concluindo que em anos de anomalias positivas (negativas) de TSM, ou seja, anos de El Niño (La Niña), a estação chuvosa parece começar mais cedo (tarde). De forma a comparar esses resultados com os obtidos neste trabalho, foram consultadas fontes diferentes sobre anos de ocorrência de El Niño e La Niña. Esse procedimento foi adotado porque não existe uma regra geral para determinação destes eventos, ou seja, cada centro de pesquisa adota seus próprios critérios. Foram comparados os trabalhos de Grimm, Barros e Doyle (2000), Minuzzi et al. (2007), Cunha (1999), e os dados de anomalia de TSM fornecidos pelo *Climate Prediction Center / National Oceanic and Atmospheric Administration* (CPC/NOAA). O critério para definição dos anos de El Niño e La Niña neste trabalho foi: se três opiniões fossem iguais, então o evento em questão prevaleceria. Assim, a conclusão sobre a ocorrência ou não dos fenômenos El Niño/La Niña nos anos estudados neste trabalho é apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Estações chuvosas deste trabalho e a ocorrência ou não de El Niño/La Niña.

Estação chuvosa	Conclusão	Estação chuvosa	Conclusão
1971/72	La Niña fraca	1987/88	El Niño moderado
1972/73	El Niño forte	1988/89	La Niña forte
1973/74	La Niña forte	1989/90	Neutro
1974/75	Neutro	1990/91	El Niño forte
1975/76	La Niña forte	1991/92	El Niño forte
1976/77	El Niño moderado	1992/93	El Niño forte
1977/78	El Niño fraco	1993/94	El Niño moderado
1978/79	Neutro	1994/95	El Niño moderado
1979/80	Neutro	1995/96	La Niña fraca
1980/81	Neutro	1996/97	Neutro
1981/82	Neutro	1997/98	El Niño forte
1982/83	El Niño forte	1998/99	La Niña moderada
1983/84	Neutro	1999/2000	La Niña moderada
1984/85	Neutro	2000/01	La Niña fraca
1985/86	Neutro	2001/02	Neutro
1986/87	El Niño moderado	2002/03	El Niño moderado

Comparando a Tabela 3.4 com a Tabela 3.2, é possível notar que a maioria dos anos de La Niña de fato apresentou atraso no início da estação chuvosa em São Paulo. Apenas as estações chuvosas de 1998/99 e 2000/01 foram exceções, sendo anos de La Niña coincidentes com início antecipado da estação chuvosa. Já os anos de El Niño apresentam resultados bem variados. Em alguns anos o fenômeno realmente parece ter contribuído para a antecipação do início da estação chuvosa (1972, 1976, 1986, 1992, 1993), mas também foram observados anos em que houve atrasos, a mesma consequência da La Niña, como por exemplo, 1982, 1991 e 1994, e anos em que o El Niño pareceu não modular o início da época de chuvas, como nos anos de 1987 e 1997.

Considerando o fim da estação chuvosa, a Tabela 3.2 mostra que também existe uma grande variabilidade interanual nas datas, nas diferentes regiões. Neste caso, o verão que mais chama a atenção é o de 1982/83, que teve atraso no fim da estação chuvosa em todas as regiões. Nesse ano, segundo o consenso apresentado na Tabela 3.4, o oceano Pacífico apresentava características de El Niño forte. Por outro lado, o verão de 1987/88 foi de El Niño moderado, mas apresentou um fim precoce da estação chuvosa nas regiões 3, 4 e 5. Aparentemente a região 6 não foi afetada pelo fenômeno. O verão de 1996/97 também acabou mais cedo, mas foi um ano de neutralidade na TSM do Pacífico. Os verões sob influência da La Niña não apresentaram atrasos ou antecipações no fim da estação chuvosa. Dessa forma, através deste estudo, é possível dizer que os fenômenos relacionados a anomalias na TSM do oceano Pacífico não tiveram influências sobre as datas de fim da estação chuvosa no Estado de São Paulo.

Outra comparação com anos de El Niño e La Niña foi feita analisando os anos em que ocorreram reduções na produção de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Os valores da produção de cada ano, fornecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, foram subtraídos do ano anterior para a determinação da redução. O gráfico da Figura 3.6 mostra a produção paulista de cana-de-açúcar no período 1971 – 2003, e a Tabela 3.5 relaciona os anos com redução e a porcentagem da produção que foi perdida, além de apresentar a ocorrência ou não dos fenômenos El Niño/La Niña no ano da safra e no anterior à mesma.

Ao comparar a Tabela 3.5 com a Tabela 3.4, foi possível perceber que as três maiores reduções de safras (1975/76, 1988/89 e 2000/01) aconteceram em anos que tiveram influência da La Niña. Entretanto, é difícil afirmar que o fenômeno tenha sido responsável pela quebra da safra, uma vez que há uma grande quantidade de fatores que podem provocar uma

diminuição da produção (pragas/doenças, eventos extremos de precipitação/seca, redução da área plantada/colhida, entre outros).

Figura 3.6: Produção de cana-de-açúcar em São Paulo entre 1971 e 2003. Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 3.5: Safras com redução, respectivas porcentagens e ocorrência ou não de El Niño/La Niña no ano safra e no ano anterior à safra.

Safra com quebra	Quebra (%)	Estação chuvosa	Evento / intensidade
1974/75	6,8	1973/74	La Niña forte
		1974/75	Neutro
1975/76	12,8	1974/75	Neutro
		1975/76	La Niña forte
1978/79	1,5	1977/78	El Niño fraco
		1978/79	Neutro
1981/82	3,1	1980/81	Neutro
		1981/82	Neutro
1986/87	6,5	1985/86	La Niña fraca
		1986/87	El Niño moderado
1988/89	17,0	1987/88	El Niño moderado
		1988/89	La Niña forte
1990/91	0,0	1989/90	Neutro
		1990/91	El Niño forte
1992/93	2,5	1991/92	El Niño forte
		1992/93	El Niño forte
1993/94	7,6	1992/93	El Niño forte
		1993/94	El Niño moderado
1999/2000	0,9	1998/99	La Niña moderada
		1999/2000	La Niña moderada
2000/01	25,4	1999/2000	La Niña moderada
		2000/01	La Niña fraca

3.3. Seleção dos veranicos

Uma vez determinadas as regiões homogêneas e as datas de início e fim da estação chuvosa, foram selecionados os veranicos que aconteceram em cada estação chuvosa, em cada região, para a obtenção de campos médios de algumas variáveis atmosféricas. Foram construídos campos médios para as 3 pântadas anteriores e para a pântada que define o início de cada veranico (*lags* -3, -2, -1, 0), para cada região de interesse. Para a seleção dos veranicos, foram analisados os períodos com pelo menos de 3 pântadas secas seguidas (segundo os valores limitantes ao cultivo da cana-de-açúcar), que não fossem precedidas de pântadas secas, ou seja, os *lags* -3, -2 e -1 não poderiam ser constituídos por pântada com chuva menor de 12,5 mm, de modo a evitar que o *lag* -1 de um veranico coincidissem com o *lag* 0 de outro, por exemplo. O período mínimo de 3 pântadas foi escolhido porque sabemos, pela seção 1.1, que a cana pode ficar sem água durante um certo período sem que haja danos irreversíveis. É importante ressaltar que esses campos médios foram construídos independentemente da pântada à qual pertenciam os *lags* iniciais, ou seja, o *lag* 0 de um veranico que ocorreu na pântada 51, o *lag* 0 de um veranico que ocorreu na pântada 02 e o *lag* 0 de um veranico que ocorreu na pântada 14, por exemplo, foram utilizados para a obtenção do *lag* 0 médio. A Tabela 3.6 mostra os veranicos (*lags* 0) selecionados para a obtenção dos campos médios, para cada região. Através desta tabela, é possível perceber que nem sempre os veranicos ocorrem de maneira homogênea dentro do Estado. Algumas vezes a falta de chuva é generalizada, como ocorreu na pântada 06 do ano de 1990; outras vezes o início do veranico é defasado entre as regiões, como o caso de 1984, que começou na pântada 55 na região 5 e na pântada 60 na região 6.

Tabela 3.6: Veranicos selecionados para a construção dos campos médios em cada região. Continua.

Região 3	Região 4	Região 5	Região 6
04 / 1971	69 / 1972	18 / 1974	05 / 1971
69 / 1972	09 / 1977	14 / 1975	11 / 1973
06 / 1973	56 / 1977	08 / 1977	13 / 1975
57 / 1974	18 / 1982	05 / 1978	08 / 1977
10 / 1977	55 / 1983	15 / 1978	60 / 1984
53 / 1978	51 / 1985	53 / 1978	49 / 1986
02 / 1979	49 / 1986	02 / 1979	57 / 1987
71 / 1979	53 / 1989	55 / 1979	62 / 1988
54 / 1980	06 / 1990	54 / 1980	06 / 1990
55 / 1983	19 / 1991	18 / 1982	09 / 1992

Tabela 3.6: Conclusão.

Região 3	Região 4	Região 5	Região 6
02 / 1984	72 / 1992	55 / 1984	55 / 1993
53 / 1989	52 / 1996	49 / 1986	52 / 1996
06 / 1990		53 / 1989	16 / 1999
09 / 1992		06 / 1990	53 / 2000
12 / 1993		56 / 1993	
57 / 1993		52 / 1996	
21 / 1998		61 / 1997	
53 / 2000		47 / 1998	
11 / 2001		66 / 1999	
13 / 2002		53 / 2000	
		13 / 2002	
		55 / 2002	

É importante lembrar que o fato de os veranicos selecionados terem acabado em 1996 na região 4 não significa que não houve veranicos de 1997 em diante, mas que não houve veranicos que obedeciam aos critérios citados anteriormente (mínimo de 3 pêntadas secas seguidas precedidas de 3 pêntadas não secas).

3.4. Análise dos campos atmosféricos associados aos veranicos

Depois de selecionados os veranicos, foram identificados padrões nos campos atmosféricos que aconteceram durante e previamente a essas situações desfavoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar. Para isso foram usados os seguintes campos meteorológicos, obtidos das Reanálises do *National Centers for Environmental Prediction*, fornecidos pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCEP – NCAR): vento horizontal nos níveis de 850 e 200 hPa, divergência de massa em 200 hPa, pressão ao nível médio do mar (PNMM) e radiação de onda longa emergente (ROLE), todos com espaçamento de grade de $2,5^\circ \times 2,5^\circ$. Todos os dados eram constituídos de médias diárias, que foram transformadas em médias de 5 dias para a construção de composições. Foram construídas também anomalias das variáveis, através da remoção da climatologia dos dados observados (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2002). A climatologia de cada variável meteorológica é dada pela média de cada pêntada do ano. É importante ressaltar que nas Reanálises do NCEP – NCAR não existem informações sobre ROLE no ano de 1978.

Para verificar a viabilidade do uso desses campos médios na previsão de períodos secos, os mesmos foram comparados com períodos secos que aconteceram em anos de quebra na produção canavieira, ou seja, eventos que podem ter contribuído para a redução da safra.

Como um exemplo, serão mostrados neste trabalho os campos médios da região 6, por ser a região com maior produção do Estado de São Paulo (Figura 3.3 e Figura 3.5), e como comparação será usado o período de veranico que ocorreu na estação chuvosa de 1986. Este caso foi escolhido porque choveu pouco nas quatro regiões homogêneas de interesse entre as pântadas 49 e 52, mas na região 6 o período seco se prolongou até a pântada 58. Na comparação entre os campos durante a ocorrência do evento, *lag* 0, será usada apenas a primeira pântada do veranico para comparar com o campo médio (indicada nas figuras pelo índice "*lag* 0.1"), já que os veranicos selecionados são compostos de pelo menos 3 pântadas secas seguidas. É importante destacar que as escalas das variáveis meteorológicas nos campos médios são diferentes dos campos observados.

Analisando os campos médios (painéis da esquerda) de divergência de massa em 200 hPa (Figura 3.7), vemos no *lag* -3 um trem de ondas na região central do oceano Pacífico, além de áreas bastante divergentes na Indonésia, a leste da Índia e na Amazônia. No *lag* -2 esse trem de ondas não é tão bem configurado, mas as áreas de divergência sobre o leste da Índia e a Amazônia permanecem. Além disso, uma área de valores negativos aparece sobre o Nordeste brasileiro. No *lag* -1 esse dipolo Amazônia – Nordeste continua presente e o trem de ondas sobre o Pacífico central aparece novamente. Finalmente no *lag* 0 é possível observar outro dipolo, agora no Sul – Sudeste do Brasil. Analisando toda essa evolução, é possível perceber que sobre a Índia e a Austrália sempre são observados valores negativos de divergência de massa, enquanto que sobre a Indonésia são observados valores positivos. Também é importante notar que o trem de ondas do Pacífico se move muito pouco ao longo dos 15 dias analisados. Comparando esses campos médios com o caso de 1986 (painéis da direita), logo são notadas as mesmas características observadas no *lag* -3: o trem de ondas sobre o oceano Pacífico, os valores positivos de divergência de massa sobre a Amazônia e a Indonésia, e os valores negativos sobre o oeste e norte da Austrália. No *lag* -2 a diferença mais notável entre o campo observado e o campo médio é que no campo observado o trem de ondas no Pacífico permanece. Analisando outros casos de veranicos (não mostrados) foi possível perceber que esse trem de ondas apresentou variações em sua posição no *lag* -2, e por isso não foi possível observá-lo no campo médio. Também são vistos nesse *lag* os valores negativos sobre o Nordeste brasileiro.

Figura 3.7: Composição da divergência de massa em 200 hPa (10^{-5} s^{-1}), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos lags -3, -2, 1 e 0.

No *lag* -1 também existe uma diferença entre os campos médio e observado: o trem de ondas no Pacífico está um pouco mais para sul no caso de 1986 do que no campo médio, mas as outras características observadas no campo médio também podem ser vistas no campo observado. Por fim, no *lag* 0, também existe uma semelhança muito grande entre os dois campos: notam-se a área de valores positivos sobre a Indonésia, valores negativos sobre a Austrália e o dipolo no sudeste da América do Sul.

Com relação à anomalia de ROLE (Figura 3.8), nota-se no *lag* -3 um dipolo no Pacífico oeste, tanto no campo médio quanto no campo observado em 1986, com aumento da convecção na Austrália e supressão no oceano, a nordeste do País (em torno de 10° S). É possível ver também outro dipolo na América do Sul, com supressão de convecção na Argentina e aumento no centro-sul do Brasil no campo observado, e um pouco deslocado para leste no campo médio. No *lag* -2 as semelhanças entre os campos não são tão evidentes. É possível observar nos dois campos a supressão de convecção sobre o sul da Índia, aumento da convecção no Sudeste do Brasil e um dipolo no sul da América do Sul, que no campo observado se encontra deslocado para sul com relação ao campo médio. Entretanto, um padrão nítido de trens de onda no Pacífico, no campo observado, não aparece no campo médio. O núcleo negativo mais intenso no campo observado, entre 150° W e 120° W, pode estar ligado à presença da Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). Esta característica meteorológica aparece bem marcada no *lag* -1 do campo observado e de modo não muito nítido no campo médio. Outras semelhanças entre os dois campos nesse *lag* são a supressão da convecção na Índia e um dipolo que aparece sobre o Brasil. É importante notar que, nesse *lag* (5 dias antes do veranico), aparece um forte núcleo de convecção anômala sobre São Paulo, tanto no campo médio quanto no observado. No *lag* 0, observa-se um dipolo intenso na região do oceano Índico, com um núcleo positivo sobre a Índia e um negativo a oeste da Indonésia. Entretanto, o dipolo que aparece na Austrália no campo médio não foi observado no caso de 1986, indicando que, neste caso específico, essa configuração não influenciou o veranico em São Paulo.

Os campos de pressão ao nível médio do mar (PNMM), altura geopotencial e função corrente não demonstraram padrões atmosféricos nítidos. Por isso foram feitos os campos de anomalias dessas variáveis, de modo a obter uma melhor interpretação.

Figura 3.8: Composições de anomalia de radiação de onda longa emergente (ROLE, em W m^{-2}), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos lags -3, -2, 1 e 0.

Analisando os campos de anomalias de PNMM (Figura 3.9) pode-se ver claramente no *lag* -3, tanto no campo médio quanto no observado em 1986, um trem de ondas desde o sudeste da Austrália até aproximadamente 30° W. No *lag* -2 do campo observado pode-se perceber que este trem de ondas se deslocou para leste cerca de 30° W, mas no campo médio esse padrão não fica tão nítido. O trem de ondas continua a se deslocar no *lag* -1, mas aqui aparece uma diferença um pouco maior em relação aos *lags* anteriores: o núcleo negativo que aparece centrado em 120° W no campo observado se estende até o sul da Argentina, enquanto que no *lag* -1 do campo médio existe uma pequena área de anomalia positiva entre esses dois pontos. Por outro lado, a anomalia negativa que aparece no Sul e Sudeste do Brasil no campo observado também aparece no campo médio. Por fim, no *lag* 0, o núcleo de anomalias negativas chega ao sul da Argentina.

Figura 3.9: Composições de anomalia de pressão ao nível do mar (PNMM, em hPa), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos *lags* -3, -2, 1 e 0. Continua.

Figura 3.9: Conclusão.

Os campos de anomalia de geopotencial (Figura) são bastante semelhantes aos de PNMM. No *lag* -3 da observação e do campo médio são observados trens de onda entre a linha de data e o sul da América do Sul. No *lag* -2 este trem de ondas avança e o núcleo positivo passa pela Argentina, mas esse deslocamento só é visível no campo observado. No campo médio existem dois núcleos negativos bem pronunciados (um na linha de data e outro em 30° W), com uma área extensa de valores positivos entre eles. Entretanto, não é possível observar no campo médio o dipolo de anomalias sobre a América do Sul que aparece no campo observado de 1986. Já no *lag* -1 os padrões voltam a ficar nítidos no campo médio. O núcleo positivo que estava sobre o sul da Argentina se deslocou para o Atlântico sul (observação) e agora existem anomalias negativas no Pacífico entre 150° W e 120° W, e no sul da América do Sul (observação e campo médio). Passando para o *lag* 0, os campos médio e observado mostram um dipolo, com anomalias negativas de geopotencial ainda no sul da América do Sul e positivas no Atlântico sul, em torno de 30° W.

Figura 3.10: Composições de anomalia de geopotencial (HGT, em m), para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), nos *lags* -3, -2, -1 e 0. Continua.

Figura 3.10: Conclusão.

Finalmente foram analisados os campos de vento. Os campos médios dessa variável não podem ser usados para previsão por terem sofrido "batimento", ou seja, cristas e cavados que se encontravam um pouco deslocados nos *lags* dos diferentes casos acabaram se cancelando. A Figura 3.11 mostra um exemplo do *lag* -3 médio (esq.) e a comparação com o campo observado em 1986 (dir.), nos níveis de 200 e 850 hPa.

Figura 3.11: Composições de vento horizontal em 850 e 200 hPa, para os campos médios (esq.) e os observados (dir.), no lag -3.

CAPÍTULO IV: VERIFICAÇÃO DE MUDANÇAS NO PADRÃO CLIMÁTICO

Neste capítulo serão analisadas as séries temporais de precipitação de algumas estações meteorológicas do Estado de São Paulo e também as características da estação chuvosa das regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar, de modo a verificar possíveis alterações no padrão climático paulista com relação à pluviosidade.

4.1. Evidências das mudanças climáticas no mundo

Em 2007, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) publicou o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) sobre mudanças no clima. Neste relatório estão relacionadas evidências de que o clima mundial está mudando. Algumas destas são:

- Gelo marítimo: a extensão do gelo marinho do Ártico diminuiu cerca de 10 a 15 % desde a década de 1950. Nenhum padrão significativo na extensão do gelo marinho da Antártica foi encontrado;
- Geleiras e cobertura de neve no Hemisfério Norte: as geleiras de montanhas estão recuando em todos os continentes e a extensão da cobertura de neve diminuiu cerca de 10 % desde o final da década de 1960;
- O nível do mar aumentou a uma taxa de 1,7 a 1,8 mm por ano no século XX, sendo que na última década o aumento foi de 3 mm por ano, e a temperatura da superfície do mar aumentou cerca de 0,6 °C desde 1950, possivelmente ocasionando o aquecimento atmosférico de áreas costeiras;
- Análises recentes de padrões indicam que a intensidade dos ciclones tropicais também aumentou.

A Figura 4.1 ilustra essas mudanças observadas na temperatura da superfície do mar, no aumento do nível do mar e na cobertura de neve do Hemisfério Norte, com base nas médias correspondentes ao período 1961 – 1990.

Figura 4.1: Mudanças observadas (a) na temperatura média global da superfície do mar; (b) no nível médio do mar com dados de bóias (azul) e de satélite (vermelho); (c) na cobertura de neve no Hemisfério Norte em março-abril. Curvas suavizadas representam valores de médias decadais, enquanto círculos mostram valores anuais. Áreas sombreadas são intervalos estimados com base em uma análise abrangente das incertezas conhecidas (a e b) e das séries temporais (c). Fonte: IPCC (2007).

O AR4 (IPCC, 2007) também trouxe evidências de mudanças climáticas observadas na América Latina que foram publicadas no Terceiro Relatório de Avaliação (TAR – *Third Assessment Report*), tais como:

- Em algumas áreas existem padrões nítidos de aquecimento (Amazônia, noroeste da América do Sul) e de resfriamento (Chile);
- Padrões de precipitação sugerem que a chuva aumentou em algumas áreas das latitudes médias (nordeste da Argentina, sul do Brasil e noroeste do México) e diminuiu em algumas regiões centrais da América Latina (partes da América Central);
- Geleiras da América Latina retrocederam drasticamente nas décadas passadas e muitas desapareceram completamente. As regiões mais afetadas são os Andes do Peru, o sul do Chile e latitudes maiores que 25° S na Argentina.

4.2. Efeito estufa

O efeito estufa é um fenômeno natural gerado por gases que absorvem a radiação infravermelha que deveria ser direcionada ao espaço. É importante para a manutenção da vida na Terra. Sem este efeito a temperatura média do globo seria em torno de -18°C . O efeito estufa intensificado, ou efeito estufa antropogênico, contudo, causado pelo aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE), altera as condições de temperatura natural da atmosfera terrestre, favorecendo o aquecimento do globo. Este é, portanto, um dos principais causadores das mudanças climáticas.

Mudanças na quantidade de GEE podem ser expressas em termos de forçamento radiativo, que é usado para comparar como um leque de fatores humanos e naturais influencia o aquecimento ou resfriamento do clima global. A Figura 4.2 mostra a mudança da concentração global dos três principais GEE (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) com o forçamento radiativo nos últimos 10.000 anos.

Figura 4.2: Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, e forçamento radiativo nos últimos 10.000 anos (painéis maiores) e entre 1750 e 2005 (painéis menores). Medidas foram feitas de amostras atmosféricas (linhas vermelhas) e testemunhos de gelo (cores diferentes para estudos diferentes). Adaptado do AR4 / IPCC (IPCC, 2007).

De acordo com a Figura 4.2, as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) têm aumentado consideravelmente desde 1750, como resultado de atividades humanas, e agora excedem os valores pré-industriais determinados por testemunhos de gelo de milhares de anos.

O dióxido de carbono (CO_2) é o GEE antropogênico mais importante, em virtude de sua maior emissão atualmente. A concentração atmosférica global desse gás aumentou de um valor pré-industrial de 280 ppm para 379 ppm em 2005 (Figura 4.2). Algumas localidades, como o observatório de Mauna Loa, localizado no Havaí, registraram em fevereiro de 2011 a

marca de 391,76 ppm (CO₂Now, 2011). A taxa de crescimento anual da concentração de CO₂ foi maior durante o período 1995 – 2005 (média de aproximadamente 2 ppm por ano) do que esteve desde o início das medidas atmosféricas diretas, ou seja, no período de 1960 – 2005 (média de 1,4 ppm por ano). A fonte primária de liberação de CO₂ desde o período pré-industrial é o uso de combustíveis fósseis, com mudanças no uso da terra sendo outra contribuição importante, mas menor.

A concentração atmosférica global de metano (CH₄) também vem aumentando: passou de 715 ppb no período pré-industrial para 1774 ppb em 2005. Segundo o IPCC, é bem provável que o aumento da concentração de metano seja devido a atividades antropogênicas, predominantemente agricultura, mas contribuições de diferentes tipos de fonte ainda não são bem conhecidas.

Assim como os dois gases anteriores, a concentração atmosférica global de óxido nitroso (N₂O) também aumentou do período pré-industrial (270 ppb) até 2005 (319 ppb). Mais de um terço de toda a emissão desse gás é antropogênica e também é principalmente devida à agricultura.

4.3. Impactos das mudanças climáticas

Além das observações, o AR4 (IPCC, 2007) traz projeções dos impactos causados pelas mudanças climáticas em todo o mundo, bem como análises feitas individualmente para cada continente.

a) Impactos globais

- Na metade do século, a média anual de disponibilidade da água e de escoamento dos rios deve aumentar de 10 a 40 % em altas latitudes e em algumas áreas tropicais úmidas, e diminuir de 10 a 30 % sobre algumas regiões secas em latitudes médias e nos trópicos secos;
- Áreas afetadas por secas provavelmente aumentarão em extensão. É provável que a frequência de eventos de precipitação intensa aumente, ampliando os riscos de inundações;
- Ao longo do século, a quantidade de água armazenada nas geleiras e nas coberturas de neve deve diminuir, reduzindo a disponibilidade de água em regiões sustentadas pelo degelo de grandes montanhas, onde habitam mais de 1/6 da população atualmente;

- Cerca de 20 a 30 % das espécies de plantas e animais avaliados até agora terão o risco de extinção aumentado se o aumento da temperatura média global exceder 1,5 – 2,5 °C;
- Em latitudes mais baixas, a produtividade de culturas deve diminuir, mesmo para um aumento local da temperatura de 1 a 2 °C;
- Regiões costeiras serão expostas a aumento de riscos, incluindo erosão, devido ao aumento do nível do mar.

b) Impactos na América Latina

- Doenças que são relacionadas com o clima através de surtos dos seus vetores que se desenvolvem em ambientes quentes e úmidos, como malária e dengue, devem aumentar. As mudanças climáticas podem influenciar a frequência de surtos dessas doenças através da alteração da temperatura e da variabilidade da precipitação;
- Estudos na Argentina, Brasil, Chile, México e Uruguai, baseados em Modelos de Circulação Global (GCM – *Global Climate Model*) e modelos de culturas, projetaram diminuição no rendimento para várias culturas (milho, trigo, cevada, uva, etc.);
- O aumento do nível do mar afetará manguezais, prejudicando a pesca destas regiões. Inundações costeiras e erosão resultantes dessa elevação, em combinação com enchentes em locais ribeirinhos, podem afetar a qualidade e disponibilidade da água.
- Na metade do século, aumentos na temperatura e conseqüentes diminuições na umidade do solo devem levar à substituição gradativa das florestas tropicais por savanas no leste da Amazônia. A vegetação semi-árida tenderá a ser substituída por vegetação desértica. Além disso, existe o risco de perda significativa de biodiversidade devido à extinção de espécies em muitas áreas da América Latina tropical.

4.4. Projeções para o Brasil

No TAR do IPCC foram geradas saídas de diferentes modelos climáticos integrados com diferentes concentrações de GEE (cenários). Os modelos utilizados são acoplados oceano-atmosfera e possuem resoluções diferentes. Marengo (2006) analisou saídas de chuva no Brasil de cinco modelos globais. Neste trabalho serão mostradas projeções para dois cenários extremos: um de alta emissão (pessimista – A2) e um de baixa emissão (otimista – B2).

Os modelos utilizados nas simulações são: *HadCM3* (Inglaterra); *CSIRO-Mk2* (Austrália); *CCCMA* (Canadá); *GFDL-CM2* (Estados Unidos); *CCSR/NIES* (Japão).

A descrição dos cenários é a seguinte:

- *A2*: mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Características: crescimento populacional alto e baixa preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido;
- *B2*: mundo com ênfase em soluções locais: sustentabilidade econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais.

Nos anexos são mostradas as projeções de anomalias de chuva (mm) dos cinco modelos do IPCC para o Brasil no verão (DJF – ANEXO A.1 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário *A2*. para o cenário *A2* e ANEXO A.2 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário *B2*. para o cenário *B2*) e no inverno (JJA - ANEXO A.3 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário *A2*. para o cenário *A2* e ANEXO A.4 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário *B2*. para o cenário *B2*) em três períodos diferentes: 2010-2040 (centrado em 2020), 2041-2070 (centrado em 2050), 2071-2100 (centrado em 2080).

Analisando essas figuras, é fácil notar que as saídas dos modelos diferem bastante em alguns aspectos. Por exemplo: as projeções dos modelos *HadCM3* e *GFDL* são praticamente o inverso umas das outras para os dois cenários em qualquer período. Enquanto o *HadCM3* projeta anomalias negativas intensas de precipitação no Norte e no Nordeste do Brasil em DJF no período 2071-2100, o *GFDL* mostra anomalias positivas intensas, tanto para o cenário *A2* quanto para o *B2*. No inverno, o *GFDL* vê dois núcleos negativos entre o equador e 5° N. O *HadCM3* também vê os dois núcleos, mas deslocados mais para norte da América do Sul, e intercalados por uma anomalia positiva no norte da Amazônia. O *GFDL* vê o núcleo positivo bem menos intenso apenas no cenário *A2*.

Com relação ao Estado de São Paulo, as projeções do modelo *CCCMA* mostram que logo no primeiro período do cenário *B2* existe uma leve anomalia negativa de precipitação (-1 a -1,5 mm). O modelo *CSIRO* não vê mudanças significativas. O *GFDL* e o *HadCM3* concordam que é provável que a precipitação diminua no período 2071-2100, enquanto o *CCSR/NIES* projeta uma ZCAS mais enfraquecida, com anomalias negativas de precipitação.

Para o cenário A2, essa anomalia é mais intensa. O modelo *CCCMA* vê o oposto do cenário B2, com uma leve anomalia negativa de precipitação, e os demais modelos não projetam diferenças significativas em São Paulo no verão do cenário A2.

Já no inverno, os cinco modelos concordam que o padrão de precipitação não deve mudar no Estado no cenário B2, e no cenário A2, o único modelo que projeta diferenças é o *CCSR/NIES*, com anomalias negativas, assim como fez no verão. Estes resultados são compatíveis com os encontrados por Valverde e Marengo (2010), que também analisaram as saídas dos modelos *CCCMA*, *GFDL* e *HadCM3*, além dos modelos *GISS* (Estados Unidos) e *MIROC* (Japão).

Existem duas razões principais para as diferenças nos cenários projetados pelos modelos do IPCC. A primeira é que essas projeções são resultados de cenários prováveis que podem acontecer devido ao aumento na concentração dos GEE, e não é certo que as emissões evoluirão conforme descrito nos cenários (MARENGO, 2006). A segunda razão é a dificuldade que estes modelos têm em representar adequadamente características do clima regional. Enquanto alguns modelos indicam projeção de aumento das chuvas na Amazônia, outros simulam reduções substanciais das chuvas e drásticos efeitos sobre a floresta tropical. Esses tipos de diferenças dificultam a utilização destes cenários em estudos de impactos para os quais a chuva é um parâmetro determinante, como por exemplo, a agricultura. Seria necessário um aperfeiçoamento das parametrizações de alguns processos meteorológicos, como a convecção, por exemplo, para diminuir as incertezas (VALVERDE; MARENGO, 2010).

4.5. Verificação de tendências no padrão de precipitação do Estado de São Paulo

Para determinar se houve algum tipo de mudança no padrão de chuvas no Estado de São Paulo nos últimos anos, foram selecionadas 7 das estações pluviométricas utilizadas no capítulo 2, por apresentarem séries temporais mais longas. Foi analisado o período de 1937 a 2003 para 6 das estações: 2047028 (Altinópolis), 2049033 (Icém), 2148041 (Araraquara), 2149007 (Barbosa), 2247005 (Leme), e 2248045 (Torrinha). Para a estação 2345067 (São Luís do Paraitinga), além do período descrito acima, foi também analisado o período entre 1937 e 2008. A disposição das estações está mostrada na Figura 4.3.

Esta seção será dividida em duas partes. Na primeira parte será estudada a variabilidade do verão do Hemisfério Sul, compreendido pelos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF). Serão analisadas as tendências da quantidade de chuva nessa estação para as 7 estações coletoras descritas acima. Na segunda parte, a análise será feita nas regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar. Serão analisadas as datas de início e fim da estação chuvosa, bem como a duração desta última.

Figura 4.3: Disposição das estações analisadas neste capítulo.

a) Análise de tendências para o verão austral

Nesta parte do trabalho, foram investigadas mudanças no padrão climático de precipitação no verão austral (DJF). Para isso, a precipitação foi acumulada nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro para cada estação coletora, e foi calculado o número de dias com chuva maior que 1 milímetro durante os três meses. Assim foram obtidos os gráficos mostrados na Figura 4.4.

É possível notar claramente nesses gráficos a variabilidade interanual da precipitação em todas as estações coletoras. Nem mesmo o padrão de fenômenos de grande escala, como o El Niño ou La Niña, são observados nessas séries. O verão de 1982/83 certamente foi bastante chuvoso na maioria das estações coletoras, com máximos de precipitação nas estações 2248045 e 2047028, mas ao mesmo tempo ocupou a 13ª posição da lista dos verões mais chuvosos no período estudado na estação 2247005, e na estação 2345067 foi um dos menos chuvosos. Já o verão de 2000/01, período de ocorrência de La Niña fraca, foi um dos que teve menos chuva em quase todas as estações, com exceção da estação 2148041. Ou seja, ainda é difícil afirmar se o Estado de São Paulo tem o regime de precipitação de fato afetado por esses fenômenos.

Com relação ao número de dias com chuva maior que 1 milímetro, o verão de 2000/01 também foi um dos que teve valores mais baixos, chegando a apenas 22 dias na estação

2149007. Por outro lado, o verão com maior número de dias de chuva acima de 1 mm aconteceu em anos diferentes nas diferentes estações.

Figura 4.4: Evolução da precipitação acumulada (barra azul) e do número de dias de chuva maior que 1mm (barra vermelha) para DJF nas estações utilizadas neste capítulo. Continua.

Figura 4.4: Conclusão.

Outro fato importante de se destacar é que o verão com maior número de dias de chuva não acontece necessariamente no ano do verão mais chuvoso. Tomando como exemplo a estação 2248045, que fica na cidade de Torrinha, vemos pela figura 4.4 que o verão de 1982/83 foi o mais chuvoso, com quase 1290 mm de chuva acumulada, e o que apresentou maior número de dias com chuva acima de 1 mm: 59 dias. Por outro lado, a estação 2047028, localizada em Altinópolis, teve o verão mais chuvoso em 1982/83, com pouco mais de 1500

mm acumulados e 53 dias com chuva maior que 1 mm. Já o verão de 1964/65 teve 63 dias com chuva acima de 1 mm, mas o acumulado foi de aproximadamente 985 mm. Podemos concluir então que o verão de 82/83 teve eventos mais intensos que o de 64/65. Ou seja, quanto maior o acumulado em DJF e menor o número de dias de chuva, mais intensos são os eventos de precipitação.

Outra análise interessante realizada neste trabalho foi a da tendência do acumulado e da ocorrência de precipitação ao longo dos anos. Para isso, foram traçadas regressões lineares para diferentes períodos (1937 - 58; 1959 - 80; 1981 - 2002) dentro de uma mesma estação pluviométrica (Figura 4.5). As barras azuis representam a precipitação acumulada e a linha vermelha, o número de dias de chuva maior que 1 mm em DJF (o mesmo que a figura 4.4). As linhas pretas tracejadas são as regressões lineares para a série toda, para cada variável. As linhas coloridas representam regressões lineares a cada 22 anos (ver legenda). O ano indicado no eixo horizontal é o primeiro ano do verão (por exemplo: "1937" no eixo x corresponde ao verão "1937/38").

Figura 4.5: Precipitação acumulada em DJF (barras azuis) e número de dias de chuva maior que 1mm (linha vermelha). Linhas pretas tracejadas representam a regressão linear de toda a série. Linhas rosas e azuis representam a regressão linear a cada 22 anos. Continua.

Figura 4.5: Conclusão.

Analisando os gráficos da Figura 4.5, podemos notar que quase todas as séries apresentaram tendência de aumento na quantidade de chuva de 1937 a 2002 (linhas pretas grossas) e também no número de dias com chuva acima de 1 mm (linhas pretas finas). A exceção fica por conta da estação de São Luís do Paraitinga, 2345067, que teve uma leve diminuição no acumulado de chuva e no número de dias de chuva.

Entretanto, ao olharmos as regressões lineares feitas a cada 22 anos (linhas azuis e rosas), notamos que o comportamento da precipitação foi bastante diferente entre as estações coletoras. No período mais recente (1981 – 2002), a estação 2047028 (Altinópolis) foi a única que apresentou queda na tendência de chuva acumulada em DJF, com leve queda também no número de dias de chuva. Já as estações 2049033 (Icém) e 2148041 (Araraquara) tiveram aumento significativo do acumulado de chuva no verão. Quanto ao número de dias com chuva maior que 1 mm, a estação 2049033 apresentou uma ligeira diminuição, indicando que os eventos de chuva podem ter sido mais fortes nesse período, e a estação 2148041 apresentou um leve aumento. As demais estações não apresentaram mudanças significativas no comportamento dessas duas variáveis no período em questão.

Outro ponto interessante é que, com exceção da estação de São Luís do Paraitinga, todas as estações apresentaram tendência de aumento da chuva acumulada maior do que a

tendência de aumento do número de dias de chuva para o período inteiro. Ou seja, a quantidade de chuva que foi acumulada no verão cresceu mais rápido do que a quantidade de dias em que houve chuva, mais uma vez indicando o acontecimento de eventos mais intensos no decorrer dos anos.

Lembrando que a estação 2345067 possui dados até 2008, os gráficos das Figura 4.4 e 4.5 foram complementados com o restante da série, conforme mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6: Dados de precipitação acumulada (barras azuis) em DJF e número de dias de chuva acima de 1 mm (barras / linhas vermelhas) na estação 2345067 (São Luís do Paraitinga): (a) continuação da série apresentada na figura 4.4; (b) regressões lineares para a série completa e a cada 24 anos.

O gráfico *a* mostra que os últimos anos da série de São Luís do Paraitinga não tiveram destaque com relação à precipitação, ou seja, não foram registrados extremos de chuva acumulada nem de número de dias de chuva acima de 1 mm entre 2003 e 2008. Pelo gráfico *b* é possível perceber que a tendência para o acumulado de chuva em DJF nessa estação é de diminuição entre 1937 e 2008, assim como a tendência do número de dias com chuva maior que 1 mm também teve uma leve queda, conforme havia sido observado na Figura 4.5. Mas comparando as regressões lineares a cada 22 anos (Figura 4.5) e a cada 24 anos (Figura 4.6), notamos que a tendência do ultimo período das duas figuras é diferente. A tendência entre

1981 – 2002 era de um leve aumento na precipitação acumulada e praticamente constante no número de dias de chuva acima de 1 mm. Ao fazer a regressão entre 1985 – 2008, a chuva acumulada teve tendência de queda, e o número de dias de chuva, de aumento. Ou seja, os eventos intensos diminuíram na cidade de São Luis do Paraitinga.

b) Análise das estações chuvosas nas regiões produtoras de cana-de-açúcar

Além do verão austral em estações meteorológicas individuais, foram analisadas também as tendências para a estação chuvosa das regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar em São Paulo (Figura 3.5). Através das datas de início e fim (seção 3.2) e da duração das estações chuvosas, foram feitos gráficos de tendência como no item anterior para as quatro regiões de interesse. Na Figura 4.7 estão os gráficos com as pântadas de início das estações chuvosas em cada região homogênea. A Figura 4.8 mostra a evolução das datas do fim da estação chuvosa.

Figura 4.7: Gráficos com o início da estação chuvosa e sua tendência em cada região homogênea. O eixo y indica a pântada de início da estação.

Analisando a evolução do início da estação chuvosa em cada região, é possível perceber que existe uma tendência a diminuir a data de início da época de chuvas nas regiões 3, 4 e 6, ou seja, ao longo do período estudado neste trabalho (1971 – 2003), a tendência da estação chuvosa nessas regiões foi de começar cada vez mais cedo. Apenas a região 5 apresentou uma leve tendência de atraso no início da estação chuvosa ao longo do período em

questão. É possível notar pelos gráficos também a variabilidade interanual da data em cada região. O verão de 1988/89 foi influenciado por La Niña forte, e de fato houve um atraso nas pântadas de início da estação chuvosa em todas as regiões. Por outro lado, o verão de 1994/95 também apresentou atraso nas quatro regiões, mas foi um ano de El Niño. Este resultado reforça a discussão da seção 3.2. Outro ponto a se destacar é o verão de 1985/86. Este foi um verão neutro, mas que provocou um grande atraso no início da época de chuvas.

Com relação ao fim da estação chuvosa, pela Figura 4.8 é possível perceber que o final da época das chuvas apresentou uma tendência a terminar mais tarde nas regiões 3 e 4, ainda que bastante tênue. A região 5 apresentou um leve decaimento no final da época das chuvas, ou seja, uma tendência a terminar a estação chuvosa mais cedo, enquanto a região 6 não apresentou tendência significativa com relação à data de fim da estação chuvosa.

Figura 4.8: Gráficos com o fim da estação chuvosa e sua tendência em cada região homogênea. O eixo y indica a pântada de fim da estação.

Para uma análise mais completa da variabilidade da época das chuvas, foi calculada a duração da mesma, que está relacionada para cada região na Tabela 4.1. Entretanto, a tabela com a duração de cada estação chuvosa nas quatro regiões fornece uma visão mais quantitativa. Para melhor visualização dos dados e para a análise da tendência, a tabela 4.1 foi colocada em forma de gráficos (Figura 4.9).

Tabela 4.1: Duração das estações chuvosas (em pântadas) nas regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar.

Estação chuvosa	Região 3	Região 4	Região 5	Região 6
1971/72	39	39	42	39
1972/73	48	54	59	48
1973/74	45	37	37	41
1974/75	40	31	41	40
1975/76	36	41	36	41
1976/77	51	52	50	51
1977/78	42	39	42	40
1978/79	43	35	43	43
1979/80	50	50	47	47
1980/81	47	46	39	40
1981/82	36	41	39	41
1982/83	55	52	51	50
1983/84	51	38	51	51
1984/85	45	54	47	52
1985/86	43	35	31	31
1986/87	64	42	42	56
1987/88	39	39	53	45
1988/89	36	39	35	38
1989/90	55	54	54	54
1990/91	55	55	50	54
1991/92	49	49	48	48
1992/93	47	50	49	47
1993/94	48	44	50	45
1994/95	44	42	36	35
1995/96	41	43	37	43
1996/97	37	38	38	42
1997/98	52	47	47	47
1998/99	56	45	56	56
1999/2000	40	41	32	41
2000/01	46	47	46	47
2001/02	44	45	39	42
2002/03	49	45	47	49
Média	46	44	44	45
Desvio	7	6	7	6

Figura 4.9: Duração e tendência de cada estação chuvosa nas regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar.

Assim como nas datas de início e fim da estação chuvosa, a variabilidade interanual da duração da mesma também é evidente. A estação chuvosa de 1985/86 (condições neutras de TSM no Pacífico) foi a que durou menos nas regiões 5 e 6. Já o verão seguinte, de 1986/87, foi o que apresentou maior duração nas regiões 3 e 6 (El Niño moderado).

Com relação à tendência da duração, é fácil perceber que as regiões 3, 4 e 6 apresentaram tendência de aumento bastante claro na duração da estação chuvosa ao longo dos anos, enquanto que a região 5 apresentou uma leve diminuição. Este resultado é decorrência dos resultados obtidos com a tendência das datas de início e fim da estação chuvosa. Nas regiões 3, 4 e 6 a tendência foi de início precoce e fim tardio da época das chuvas, enquanto que a região 5 teve tendência de antecipar tanto a data de início quanto a de fim, fazendo com que a duração não apresentasse mudança significativa.

A frequência de ocorrência de veranicos também foi estudada para a verificação de possíveis mudanças no padrão, mas os resultados não apresentaram tendência clara de aumento ou diminuição da mesma, nem relação com os fenômenos El Niño/La Niña. Por isso os gráficos desta análise não serão mostrados neste trabalho.

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho buscou estudar as regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, com ênfase ao regime pluviométrico. Para isso foram usados dados pentadais de precipitação, coletados de 93 estações meteorológicas espalhadas pelo Estado, além de campos meteorológicos obtidos das Reanálises do NCEP – NCAR. Vários procedimentos foram realizados para possibilitar essa análise.

Em primeiro lugar foram analisadas as probabilidades de ocorrência de 2, 3 e 6 pântadas secas seguidas após uma determinada pântada do ano. Esse cálculo foi feito de forma pontual, ou seja, para cada estação coletora, e a separação dos resultados foi feita de forma subjetiva, isto é, apenas de acordo com o comportamento dos valores de probabilidade. Este cálculo é importante porque a cana-de-açúcar precisa de uma estação chuvosa (crescimento e desenvolvimento) e uma seca (maturação e acúmulo de sacarose) para que a produção final seja satisfatória. Os resultados desta etapa mostraram que as áreas do interior paulista são as que apresentam maiores (menores) valores de probabilidade de chuva abaixo de 12,5 mm em uma pântada durante o inverno (verão) austral, condição requerida pela cultura. Já as áreas do sul e leste paulistas apresentam baixos valores de probabilidade de não chover durante o inverno. Por sofrerem mais influência da brisa marítima e da circulação de frentes frias do que o interior, essas áreas apresentam condições mais úmidas durante o período entre os meses de maio e setembro em relação às demais, como pode ser comprovado pelos gráficos das médias mensais climatológicas (APÊNDICE B).

Para a análise de campos meteorológicos prejudiciais ao cultivo da cana-de-açúcar foram necessários alguns procedimentos. O primeiro destes foi determinar regiões do Estado de São Paulo que fossem homogêneas quanto ao regime de precipitação. Através do uso da técnica multivariada de Análise de Cluster, foram identificadas seis regiões distintas, sendo que duas delas correspondiam ao sul e ao leste do Estado. Uma vez que essas áreas não produzem cana-de-açúcar (PROJETO CANASAT, 2011), as mesmas não foram incluídas nas análises. Em seguida, foram determinadas as datas de início e fim das estações chuvosas em cada região homogênea de interesse, com base nos percentis 5 e 15 da distribuição Gama ajustada a cada região. Para fins de comparação com trabalhos anteriores, foi feita uma média dessas datas de início e fim para todo o Estado, e concluiu-se que a estação chuvosa começa, em média, na pântada 51 (± 4) e termina na pântada 23 (± 5), estando o resultado em acordo com aqueles obtidos por outros autores.

Foi analisada também a variabilidade interanual das datas de início e fim da estação chuvosa e sua relação com os fenômenos El Niño e La Niña. Concordando com estudos anteriores, verificou-se neste trabalho que a La Niña de fato provocou atrasos no início da época das chuvas na maioria dos casos. Entretanto, também foram vistos anos de La Niña que tiveram adiantamento no início da estação chuvosa. Já os anos de El Niño não parecem interferir nesse evento. Com relação ao fim da estação chuvosa, os resultados deste trabalho mostraram que nenhum dos fenômenos influencia as datas do final da época das chuvas no Estado de São Paulo. Além disso, foi possível observar que nas três maiores quebras de safra ocorridas no período deste estudo, a TSM do Pacífico apresentava anomalia negativa, ou seja, as maiores quebras ocorreram em anos de La Niña. Entretanto, um estudo mais aprofundado sobre essa relação deve ser feito para uma conclusão definitiva, já que vários outros fatores podem afetar a produção final de uma safra.

Depois de determinadas as regiões homogêneas e as datas de início e fim da estação chuvosa, foram selecionados os veranicos que aconteceram dentro da época das chuvas. Para cada região homogênea, foi feita uma lista com esses veranicos e foram construídos campos médios defasados no tempo em até três pântadas anteriores ao veranico e para a pântada correspondente ao veranico. Analisando os campos médios obtidos e sete campos observados, foi possível concluir que o campo da divergência de massa é o mais viável para a previsão de veranicos, com 70 a 100 % de características comuns entre os campos. Ou seja, o campo da divergência é uma boa ferramenta no auxílio da previsão de veranicos. Nos campos desta variável, foram encontradas as seguintes características (em parênteses estão os números de quantos casos apresentaram a característica descrita nos sete casos analisados):

- a) *Lag* -3: trem de ondas no Pacífico (5); divergência a leste da Índia (7) e na Amazônia (5).
- b) *Lag* -2: ligeiro deslocamento do trem de ondas no Pacífico, observado apenas nos campos "reais", e não no campo médio (5); permanência das áreas divergentes a leste da Índia (7) e na Amazônia (7); aparecimento de convergência no Nordeste do Brasil (7).
- c) *Lag* -1: permanência do dipolo Amazônia – Nordeste (6); ligeiro deslocamento do trem de ondas no Pacífico (4); permanência das áreas divergentes a leste da Índia (7).
- d) *Lag* 0: aparecimento de um dipolo no Sul – Sudeste do Brasil (7); convergência no Norte e do Nordeste do País (6); permanência de áreas divergentes a leste da Índia (7).

Os campos de anomalia de geopotencial também podem ser usados no auxílio da previsão, mas para fins mais de confirmação junto aos campos de divergência, já que as características observadas no campo médio de anomalia de geopotencial foram encontradas em 70 % dos casos reais em todos os *lags*. No *lag* -3 da observação e do campo médio são

observados trens de onda entre a linha de data e o sul da América do Sul, que avança no *lag* -2 para a Argentina (núcleo quente), mas esse deslocamento só é visível no campo observado devido às leves diferenças na localização nos diferentes casos. No *lag* -1 o trem de ondas avança mais, com seu núcleo de anomalias positivas no Atlântico sul, além de anomalias negativas também no sul da América do Sul. O *lag* 0 apresenta um dipolo de núcleo negativo nessa mesma área e positivo em torno de 30° W.

Os demais campos médios não são viáveis para a previsão de veranicos. As diferenças nas posições dos sistemas, mesmo que pequenas, fizeram com que o campo médio apresentasse características diferentes do que nos campos observados, principalmente com respeito ao sinal das variáveis.

Por fim, foi feita a verificação da existência de alguma mudança no padrão pluviométrico do Estado de São Paulo. Através de regressões lineares feitas com o acumulado de chuva nos meses de DJF em 7 estações meteorológicas para o período 1937 – 2003, e do número de dias de chuva maior que 1 mm, foi possível concluir neste trabalho que, de forma geral, a quantidade de chuva acumulada no verão austral apresentou tendência de aumento, enquanto que o número de dias com chuva acima de 1 mm diminuiu. Este fato possivelmente indica que os eventos intensos aumentaram, concordando com outros trabalhos feitos sobre esse assunto. Além disso, foram analisadas as tendências das datas de início e fim das estações chuvosas obtidas para as regiões homogêneas produtoras de cana-de-açúcar de São Paulo, bem como a duração das mesmas. Pôde-se concluir que a tendência da estação chuvosa no período 1971 – 2003 na maioria das localidades foi de antecipação no início e atraso no fim da época das chuvas. Com isso, a duração da estação chuvosa aumentou. Apenas a região 5, que corresponde à porção centro-sudoeste do Estado, não apresentou mudanças significativas no padrão da estação chuvosa. Os resultados do presente trabalho mostram pontos que devem ser estudados com maior detalhes em trabalhos futuros, pois, aparentemente, existem sinais de mudanças, mesmo que pequenas, nos padrões de precipitação observados.

Essa perspectiva de uma estação chuvosa mais longa em algumas regiões de São Paulo não é boa para o cultivo da cana-de-açúcar. A planta precisa da época seca, típica do inverno no Estado, para amadurecer e acumular açúcar. Com a diminuição da estação seca, a maturação pode acontecer de forma tardia e o teor de sacarose da cana pode ficar comprometido. Além dos danos causados à fisiologia da cana-de-açúcar, o encurtamento da estação seca prejudica também a colheita nos canaviais.

Para trabalhos futuros, a autora sugere:

- a) Refazer os cálculos para estações pluviométricas que possuam séries temporais mais recentes, já que o fim das séries no ano de 2003 pode atrapalhar a conclusão sobre as possíveis mudanças climáticas no Estado de São Paulo;
- b) Usar dados de balanço hídrico para determinar os veranicos ocorridos dentro da estação chuvosa que efetivamente podem ter causado quebras na produção, a fim de obter conclusões mais precisas e excluir a influência de outros fatores na quebra das safras;
- c) Determinar se houve quebras na produção de cana-de-açúcar causadas por excesso de chuva, dentro e fora da estação chuvosa, e investigar os campos meteorológicos associados a estes eventos;
- d) Aplicar análises de ondeletas para identificar os sistemas meteorológicos que mais influenciam o regime de precipitação do Estado de São Paulo e para determinar se existem sinais de mudança no padrão de acontecimento dos mesmos;
- e) Utilizar outros critérios na obtenção de campos médios para que não ocorra anulação dos sistemas por conta de ligeiras diferenças na posição dos sistemas, como por exemplo, separação sazonal dos veranicos, por número de pântadas secas ou por quantidade de chuva observada nas mesmas.
- f) Avaliar se as tendências na precipitação estão associadas à variabilidade interdecadal.
- g) Utilizar outros métodos para avaliar a tendência de precipitação do Estado de São Paulo nos últimos anos, de forma a obter resultados mais conclusivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO EMBRAPA. **Cana-de-açúcar**. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_57_22122006154840.html>. Acesso em 17 fev. 2011.
- ALFONSI, R. R.; Pedro Jr., M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p. 42-54.
- ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; JUNIOR, H. C.; CASTRO, C. Início da estação chuvosa na região sudeste do Brasil. Parte I: Estudos Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 385-394, 2005.
- BLUENSTEIN, H. **Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes**. New York: Oxford University Press, Inc., 1993. v. 2, p. 79-81; 520-537.
- CARDOSO, A. O.; SILVA DIAS, P. L. Identificação de trimestres extremos no regime pluviométrico do sul e sudeste do Brasil e relação com anomalias da TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 149-162, 2004.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in Southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2377-2394, 2002.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.
- CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 83-90, 1986.
- CLIMATE PREDICTION CENTER. **Cold and warm episodes by season**. Disponível em <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em 12 nov. 2010.
- CO2NOW. Disponível em <<http://co2now.org/>>. Acesso em 11 jan. 2011.

- COLETI, J. T. Técnica Cultural de Plantio. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 284-328.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento, janeiro/2011**. Disponível em <http://www.CONAB.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011.pdf>. Acesso em 10 fev. 2011.
- CUNHA, G. R. El Niño – Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 277-284, 1999.
- D'ALMEIDA, C. **Oscilações intrasazonais de precipitação na estação chuvosa em São Paulo e condições atmosféricas associadas**. 1997. 113f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB. 1994. 306 p.
- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, p.167-178, 2008.
- DUTRA, L.; PERES, J; SABATINI, A.; CAMARGO, R. Rastreamento dos bloqueios ocorridos próximos à América do Sul em julho de 2008 e 2009 e sua influência sobre São Paulo e a região sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, 2010, Belém. **Anais, SBMET**, CD-ROM.
- DRUMOND, A. R. M. **Anomalias de TSM no Hemisfério Sul e seu impacto na Monção Sul Americana**. 2005, 120 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em 14 fev. 2011.
- FREITAS, E. D. **Variabilidade sazonal e intrasazonal da precipitação no estado do Paraná**. 1998. 133 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

- GANDU, A. W. **Análise estatística de ecos de radar associados a sistemas de precipitação na região leste do estado de São Paulo**. 1984. 161 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 1984.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v. 13, p. 35-58, 2000.
- GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, n. 1, p. 263-280, 2003.
- GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v. 22, n. 2-3, p. 123-138, 2004.
- HIDROWEB: SISTEMA DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 20 dez. 2008.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- HOUZE, R. A. J.; SMULL, B. F.; DODGE, P. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma. **Monthly Weather Review**, v. 118, p. 613-654, 1990.
- JOLLIFFE, I. T. Principal components used with other multivariate techniques. In: _____. **Principal Component Analysis**. New York: Springer-Verlag New York Inc., 1986. cap. 9, p. 156-170.
- JONES, C.; CARVALHO, L. M. V.; HIGGINS, R. W.; WALISER, D. E.; SCHEMM, J. K. E. Climatology of Tropical Intraseasonal Convective Anomalies: 1979 – 2002. **Journal of Climate**, v. 17, p. 523-539, 2004.
- JORGETTI, T. **A Zona de Convergência do Atlântico Sul e os processos oceânicos do Atlântico e do Pacífico**. 2008. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- KAYANO, M. T. Southeastern Pacific blocking episodes and their effects on the South American weather. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 69, p. 145-155, 1999.

- KNOX, J. L.; HAY, J. E. Blocking signatures in the Northern Hemisphere: rationale and identification. **Atmosphere – Ocean**, v. 22, p. 36-47, 1984.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, p. 217-231, 1988.
- LIMA, M. A.; SILVA DIAS, M. A. F. Detecção de uma linha de instabilidade pré-frontal através de análise detalhada dos campos meteorológicos de superfície e do radar meteorológico da Fundação Educacional de Bauru. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1, 1980, Campina Grande. **Resumos**, SBMET, Campina Grande: UFPB, 1980, p. 25.
- MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p. 56-80.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 28, p. 702-708, 1971.
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation - a review. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 814-837, 1994.
- MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília, DF: MMA, 2006. 212 p.
- MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N. S.; WAINER, I. Onset and end of the rainy season in Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, p. 833-852, 2001.
- MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J. Cana-de-açúcar. In: MONTEIRO, J. E. B. A (Coord.). **Agrometeorologia dos Cultivos**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET, 2009. cap. 7, p. 111-130.
- MARQUES, R. F. C. **Bloqueio atmosférico no Hemisfério Sul**. 1996. 182 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- MENDES, M. C. D.; TRIGO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A.; DACAMARA, C. C. Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o oceano Pacífico sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2005.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Balanco Nacional da Cana-de-Açúcar e Agroenergia**. Brasília, DF, 2007. 140 p. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/artigos/economia/balanconacionalcana.pdf>>. Acesso em 18 fev. 2011.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 345-353, 2007.

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Intraseasonal and interannual variability of extreme dry and wet events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during austral summer. **Journal of Climate**, v. 22, p. 1682-1699, 2009.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997.

PHILANDER, S. G. H. El Niño and La Niña. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 42, p. 2652-2662, 1985.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA; L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Eds.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. cap. 31, p. 631-671.

PROJETO CANASAT: **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/index.jsp>>. Acesso em 14 fev. 2011.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

ROSENBERG, N. J.; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. Field photosynthesis, respiration and the carbon balance. In: _____. **Microclimate: the biological environment**. 2ª ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1983. cap. 8, p. 288-330.

SALES, F. H. **Aspectos observacionais e simulações numéricas de uma linha de instabilidade simétrica de longa duração**. 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2000.

SANSINGOLO, C. A.: Variabilidade interanual da estação chuvosa em São Paulo. **Climanálise**, v. 04, n. 09, p. 40-43, 1989.

SCA Etanol do Brasil. **Gráficos da Produção no Brasil**. Disponível em <<http://www.scalcool.com.br/portugues/pdf/Gr%C3%A1ficos%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20Brasil%20-%20UNICA.pdf>>. Acesso em 10 fev. 2011.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, V. Irrigação da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.1, p. 373-429.

SCOLAR, J. **Evolução temporal das condições sinóticas associadas à linhas de instabilidade pré-frontais**. 1983. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 1983.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008, 11p. Disponível em <http://www.iea.sp.gov.br/out/bioenergia/legislacao/zoneamento_agroambiental_cana.pdf>. Acesso em 09 fev. 2009.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de Mesoescala e Previsão de Tempo a Curto Prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 133-150, 1987.

SINCLAIR, M. R. A climatology of anticyclones and blocking for the Southern Hemisphere. **Monthly Weather Review**, v. 124, p. 245-263, 1996.

SPIEGEL, M. R.: Teoria Elementar da Probabilidade. In: _____. **Estatística**. Tradução de Pedro Consentino. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1993. cap. 6, p. 153-184. (Coleção Schaum).

SUGAHARA, S. **Flutuações Interanuais, Sazonais e Intrasazonais da Precipitação no Estado de São Paulo**. 1991. 145 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 1991.

TRENBERTH, K. E. The signature of a blocking episode on the general circulation in the Southern Hemisphere. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 43, n. 19, p. 2061-2069, 1986.

UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA (UDOP). Disponível em <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=988>>. Acesso em 17 fev. 2011.

UNIÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Disponível em <<http://www.unica.com.br/FAQ/>>. Acesso em 14 fev. 2011.

VALVERDE, M. A.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 1, p. 125-145, 2010.

VIRMANI, S. M.: The Agricultural Climate of the Hyderabad Region in relation to Crop Plannig. Internal Report, **Farming Systems Program**. ICRISAT, Hyderabad, India, p. 22, 1975.

WEBSTER, P. J.; CHANG, H. Equatorial energy accumulation and emanation regions: impacts of a zonally varying basic state. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 45, n. 05, p. 803-829, 1987.

APÊNDICE A – Tabelas

Tabela A.1: Informações das estações meteorológicas utilizadas neste trabalho. Continua.

Estação	Código	Latitude	Longitude	Operadora
Orlândia	2047025	20,73	47,88	FCTH/DAEE-SP
Altinópolis	2047028	20,83	47,30	FCTH/DAEE-SP
Batatais	2047029	20,88	47,61	FCTH/DAEE-SP
Ituverava	2047067	20,33	47,76	FCTH/DAEE-SP
Guaira	2048006	20,35	48,30	FCTH/DAEE-SP
Guaraci	2048013	20,49	48,94	COHIDRO - ANA
Olímpia	2048014	20,60	48,98	FCTH/DAEE-SP
Barretos	2048016	20,62	48,77	FCTH/DAEE-SP
Jaborandi	2048019	20,68	48,41	FCTH/DAEE-SP
Américo de Campos	2049004	20,30	49,77	FCTH/DAEE-SP
Sebastianópolis do Sul	2049018	20,63	49,95	FCTH/DAEE-SP
Nipoã	2049028	20,91	49,78	FCTH/DAEE-SP
Icém	2049033	20,33	49,20	FCTH/DAEE-SP
Cedral	2049051	20,91	49,30	FCTH/DAEE-SP
Palmeiras D'oeste	2050012	20,41	50,76	FCTH/DAEE-SP
Fernandópolis	2050024	20,30	50,25	FCTH/DAEE-SP
Ribeirão Preto	2147013	21,30	47,93	FCTH/DAEE-SP
Santa Rosa do Viterbo	2147022	21,52	47,36	FCTH/DAEE-SP
Descalvado	2147043	21,96	47,70	FCTH/DAEE-SP
Casa Branca	2147073	21,93	47,13	FCTH/DAEE-SP
Pitangueiras	2148001	21,05	48,26	FCTH/DAEE-SP
Itápolis	2148031	21,58	48,81	FCTH/DAEE-SP
Araraquara	2148041	21,78	48,17	FCTH/DAEE-SP
Araraquara	2148061	21,88	48,15	FCTH/DAEE-SP
Cândido Rodrigues	2148106	21,33	48,63	FCTH/DAEE-SP
Mendonça	2149005	21,18	49,58	FCTH/DAEE-SP
Urupês	2149006	21,18	49,30	FCTH/DAEE-SP
Barbosa	2149007	21,26	49,93	FCTH/DAEE-SP
Lins	2149018	21,70	49,68	FCTH/DAEE-SP
Cafelândia	2149021	21,81	49,63	FCTH/DAEE-SP
Guaimbê	2149028	21,92	49,90	FCTH/DAEE-SP
Araçatuba	2150001	21,05	50,47	FCTH/DAEE-SP
Araçatuba	2150010	21,20	50,45	FCTH/DAEE-SP
Alto Alegre	2150026	21,58	50,17	FCTH/DAEE-SP
Getulina	2150029	21,70	50,30	FCTH/DAEE-SP
Osvaldo Cruz	2150032	21,80	50,87	FCTH/DAEE-SP
Diamantina	2151005	21,78	51,18	FCTH/DAEE-SP
Monte Castelo	2151006	21,13	51,77	FCTH/DAEE-SP
Irapuru	2151011	21,56	51,35	FCTH/DAEE-SP
Alfredo Marcondes	2151021	21,95	51,41	FCTH/DAEE-SP
Aguaí	2246003	22,06	46,97	COHIDRO - ANA
Lindóia	2246016	22,51	46,65	FCTH/DAEE-SP
Monte Alegre do Sul	2246022	22,70	46,67	FCTH/DAEE-SP
Joanópolis	2246090	22,93	46,26	FCTH/DAEE-SP
Leme	2247005	22,16	47,28	FCTH/DAEE-SP
Araras	2247011	22,25	47,38	FCTH/DAEE-SP
Campinas	2247041	22,78	47,03	FCTH/DAEE-SP
Rio das Pedras	2247044	22,86	47,61	FCTH/DAEE-SP

Tabela A.1: Conclusão.

Estação	Código	Latitude	Longitude	Operadora
Campinas	2247046	22,88	47,08	FCTH/DAEE-SP
Artur Nogueira	2247100	22,56	47,16	FCTH/DAEE-SP
São Carlos	2248004	22,06	48,06	FCTH/DAEE-SP
Dourado	2248009	22,13	48,32	FCTH/DAEE-SP
Pederneiras	2248015	22,31	48,98	FCTH/DAEE-SP
Botucatu	2248029	22,81	48,43	FCTH/DAEE-SP
Torrinha	2248045	22,38	48,17	FCTH/DAEE-SP
Pirajuí	2249005	22,05	49,61	FCTH/DAEE-SP
Cabrália Paulista	2249023	22,45	49,31	FCTH/DAEE-SP
Ribeirão do Sul	2249028	22,78	49,93	FCTH/DAEE-SP
Óleo	2249086	22,95	49,38	FCTH/DAEE-SP
Rancharia	2250009	22,22	50,88	FCTH/DAEE-SP
Assis	2250048	22,68	50,48	FCTH/DAEE-SP
Paraguaçu Paulista	2250063	22,41	50,56	FCTH/DAEE-SP
Marabá Paulista	2251002	22,10	51,97	FCTH/DAEE-SP
Indiana	2251009	22,15	51,25	FCTH/DAEE-SP
Mirante do Paranapanema	2251012	22,30	51,91	FCTH/DAEE-SP
Narandiba	2251014	22,41	51,51	FCTH/DAEE-SP
Redenção da Serra	2345023	23,28	45,53	FCTH/DAEE-SP
Taubaté	2345062	23,03	45,55	CPRM - ANA
São Luís do Paraitinga	2345067	23,32	45,09	CPRM - ANA
São José dos Campos	2345164	23,18	45,80	FCTH/DAEE-SP
Itatiba	2346001	23,01	46,83	FCTH/DAEE-SP
Arujá	2346025	23,38	46,35	FCTH/DAEE-SP
Itapeccerica da Serra	2346071	23,78	46,92	FCTH/DAEE-SP
Cotia	2346287	23,56	46,93	FCTH/DAEE-SP
Porto Feliz	2347014	23,20	47,52	FCTH/DAEE-SP
Mairinque	2347029	23,43	47,25	FCTH/DAEE-SP
Pilar do Sul	2347049	23,83	47,65	FCTH/DAEE-SP
Ibiúna	2347052	23,95	47,21	FCTH/DAEE-SP
Bofete	2348004	23,06	48,48	FCTH/DAEE-SP
Guareí	2348014	23,36	48,18	FCTH/DAEE-SP
Angatuba	2348017	23,48	48,41	FCTH/DAEE-SP
Itapetininga	2348026	23,78	48,35	FCTH/DAEE-SP
Itapeva	2348031	23,97	48,95	FCTH/DAEE-SP
Cerqueira César	2349002	23,03	49,16	FCTH/DAEE-SP
Piraju	2349007	23,19	49,39	CPRM - ANA
Taguaí	2349016	23,45	49,41	FCTH/DAEE-SP
São Miguel Arcanjo	2447007	24,05	47,99	FCTH/DAEE-SP
Itariri	2447010	24,26	47,16	FCTH/DAEE-SP
Sete Barras	2447012	24,28	47,95	FCTH/DAEE-SP
Apiáí	2448013	24,52	48,85	FCTH/DAEE-SP
Iporanga	2448015	24,55	48,43	FCTH/DAEE-SP
Jacupiranga	2448024	24,71	48,11	FCTH/DAEE-SP
Barra do Turvo	2448026	24,75	48,50	FCTH/DAEE-SP

Tabela A.2: Correspondência entre as pêntadas e as datas convencionais.

Pêntada	Data convencional	Pêntada	Data convencional
1	01 - 05 / jan	37	30 / jun – 04 / jul
2	06 - 10 / jan	38	05 - 09 / jul
3	11 - 15 / jan	39	10 - 14 / jul
4	16 - 20 / jan	40	15 - 19 / jul
5	21 - 25 / jan	41	20 - 24 / jul
6	26 - 30 / jan	42	25 - 29 / jul
7	31 / jan – 04 / fev	43	30 / jul – 03 / ago
8	05 - 09 / fev	44	04 - 08 / ago
9	10 - 14 / fev	45	09 - 13 / ago
10	15 - 19 / fev	46	14 - 18 / ago
11	20 - 24 / fev	47	19 - 23 / ago
12	25 / fev – 01 / mar	48	24 - 28 / ago
13	02 - 06 / mar	49	29 / ago – 02 / set
14	07 - 11 / mar	50	03 - 07 / set
15	12 - 16 / mar	51	08 - 12 / set
16	17 - 21 / mar	52	13 - 17 / set
17	22 - 26 / mar	53	18 - 22 / set
18	27 - 31 / mar	54	23 - 27 / set
19	01 - 05 / abr	55	28 / set – 02 / out
20	06 - 10 / abr	56	03 - 07 / out
21	11 - 15 / abr	57	08 - 12 / out
22	16 - 20 / abr	58	13 - 17 / out
23	21 - 25 / abr	59	18 - 22 / out
24	26 - 30 / abr	60	23 - 27 / out
25	01 - 05 / mai	61	28 / out – 01 / nov
26	06 - 10 / mai	62	02 - 06 / nov
27	11 - 15 / mai	63	07 - 11 / nov
28	16 - 20 / mai	64	12 - 16 / nov
29	21 - 25 / mai	65	17 - 21 / nov
30	26 - 30 / mai	66	22 - 26 / nov
31	31 / mai - 04 / jun	67	27 / nov – 01 / dez
32	05 - 09 / jun	68	02 - 06 / dez
33	10 - 14 / jun	69	07 - 11 / dez
34	15 - 19 / jun	70	12 - 16 / dez
35	20 - 24 / jun	71	17 - 21 / dez
36	25 - 29 / jun	72	22 - 26 / dez
		73	27 - 31 / dez

APÊNDICE B – Médias mensais climatológicas para cada estação meteorológica

APÊNDICE C – Morfologia e ciclo de vida da cana-de-açúcar

Ciclo de vida da cana-de-açúcar (adaptado de DOORENBOS; KASSAM, 1994)

Morfologia da cana-de-açúcar

Colmos da cana-de-açúcar, formado por internódios, separados entre si por nós.

Touceira formada por perfilhos.

Inflorescência da cana-de-açúcar.

ANEXO A.1 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário A2.

CHUVA

ANEXO A.2 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para DJF, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário B2.

ANEXO A.3 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário A2.

ANEXO A.4 - Mapas com projeções de anomalias de chuva (mm/dia) para JJA, para os períodos 2010-2040, 2041-2070, e 2071-2100, para o cenário B2.