

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**OS AREAIS DO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL: ESTUDO
SOBRE AS CHUVAS NO SÉCULO XX E UM POSSÍVEL
CENÁRIO PARA O SÉCULO XXI**

FABIO DE OLIVEIRA SANCHES

Orientador: Prof. Dr. Roberto Verdum

Co-orientador: Prof. Dr. Gilberto Fisch

Porto Alegre – 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**OS AREAIS DO SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL: ESTUDO
SOBRE AS CHUVAS NO SÉCULO XX E UM POSSÍVEL
CENÁRIO PARA O SÉCULO XXI**

FABIO DE OLIVEIRA SANCHES

Orientador: Prof. Dr. Roberto Verdum

Co-Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fisch

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Emerson Galvani (PPGGF/FFLCH/USP).

Prof. Dr. Gilvan Sampaio (CCST/INPE).

Prof^a. Dr^a Dirce M^a Antunes Suertegaray (POSGEA/IG/UFRGS).

Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino (POSGEA/IG/UFRGS).

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia como requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Porto Alegre – 2013

CIP – Catalogação na Publicação

Sanches, Fabio de Oliveira

Os Areais do sudoeste do Rio Grande do Sul:
estudo sobre as chuvas no século XX e um possível
cenário para o século XXI / Fabio de Oliveira
Sanches. -- 2013.

188 f.

Orientador: Roberto Verdum.

Coorientador: Gilberto Fernando Fisch.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de
Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2013.

1. Arenização. 2. Precipitações pluviométricas. 3.
Mudanças climáticas. 4. Modelos Climáticos. 5. Testes
estatísticos. I. Verdum, Roberto, orient. II. Fisch,
Gilberto Fernando, coorient. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Embora este seja um trabalho calcado em princípios científicos, não posso deixar de agradecer, primeiramente, a DEUS pela iluminação, sabedoria, coragem e força, todos os dias de minha vida, sobretudo, durante o desenvolvimento desta tese.

Agradecer de modo muito especial ao Dr. Roberto Verdum por ter me aceitado como orientando, mesmo sem saber de onde eu vinha, mas certamente imaginando para onde essa parceria nos levaria. Agradeço por ter me apresentado aos Areais do Rio Grande do Sul e espero continuar trabalhando em parceria.

Ao Dr. Gilberto Fisch (meu querido padrinho), por aceitar a missão de coorientador no trabalho. Amigo que sempre esteve ao meu lado. Agradeço, também, pelo apoio (inclusive emocional) que sempre dispensaste comigo.

Saibam os senhores (Verdum e Gilberto), que a responsabilidade em não desapontá-los pesou, pesa e sempre pesará sobre meus ombros. Muito obrigado.

Aos meus pais, Alcides e Eliete, pelo amor, sabedoria e apoio em todos os momentos que foram necessários.

À minha esposa Amanda pelo seu amor, companheirismo e compreensão em todos os momentos. Sei que foi difícil, mas sem você ao meu lado, teria sido mais difícil.

À minha filha Lavínia (luz da minha vida). Sei que muitas vezes não entendia o porquê seu pai estava sempre sentado ao computador, com livros, teses, dissertações e textos. Perdoe-me pelos momentos ausentes.

Ao Dr. José A. Marengo por me aceitar como colaborador em seu projeto intitulado “*Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change In Brazil and Strategies for Adaptation Options*” (FAPESP 2008/58161-1) e, também, por disponibilizar os dados climáticos futuros da região dos areais gaúchos para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradecer também ao CNPq (MCTI/CNPQ – Universal nº 14/2012) e a FAPERGS (Edital 04/2012 – PQ Gaúcho) pelo auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

Agradecer à Lauri Radünz o qual sempre esteve disposto a me auxiliar com os modelos estatísticos. Por causa da conversão de suas “horas-técnicas” em moeda corrente (principalmente às de nacionalidade chilena), acho que sempre terei dúvidas em estatística, meu amigo.

Agradecer também a Altemir Mossi, Gean Delise, Paulo Hartmann, Gismael Perin, Leandro Galon, Dilermando Cattaneo, Juçara Spinelli, Éverton Kozenieski pelas intermináveis conversas sobre o trabalho de pesquisa, seu método, seu andamento etc. Obrigado meus amigos.

Não posso me esquecer da Helen Treichel, Darline Balen e Leonardo Chechi pelas correções feitas nos textos em inglês.

Aos professores do POSGEA, Roberto Verdum, Nina Valverde, Luiz Eduardo Robaina, Jeannine Corbonnois, Jefferson Cardia Simões, Rosemary Vieira pela oportunidade de aprender mais em suas aulas.

Às Professoras Dirce Suertegaray e Maria da Graça Sartori e ao Professor Laurindo Guasselli pelas importantes contribuições propostas a este trabalho.

Aos Professores Emerson Galvani, Gilvan Sampaio e Francisco Eliseu Aquino por terem aceitado o convite para a defesa final e pelas importantes contribuições propostas.

Aos colegas do programa de Pós-graduação em Geografia (POSGEA) com quem convivi, com destaque para Alexandre Felipe Bruschi, Sidnei Luís Bohn Gass, Rudimar Scheren e Andrey Binda. Obrigado pelas longas conversas acadêmicas e não acadêmicas.

Um agradecimento mais que especial ao parceiro de todas as horas, Sidnei Luis Bohn Gass, por, inclusive, auxiliar na cartografia do trabalho.

Por fim, agradecer a todos que, de uma forma ou outra, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Muito obrigado!

RESUMO

Na região da campanha gaúcha, no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, existem áreas que demonstram fragilidade em relação às características litológicas, pedológicas e da cobertura vegetal, principalmente, quando relacionadas às dinâmicas do clima. Os areais da região têm despertado especial atenção nas últimas décadas, devido a questões históricas, socioeconômicas e ambientais. O processo de arenização está relacionado à dinâmica de fenômenos naturais como as precipitações intensas e período de estiagens, estes associadas à dinâmica dos ventos. Contudo, frente aos estudos de simulação climática que projetam os possíveis cenários climáticos futuros, quais seriam as possíveis dinâmicas processuais na região dos areais? O presente trabalho tem por objetivo geral desenvolver um estudo observacional sobre a dinâmica das precipitações para a região no decorrer do século XX, buscando encontrar possíveis evidências de modificação na sua dinâmica em relação ao processo de arenização. O trabalho, também, analisou os dados de precipitação a partir do modelo *downscaling* Eta/CPTEC 40 km acoplado ao Modelo Climático Global HadCM3 para o cenário SRES A1B. Foram utilizados dados pluviométricos diários dos postos de Alegrete (RS) disponíveis pela Agência Nacional de Águas, os quais foram tratados estatisticamente (preenchimento de falhas, consistência dos dados, análise dos totais anuais, totais trimestrais, totais mensais, dias com chuvas $\geq 1, 10, 20, 30, 50, 80, 100$ mm, índice simples de intensidade diária – SDII, número de dias com chuvas ≤ 1 mm, comprimento máximo do período seco – CDD e o comprimento máximo do período seco mensal – CDDmês), em relação a sua dinâmica no decorrer da série (variabilidade, tendências e ocorrência de eventos extremos) através da aplicação do Teste de Mann-Kendall de significância estatística. Após a aplicação deste teste, os resultados demonstraram que a maior parte da série não apresentou tendência significativa à modificação, sendo encontradas variações normais durante o período analisado. Em relação aos fenômenos climáticos de baixa frequência como o El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), foram verificadas suas correspondências utilizando o Índice de Anomalia de Chuva. Após sua aplicação, os resultados demonstraram que ambos os fenômenos (ENOS e ODP) modulam as precipitações anuais na região. Verificou-se, também, que as mudanças consideradas significativas pelo Teste de Mann-Kendall no século XX, sobretudo quanto à ocorrência de eventos extremos de precipitação, apresentaram forte relação com os processos de arenização associados à dinâmica hídrica. O aumento da frequência desses eventos no decorrer do século XX pode ter contribuído para a intensificação de parte dos processos de arenização na região. Já os resultados da modelagem climática apontaram para um aumento das precipitações nas estações da primavera, verão e outono, com incrementos pluviométricos nos meses de novembro, janeiro e março, que podem vir a influenciar nos processos arenização associados às precipitações torrenciais.

Palavras-chave: Areais, Arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul, precipitações pluviométricas, testes estatísticos, mudanças climáticas, modelos climáticos.

ABSTRACT

In the southwestern state of Rio Grande do Sul, in the Campos/grassland there are areas showing fragility related to soil, vegetation and climatic characteristics. The sands of the region in recent decades have attracted special attention due to historical issues, socio economic and environmental factors. The process of sandization is related to the dynamics of natural phenomena such as intense rainfall and drought period, which are associated to winds dynamic. However, compared to studies of climate simulation to design the possible future climate scenarios, which would be possible in the area dynamics of sands? The aim of this study is to develop observational analysis on the dynamics of rainfall for the region during the twentieth century, trying to find possible evidence of change in its dynamics in relation to the process of sandization. The study analyzed rainfall data from climate simulation of the precipitation from the downscaling model Eta / CPTEC 40 km coupled to the Global Climate Model output of HadCM3 for the SRES A1B scenario. Daily rainfall data of stations Alegrete (RS) available through the *Agência Nacional de Águas* were used, which were statistically (gap filling, data consistency, analysis of annual totals, quarterly totals, monthly totals, days with rainfall $\geq 1, 10, 20, 30, 50, 80, 100$ mm, simple daily intensity index - SDII, number of days with rains ≤ 1 mm, maximum length of the dry period - CDD and the maximum length of the dry period monthly – CDDmonthly), analyzed in terms of their dynamic throughout the series (variability, trends and extreme events) by applying the Mann-Kendall. The results showed that most of the series showed no significant tendency to changes, with normal variations encountered during the period. The low frequency climatic phenomena such as El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Pacific Decadal Oscillation (PDO) were evaluated for their correspondences using the rainfall anomaly index (RAI). The results showed that both phenomena (ENSO and PDO) modulate annual rainfall in the region. It is also significant that the changes assessed by the Mann-Kendall in the twentieth century, on the occurrence of extreme precipitation events, showed a great relationship with the processes associated with sandization water dynamics. The increased frequency of these events during the twentieth century may have contributed to the intensification of the processes of sandization in the region. The results of climate modeling indicated increased rainfall in the seasons of spring, summer and fall, with increases rainfall in the months of November, January and March what may influence the sandization processes associated with torrential rainfall.

Key-words: Sands, sandization, Southwest of Rio Grande do Sul, rainfall, statistical tests, climate change, climate models.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis pequenos).	12
Figura 2. Mudanças nos índices de precipitação para o período 2090-2099, em relação a 1961-1990, baseado no cenário SRES A1B. As siglas DJF e JJA correspondem aos meses de verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) e inverno (Junho-Julho-Agosto), respectivamente.	14
Figura 3. Esquema de um Modelo Global Acoplado Oceano-Atmosfera (AOGCMs).	18
Figura 4. Esquema do modelo climático acoplado HadCM3.	21
Figura 5. Resolução atmosférica horizontal do modelo CSIRO.	21
Figura 6. As famílias de cenários SRES propostas pelos TAR e AR4.	23
Figura 7. Quadro síntese dos cenários SRES (<i>Special Report on Emissions Scenarios</i>) retirado do TAR e do AR4.	24
Figura 8. Área de atuação dos sistemas atmosféricos no estado do Rio Grande do Sul.	39
Figura 9. Representação esquemática de uma Esteira Transportadora Quente com levantamento inclinado para frente. A linha tracejada indica a frente fria em altitude.	41
Figura 10. Representação gráfica dos Jatos de Baixo Nível a Leste dos Andes.	42
Figura 11. Imagem Realçada do satélite GOES representando a formação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM).	43
Figura 12. Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase positiva do fenômeno ENOS (El Niño).	45
Figura 13. Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase negativa do fenômeno ENOS (La Niña).	46
Figura 14. Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico.	48
Figura 15. Localização dos postos pluviométricos utilizados em Alegrete (RS).	52
Figura 16. Correlação de dados de precipitação entre Fazenda Três Capões e Alegrete (INMET).	67
Figura 17. Correlação de dados de precipitação entre Estação do Tigre e Alegrete (INMET).	68
Figura 18. Correlação de dados de precipitação entre Passo Mariano Pinto e Alegrete (INMET).	68
Figura 19. Correlação de dados de precipitação entre Passo Mariano Pinto e Alegrete (ANA).	69
Figura 20. Correlação de dados de precipitação entre Uruguaiana (INMET) e Alegrete (INMET) entre os anos de 1934-1941.	70
Figura 21. Correlação de dados de precipitação entre Uruguaiana (INMET) e Alegrete (INMET) entre os anos de 1943-1953.	71

Figura 22. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Estação do Tigre e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1947-1955.	72
Figura 23. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Passo Mariano Pinto e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1970-1980.	73
Figura 24. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Passo Mariano Pinto e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1999-2007.	73
Figura 25. Curva de Dupla Massa para análise de consistência entre os dados de Alegrete e as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguiana.	74
Figura 26. Totais anuais de precipitação da série temporal Alegrete (1928-2009) e desvio-padrão da série.	78
Figura 27. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a série temporal Alegrete (1928-2009).	81
Figura 28. Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico.	82
Figura 29. Serie temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul.	83
Figura 30. Totais anuais de precipitação da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.	84
Figura 31. Precipitações trimestrais dos verões (janeiro, fevereiro e março) da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.	86
Figura 32. Precipitações trimestrais dos outonos (abril, maio e junho) da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.	87
Figura 33. Precipitações trimestrais dos invernos (julho, agosto e setembro) da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.	88
Figura 34. Precipitações trimestrais das primaveras (outubro, novembro e dezembro) da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.	89
Figura 35. Totais mensais de precipitação dos meses de janeiro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	90
Figura 36. Totais mensais de precipitação dos meses de fevereiro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	92
Figura 37. Totais mensais de precipitação dos meses de março da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	93
Figura 38. Totais mensais de precipitação dos meses de abril da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	95
Figura 39. Totais mensais de precipitação dos meses de maio da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	96
Figura 40. Totais mensais de precipitação dos meses de junho da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	97
Figura 41. Totais mensais de precipitação dos meses de julho da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	98
Figura 42. Totais mensais de precipitação dos meses de agosto da série	99

temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Figura 43. Totais mensais de precipitação dos meses de setembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	101
Figura 44. Totais mensais de precipitação dos meses de outubro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	102
Figura 45. Totais mensais de precipitação dos meses de novembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	103
Figura 46. Totais mensais de precipitação dos meses de dezembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	104
Figura 47. Total anual de dias com chuvas ≥ 1 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	107
Figura 48. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 1 mm em Alegrete.	109
Figura 49. Total anual de dias com chuvas ≥ 10 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	110
Figura 50. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 10 mm em Alegrete.	113
Figura 51. Total anual de dias com chuvas ≥ 20 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	114
Figura 52. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 20 mm em Alegrete.	117
Figura 53. Total anual de dias com chuvas ≥ 30 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	118
Figura 54. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 30 mm em Alegrete.	121
Figura 55. Total anual de dias com chuvas ≥ 50 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	122
Figura 56. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 50 mm em Alegrete.	124
Figura 57. Total anual de dias com chuvas ≥ 80 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	125
Figura 58. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 80 mm em Alegrete.	128
Figura 59. Total anual de dias com chuvas ≥ 100 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	129
Figura 60. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 100 mm em Alegrete.	132
Figura 61. Índice Simples de Precipitação Diária (SDII) dos anos da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	133
Figura 62: Maior período seco (chuvas inferiores a 1 mm) no ano da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.	135
Figura 63. Tendências mensais de dias secos (com chuvas inferiores a 1 mm) em Alegrete.	137
Figura 64. Tendências mensais dos maiores períodos secos no mês em Alegrete.	140
Figura 65. Hidrograma da bacia do arroio Miracatu para os anos de 1970-1971.	145

Figura 66. Hidrograma da bacia do arroio Miracatu para os anos de 1982-1983.	146
Figura 67. Gráfico com as precipitações diárias da série Alegrete (1928-2009).	148
Figura 68. Correlação linear de dados entre os dados da ANA e os dados do Modelo Regional Eta/CPTEC (1961-1990).	152
Figura 69. Resíduos percentuais entre dados observados ANA e dados projetados pelo Eta/CPTEC para o período de 1961-1990.	154
Figura 70. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2011-2040) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.	155
Figura 71. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2041-2070) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.	156
Figura 72. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2071-2099) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.	157
Figura 73. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2011-2099) para Manoel Viana, sua respectiva linha de tendência e desvio padrão da série.	158
Figura 74. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no <i>time-slice</i> 2011-2040.	159
Figura 75. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no <i>time-slice</i> 2041-2070.	160
Figura 76. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no <i>time-slice</i> 2071-2099.	161
Figura 77. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC para o período de 2011-2099.	162
Figura 78. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2011-2040).	164
Figura 79. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2041-2070).	166
Figura 80. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2071-2099).	168
Figura 81. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2011-2099).	170

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação dos postos pluviométricos analisados e o período de dados utilizados.	53
Tabela 2: Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva.	58
Tabela 3: Descrição dos índices climáticos utilizados.	58
Tabela 4: Sequência de dados dos postos pluviométricos utilizados no município de Alegrete.	65
Tabela 5: Relação dos postos correlacionados para preenchimento de falhas por Regressão Linear.	66
Tabela 6: Precipitações mensais da série temporal Alegrete no período de 1928-2009 após preenchimento de falhas de registro de dados.	76
Tabela 7: Relação dos anos considerados chuvosos para Alegrete e sua relação com o fenômeno ENOS.	78
Tabela 8: Relação dos anos considerados menos chuvosos para Alegrete e sua relação com o fenômeno ENOS.	79
Tabela 9: Resultado da análise de tendência do com nível de confiança de 95%.	85
Tabela 10: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	89
Tabela 11: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	105
Tabela 12: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 1 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	110
Tabela 13: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 10 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	114
Tabela 14: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 20 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	118
Tabela 15: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 30 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	122
Tabela 16: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 50 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	125
Tabela 17: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 80 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	129
Tabela 18: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 100 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	133
Tabela 19: Estatística básica dos dias secos mensais para a série temporal Alegrete (1932-2009).	136
Tabela 20: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas menores que 1 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	138
Tabela 21: Resultado da análise de tendência do maior período seco no mês da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.	141
Tabela 22: Cálculo da Frequência, Frequência Relativa e do Tempo de Retorno dos eventos intensos de precipitação para a série Alegrete (1928-	149

2009).

Tabela 23: Tendências consideradas significativas pelo Teste de Mann-Kendall para os dias com precipitações ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, dias secos (< 1 mm) e CCD/mês.	151
Tabela 24: Estatística (z) do Teste <i>t</i> de <i>Student</i> para os dados Eta/CPTEC e ANA no período de 1961-1990.	153
Tabela 25: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do <i>time-slice</i> (2011-2040) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.	159
Tabela 26: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do <i>time-slice</i> (2041-2070) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.	160
Tabela 27: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do <i>time-slice</i> (2071-2099) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.	161
Tabela 28: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais no período de 2011-2099 para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.	162
Tabela 29: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no <i>time-slice</i> (2011-2040) com nível de confiança de 95%.	165
Tabela 30: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no <i>time-slice</i> (2041-2070) com nível de confiança de 95%.	167
Tabela 31: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no <i>time-slice</i> (2071-2099) com nível de confiança de 95%.	169
Tabela 32: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana o período de 2011-2099 com nível de confiança de 95%.	171

LISTA DE SIGLAS

- ANA** – Agência Nacional de Águas;
- AOGCMs** – *Atmospheric-Oceanic Global Climate Models* (Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera);
- AR** – *Assessment Report*;
- AR4** – 4º Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas;
- AR5** – 5º Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas;
- BHC** – Balanço Hídrico Climatológico;
- BHD** – Balanços Hídricos Decadais;
- CBs** – Nuvens *Cumulonimbus*;
- CCD** – Maior período seco no ano;
- CCDmês** – Maior período seco no mês;
- CCM** – Complexos Convectivos de Mesoescala;
- Cfa** – Clima Mesotérmico (Subtropical), sem estação seca e com verões quentes;
- CFSR** - *Climate Forecast System Reanalysis*;
- CH₄** – Metano;
- CLIVAR** – Grupo de Variabilidade e Previsibilidade do Sistema Oceano-Atmosfera;
- CO₂** – Dióxido de Carbono
- CPTEC** – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos;
- CRU** - *Climate Research Unit*;
- DJF** – Trimestre Dezembro/Janeiro/Fevereiro;
- EN** – El Niño;
- ENOS** – El Niño Oscilação Sul;
- Eta/CPTEC** – Modelo climático de escala regional (*downscaling*);
- ETCCDI** - *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*;
- ETQ** – Esteira Transportadora Quente;
- FPA** – Frente Polar Atlântica;
- FUNCEME** – Fundação Cearense de Meteorologia;
- GCMs** – *Global Climate Models* (Modelos Globais Atmosféricos);
- GT** – Grupo de Trabalho;
- H₂O** – Água;
- HadCM3** – Modelo Climático Global desenvolvido pelo *Hadley Centre for Climate Prediction and Research*;
- HIDROWEB** – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas;
- IAC** – Índice de Anomalia de Chuva;
- IME** – Índice Multivariado de ENOS;
- INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia;
- INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;
- IPCC** – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas;

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul;

JBN – Jatos de Baixos Níveis;

JJA – Trimestre Junho/Julho/Agosto;

LI – Linhas de Instabilidade;

LN – La Niña;

MAM – Trimestre Março/Abril/Maio;

MK – Mann-Kendall;

mm – Milímetros;

MPA – Massa Polar Atlântica;

MPV – Massa Polar Velha;

MTA – Massa Tropical Atlântica;

MTAc – Massa Tropical Atlântica continentalizada;

MTC – Massa Tropical Continental;

N₂O – Óxido Nitroso

NCEP - . *National Center for Environmental Prediction*;

O₃ – Ozônio;

ODP – Oscilação Decadal do Pacífico;

OMM – Organização Meteorológica Mundial;

PBMC – Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas;

PCD – Plataforma de Coleta de Dados;

PCMDI - *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* (Programa para Diagnósticos e Intercomparações entre os Modelos Climáticos);

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente;

ppb – Partes por bilhão;

ppm - Partes por milhão;

R² - Coeficiente de Determinação;

SAR – *Second Assessment Report* (Segundo Relatório Científico)

SDII – Índice Simples de Intensidade Diária;

SMK – Sazonal Mann-Kendall;

SON – Trimestre Setembro/Outubro/Novembro;

SRES – *Special Report on Emissions Scenarios* (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões);

TAR – *Third Assessment Report* (Terceiro Relatório Científico);

TSM – Temperatura da Superfície do Mar;

WCRP – Programa Mundial de Pesquisa Climática;

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul;

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	A DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	1
1.2	HIPÓTESE.....	7
1.3	OBJETIVO.....	7
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	O IPCC E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	9
2.2	OS MODELOS GLOBAIS ATMOSFÉRICOS (GCMs) E OS CENÁRIOS FUTUROS PROPOSTOS PELO IPCC	18
2.2.1	Principais modelos do tipo AOGCMs aceitos pelo IPCC	20
2.2.2	A Técnica do Downscaling e os Modelos Regionais	25
2.3	ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS	31
2.4	A CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS NO RIO GRANDE DO SUL	37
2.4.1	Complexos Convectivos de Mesoescala	41
2.4.2	El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP)	44
2.5	O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC) COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE	50
3.	RECURSOS INSTRUCIONAIS E DESCRIÇÃO METODOLÓGICA	52
3.1	ETAPAS PROCESSUAIS	52
3.2	PRIMEIRA ETAPA: COLETA, ORGANIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	52
3.2.1	Aquisição dos dados e tratamento preliminar.....	52
3.2.1.1	Conjunto de dados pluviométricos – Agência Nacional de Águas (ANA)	52
3.2.1.1.1	Organização dos dados pluviométricos diários.....	54
3.3	SEGUNDA ETAPA: ORGANIZAÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	55
3.3.1	Análises de tendência das séries.....	55
3.3.2	Análise da frequência das séries	58
3.4	TERCEIRA ETAPA: A RELAÇÃO DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E A ARENIZAÇÃO	59
3.5	QUARTA ETAPA: ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS FUTUROS	61
3.5.1	Análise dos dados downscaling do Modelo Climático Regional ETA/CPTEC	61
3.5.2	Tratamento estatístico e análise de tendência	62
4.	RESULTADOS DA ANÁLISE DOS DADOS	64
4.1	ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS	64
4.1.1	Dados no município de Alegrete.....	64

4.1.1.1	Seleção dos postos	64
4.1.1.2	Preenchimento de falhas	66
4.1.1.3	Análise de consistência dos dados	71
4.1.1.4	Análises estatísticas para série Alegrete	77
4.1.1.4.1	Análise das tendências para a série Alegrete	77
4.1.1.4.1a	Análise dos totais anuais e da tendência.....	77
4.1.1.4.1b	Tendência dos totais trimestrais.....	85
4.1.1.4.1c	Tendência dos totais mensais.....	90
4.1.1.4.2	Análise das frequências das precipitações diárias em Alegrete.....	106
4.1.1.4.2 a	Precipitações ≥ 1 mm.....	106
4.1.1.4.2 b	Precipitações ≥ 10 mm.....	110
4.1.1.4.2 c	Precipitações ≥ 20 mm.....	114
4.1.1.4.2 d	Precipitações ≥ 30 mm.....	118
4.1.1.4.2 e	Precipitações ≥ 50 mm.....	122
4.1.1.4.2 f	Precipitações ≥ 80 mm.....	125
4.1.1.4.2 g	Precipitações ≥ 100 mm.....	129
4.1.1.4.2 h	Índice Simples de Precipitação Diária (SDII).....	133
4.1.1.4.2 i	Maior Período Seco no Ano (CDD).....	134
4.1.1.4.2 j	Dias Secos no mês (CDDmês).....	135
4.1.1.4.2 k	Maior Período Seco no Mês.....	138
4.2	O PROCESSO DE ARENIZAÇÃO E AS PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS	141
4.2.1	Os eventos extremos de precipitação no Século XX e o processo de arenização	146
4.3	ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS PROPOSTOS PELO MODELO ETA/CPTEC PARA MANOEL VIANA	152
4.3.1	Verificação da homogeneidade dos dados (1961-1990): fase de calibração do modelo	152
4.3.1.1	Tendências dos totais anuais	155
4.3.1.2	Tendência dos totais trimestrais	158
4.3.1.3	Tendência dos totais mensais	163
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	172
	REFERÊNCIAS	176

1. INTRODUÇÃO

1.1 A DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, na Campanha gaúcha junto aos municípios de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quarai, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda, existe um conjunto de áreas cobertas pela vegetação de formação campestre típica do bioma Pampa.

Nessas áreas, consideradas como “pradarias mistas” por Ab’Saber (2003) – uma espécie de mosaico composto pela vegetação de campos entremeados de matas galerias – a paisagem demonstra sua fragilidade em relação às características pedológico-climáticas, caracterizadas pela rarefação ou falta de cobertura vegetal, constituindo-se em áreas de solo arenoso conhecidas, localmente, por **areais** (SUERTEGARAY, 1987; SUERTEGARAY, 1998; VERDUM, 1997; SUERTEGARAY, GUASSELLI, VERDUM, 2001; VERDUM 2004; SUERTEGARAY et al., 2005, SILVA, 2009 e SUERTEGARAY et al., 2012).

Para Suertegaray (1998) tais áreas arenosas do sudoeste do Rio Grande do Sul assumiram significativa importância de cunho ecológico, tanto pelo poder público, o qual promoveu diversos trabalhos técnicos nas décadas de 1970 e 1980, como pela própria imprensa (local, regional e nacional) relatando tal problemática e associando-a a fenômenos de desertificação. Dentre diversos trabalhos que abordaram a temática dos areais a autora, ainda, faz uma referência especial aos trabalhos técnicos de:

[...] Gomes, Carvalho e Barbosa, Estudos de geomorfologia de Alegrete, RS (1980); o livro Manual de conservação do solo, publicado pela Secretaria da Agricultura do RS, que apresenta uma descrição das áreas arenosas e as técnicas de controle que vêm sendo implantadas, e o trabalho de Benaduce (1983) intitulado Estudo geográfico do processo de erosão em Alegrete, RS – O areal de São João, que constitui uma caracterização das manchas arenosas, especialmente do município de Alegrete, além da análise da divulgação do problema de erosão da campanha gaúcha. Cabe ainda citar o livro: Desertos? Uma ameaça (Souto, 1985) e tantas outras reportagens sobre o tema que estão presentes em nossos jornais (SUERTEGARAY, 1998).

Discussões acerca dos fenômenos encontrados nesses municípios, onde foram caracterizados por processos de desertificação, remontam aos anos de 1970 graças ao papel da imprensa em divulgar reportagens sobre a degradação dos solos da região, apresentando feições características de desertos (SUERTEGARAY, 1987).

Suertegaray (2000) acredita que a associação dos fenômenos dos areais aos de um ambiente com características de deserto se deve, principalmente, ao trabalho de Souto (1985) *apud* Suertegaray (*op. cit*) e a outras tantas reportagens veiculadas pela imprensa, tratando o fenômeno como deserto e o processo como o de desertificação.

Para autora, o livro de Souto (*op. cit*) intitulado: *Desertos? Uma ameaça* faz menção à origem dos processos de desertificação na região como oriundos de uma histórica ocupação pecuarista, através do superpastoreio e da atividade agrícola decorrente da expansão das lavouras de soja e sua mecanização.

Sob o ponto de vista da gênese dos processos, partindo da análise do conceito sobre desertificação¹ e analisando os fenômenos regionais como objeto de estudo, é possível considerar que a tese de Suertegaray intitulada: *A trajetória da natureza: Um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí - RS* defendida no ano de 1987 iniciou uma série de estudos sobre a dinâmica dos areais de forma mais sistemática. Desqualificando-o como decorrente de um processo de desertificação e classificando o fenômeno (dos areais) e suas feições erosivas (ravinas e voçorocas), como consequência de um processo de arenização, a autora defende a tese de que tal processo (arenização) decorre em primeira instância no “*retrabalhamento de depósitos areníticos pouco ou nada consolidados e que promovem nessas áreas, uma dificuldade de fixação da vegetação devido à mobilidade dos sedimentos pela ação das águas e dos ventos*” (SUERTEGARAY, 1987, 2000; SUERTEGARAY *et al.*, 2005, 2012).

Um dos vários aspectos que desqualificam o processo de desertificação na região reside no fato de que os areais gaúchos não se encontram numa zona árida ou semiárida, pois as precipitações anuais apresentam-se em torno de 1400 mm em média. Outro aspecto importante a considerar é de que não foram encontradas evidências confiáveis de que sua expansão estaria modificando as condições climáticas regionais de um ambiente úmido para um ambiente semiárido ou árido (SUERTEGARAY, 1987, 1998, 2000 e SUERTEGARAY *et al.*, 2012).

Outro importante trabalho que aborda a questão dos areais na região de estudo, sobretudo quanto às dinâmicas sociais e hidroclimáticas dos processos morfoesculturais é a tese de Verdum (1997) intitulada: *Approche Géographique des*

¹ O conceito proposto na Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação realizada em Nairobi/Quênia (1977) define a desertificação como áreas que apresentam uma diminuição ou destruição do potencial biológico da terra. Entende-se esse conceito como um processo irreversível, sendo enquadrado numa escala de tempo presente. Em relação à escala espacial observa-se que a desertificação é cartografada em zonas climáticas: áridas, semiáridas e sub-úmida secas, sendo considerado nesse processo o Homem como um agente da degradação.

“déserts” dans les communes de São Francisco de Assis et Manoel Viana, Etat du Rio Grande do Sul, Brésil. Neste trabalho o autor, além de, também, desmitificar os areais do sudoeste gaúcho como consequência de processos de desertificação/desertização considerou que as chuvas irregulares, e por vezes torrenciais na região, são os processos responsáveis pela dinâmica das ravinas e voçorocas.

Analisando dados climáticos, Verdum (*ibidem*) verificou que as elevadas precipitações concentradas em um ou em poucos dias seriam as responsáveis pela degradação dos solos na região, manifestando-se por meio de feições erosivas sob a forma de ravinas e voçorocas. Entretanto, além de considerar as precipitações concentradas, muitas vezes com índices diários superiores a 100 mm, a ação eólica posterior às precipitações se encarregaria de dar continuidade ao processo de transporte e a ablação dos materiais removidos para a jusante das encostas, pela erosão hídrica.

Assim, associando o estudo desenvolvido por Suertegaray (1987) ao desenvolvido por Verdum (*op. cit.*) é possível considerar que a dinâmica da água nesses solos (arenosos) e nas formações superficiais (arenosa), está associada a processos superficiais concentrados originando sulcos e ravinas, evoluindo até voçorocas. Expandindo a problemática em questão, a ação eólica, posterior às precipitações complementaria a dinâmica superficial dos areais abrangendo uma dimensão ainda mais ampliada dos processos morfoesculturais nos areais, nesses municípios.

Uma vez postulada a ideia de que os processos morfoesculturais responsáveis pelos areais estão vinculados à dinâmica hídrica (precipitações elevadas e concentradas) e a participação dos processos eólicos, os trabalhos de Silva (2009) e Rossato (2012) sugerem que haveria uma carência de estudos climáticos no Rio Grande do Sul que auxiliassem a sua compreensão em uma escala local. Para Silva (*op. cit.*), os estudos de microclimas desenvolvidos por geógrafos no estado privilegiam, essencialmente, áreas urbanizadas, sobretudo as de Porto Alegre e sua região metropolitana e, Santa Maria e seus arredores. O autor ainda afirma que existe uma lacuna nos estudos microclimáticos em áreas não urbanizadas, exceto por alguns trabalhos ligados a questões essencialmente agrícolas.

A constatação de tal fato pode ser observada nos diversos trabalhos que tratam de temas relacionados à região dos “areais do sudoeste do Rio Grande do Sul” que fazem referência, quase que exclusivamente, a classificação climática proposta por Köppen a qual define o clima nessa parte do estado como sendo o do tipo

subtropical úmido (*Cfa*) com precipitações anuais variando entre 1200 a 1500 mm, bem distribuídas ao longo do ano (MORENO, 1961; SOUTO, 1985).

Em outros trabalhos, além da referência feita à classificação climática proposta por *Köppen*, são também encontradas referências às obras de Nimer (1979 e 1990), as quais ganham destaque em relação à dinâmica climática da região. Ele classifica-o como do tipo subtropical mesotérmico superúmido com distribuição irregular de chuvas ao longo do ano e com precipitações anuais entre 1250 e 1500 mm, sob invernos frios e com verões quentes.

Embora amplamente utilizadas na maioria dos trabalhos científicos (monografias, dissertações, teses, artigos etc.), verifica-se que entre ambos os conceitos sobre o clima regional existe uma significativa discordância passível de reflexão, sobretudo quando tratado sob o enfoque da dinâmica dos areais da região: para a classificação de *Köppen* as chuvas mensais ocorreriam de maneira bem distribuída ao longo do ano. Já na definição da dinâmica climática proposto por Nimer (*ibid*), além de desenvolvida sob outra concepção metodológica, as precipitações apresentariam certa irregularidade nos seus valores ao longo do ano.

A abordagem das condições climáticas para a problemática dos areais na obra de Suertegaray (1987 e 1998) se sustenta inicialmente ao analisar o trabalho desenvolvido por Hasenack (1982) *apud* Suertegaray (*op. cit*) que demonstrou, especificamente para essa região, a ocorrência de alta variabilidade nos volumes pluviométricos, superiores a 50% em quase todas as estações do ano.

Ao aprofundar o estudo das condições climáticas regionais, a autora tomou para análise os dados pluviométricos dos postos meteorológicos de Quarai, São Borja e Uruguiana verificando que, em média, os valores das precipitações eram superiores a 1400 mm/ano.

Tal condição, por si só, já poderia descaracterizar qualquer tentativa de associar o fenômeno dos areais no sudoeste gaúcho aos processos de desertificação/desertização, uma vez que em zonas consideradas áridas as precipitações anuais são inferiores a 200 mm/ano (KELLOG e SCHNEIDER, 1977 *apud* SUERTEGARAY, 1998).

No entanto, ao analisar as informações sobre as precipitações ocorridas nos postos meteorológicos estudados por Suertegaray (1987, 1998), os totais mensais mostraram-se frequentemente em torno de 100 mm/mês revelando que as chuvas são abundantes na maior parte dos meses, caracterizando-os como úmidos (precipitações mensais superiores a 100 mm).

Ao analisar a dinâmica das precipitações e suas relações com os areais no sudoeste do Rio Grande do Sul, Verdum (1997), novamente reforçou as ideias defendidas por Suertegaray (1987) em desassociar a formação dos areais aos conceitos de desertificação/desertização. Sua análise hidroclimática, já apontada anteriormente, lançou luz na compreensão dos fenômenos meteorológicos e suas relações com a arenização (SUERTEGARAY *et al.*, 2005).

Tratando detalhadamente a variabilidade interanual dos valores médios de precipitação na área de ocorrência dos areais, os quais revelaram um regime pluviométrico com uma distribuição muito irregular, Verdum (*op. cit.*), pormenorizou sua análise a partir das precipitações mensais e diárias, verificando a ocorrência de uma alternância de eventos secos e úmidos, caracterizados por períodos longos de secas atmosféricas e períodos de chuvas torrenciais, com excedentes hídricos.

Já em sua tese, Silva (2009) procurou desenvolver estudos sob a óptica da Climatologia Geográfica para a região de ocorrência dos areais no sudoeste do estado, como suporte para estudos de análise da paisagem e compreensão de sua dinâmica por meio de bioindicadores paleoambientais. Para tal, utilizou-se de métodos de análise rítmica para um ano experimental (2006/2007) no qual foram analisados, também, medidas em escala microclimática nos sítios experimentais estudados.

Por sua vez, Rossato (2011 e 2012) desenvolveu um estudo sobre a climatologia do Estado do Rio Grande do Sul sintetizando uma proposta de classificação climática na qual articulou análises qualitativas e quantitativas (climatologia genética e dinâmica) aliada a análises estatísticas e geoestatísticas.

Especificamente, para as regiões da Cuesta do Haedo e oeste do Planalto Basáltico (sudoeste do estado do Rio Grande do Sul) foram encontradas as menores quantidades de dias de chuva² em comparação com todo o estado para o período de 1931-2007 (ROSSATO, 2012). A redução foi observada principalmente nos meses de outono (de três a seis dias no mês de maio). No inverno, ocorreram chuvas de seis a nove dias por mês, diminuindo ainda mais (para três a seis dias ao mês) a partir do mês de novembro.

Dessa forma, mesmo que de maneira preliminar, verifica-se que em se tratando de estudos sobre a dinâmica dos elementos climáticos vinculados à gênese e dinâmica superficial dos areais no Estado do Rio Grande do Sul, os trabalhos

² Rossato (2012) considerou “dia de chuva” quando os valores pluviométricos foram superiores a 1 mm/dia.

apresentados abordam, sobretudo, a participação das precipitações e sua relação com os seus processos morfoesculturais.

Desde o ano de 1989, o grupo de pesquisa na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob o tema: **Arenização/desertificação: questões ambientais** tem procurado retratar a relevância que os areais no sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul assumiram na questão ambiental. O grupo apresenta diversas linhas de pesquisa abrangendo desde *a gênese dos areais no sudoeste do RS, a morfogênese em áreas de ocorrências dos areais, processos sociais e arenização, arenização e a percepção ambiental*, dentre outras.

Sob o amplo espectro das linhas de pesquisa propostas pelo grupo foram desenvolvidos diversos trabalhos envolvendo a questão dos areais destacando, sobretudo, os de Suertegaray (1987, 1998, 2000), Verdum (1997), Suertegaray, Guasselli e Verdum *et al.* (2001), Verdum *et. al* (2001), Verdum, Basso e Suertegaray (2004), Suertegaray *et al.*, (2005), Silva (2009), Verdum e Soares (2010) e Suertegaray, Pires da Silva e Guasselli (2012).

Entretanto, no que diz respeito ao tema “processos de arenização e suas condicionantes climáticas”, nota-se a importância de se ampliar os estudos, principalmente, os associados às novas perspectivas sobre possíveis mudanças climáticas para região, através do uso de dados numéricos oriundos de simulação climática.

Recentemente, Modelos Climáticos Globais e suas técnicas de regionalização de dados (*downscaling*) têm sido empregadas em estudos de simulação climática, buscando identificar as possíveis condições climáticas futuras com base nos cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), propostos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Todavia, o PBMC (2012) afirma que os dados produzidos por esses modelos, ainda não conseguem reproduzir, com alto grau de confiabilidade, o padrão sazonal de precipitação que a climatologia observacional apresenta. No entanto, os atuais modelos utilizados conseguem simular coerentemente o ciclo anual da precipitação.

Uma vez que os trabalhos de Suertegaray (1987, 1998), Verdum (1997), Verdum (2004) e Suertegaray *et al.*, (2005), Suertegaray (2012), Verdum (2012) e Verdum e Suertegaray (2012) enfatizam que os processos morfodinâmicos dos areais do sudoeste gaúcho estão condicionados à dinâmica dos elementos pluviométricos e eólicos. Dessa forma, sugere-se a seguinte questão: caso ocorram modificações

nessas variáveis meteorológicas nos próximos anos, em que condições ambientais os areais da região estarão inseridos?

1.2 HIPÓTESE

Considerando que a gênese dos processos morfoesculturais responsáveis pelos areais do sudoeste gaúcho está associada às dinâmicas pluviais e eólicas como demonstraram os trabalhos de Suertegaray (1987 e 1998), Verdum (1997), Verdum (2004) e Suertegaray *et al.*, (2005), Suertegaray (2012), Verdum (2012) e Verdum e Suertegaray (2012), a hipótese central deste trabalho se constitui em dois pontos: o **primeiro**, reside na verificação de possíveis mudanças na dinâmica pluviométrica no decorrer do século XX, sobretudo, considerando os eventos de precipitação intensa (eventos extremos) e, de como eles se relacionam com os processos de escoamento superficial, um dos geradores da arenização na região. O **segundo** consiste na ideia de que caso os cenários climáticos propostos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) venham a se confirmar, quais regimes pluviométricos seriam esperados para o século XXI e que possíveis relações eles teriam com a arenização no sudoeste gaúcho?

Caso os cenários futuros gerados pelos modelos climáticos proponham condições atmosféricas que favoreçam o aumento do total de água precipitada, a dinâmica superficial seria marcada, sobretudo, por processos denudacionais ligados à dinâmica hídrica. Processos estes que favoreceriam, ainda mais, a ocorrência de feições erosivas sob a forma de sulcos, ravinas e, possivelmente, voçorocas. No entanto, na proposição de cenários que apresentem índices pluviométricos menores do que os atuais, os processos morfodinâmicos passariam a ser, associados a maior disponibilidade de material a ser remobilizados, pela interferência dos períodos de seca atmosférica no desenvolvimento da cobertura vegetal, predominantemente herbácea que caracteriza o bioma Pampa.

1.3 OBJETIVOS

Sendo assim, a proposta do presente trabalho consiste em analisar as precipitações na região de abrangência dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul, ao longo do século XX, buscando encontrar evidências de modificação na sua dinâmica e sua relação com parte do processo de arenização. No trabalho, também, objetiva-se analisar os dados de precipitação, a partir dos resultados do modelo de

redução espacial (*downscaling*) Eta/CPTEC 40 km, acoplado ao Modelo Climático Global HadCM3, para o cenário A1B, propostos para o século XXI.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a dinâmica das precipitações em diferentes escalas de tempo (diário, mensal, trimestral e anual) na região dos areais no decorrer do século XX, buscando encontrar evidências de mudanças em sua dinâmica;
- b) Buscar evidências da relação entre as precipitações intensas (eventos extremos) e os processos de escoamento superficial, que são responsáveis por parte dos processos morfodinâmicos nos areais;
- c) Utilizar os dados de precipitação gerados pelo modelo de redução espacial Eta/CPTEC (40 km) acoplado ao Modelo Climático Global HadCM3 (200 km), no cenário SRES A1B para identificar possíveis cenários climáticos (precipitações), para a região dos areais no sudoeste gaúcho até o ano de 2100.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O IPCC E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Discussões sobre a ocorrência de mudanças climáticas globais e suas repercussões nos níveis regionais e locais têm sido pauta constante em debates científicos nas últimas décadas. Questões ligadas à elevação das temperaturas planetárias em função das emissões de gases do efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) e o aumento dos eventos climáticos extremos (tempestades, chuvas extremas, ondas de calor/frio, por exemplo), norteiam trabalhos produzidos por diversos pesquisadores no Brasil e no mundo (CHOU, NUNES e CAVALTANTI, 2000; NOBRE, MOURA e SUN, 2001; MARENGO *et al.*, 2004; VINCENT *et al.*, 2005; HAYLOCK *et al.*, 2006; AMBRIZZI *et al.*, 2007; MARENGO *et al.*, 2007; SILMANN e ROECKNER, 2008; ALVES e MARENGO, 2009; PESQUERO *et al.*, 2009; ALEXANDER *et al.*, 2011; MARENGO *et al.*, 2012 entre outros).

Sob essa problemática, no ano de 1988 a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como o encarregado de apoiar, por meio de trabalhos científicos, avaliações sobre o clima atual e os cenários de possíveis mudanças climáticas futuras. Tais mudanças ocorreriam uma vez que o aumento das concentrações dos gases do efeito estufa poderia reduzir a capacidade do planeta Terra em se resfriar. Na época, o IPCC foi composto por delegados de 130 países, visto que a percepção era a de que a ação humana poderia estar exercendo forte influência sobre o clima planetário (MARENGO e SOARES, 2003; RAMOS, VIANA e SANTOS, 2008).

Com a missão de avaliar a informação científica, técnica e socioeconômica relevante para entender os riscos induzidos pela mudança climática na população humana, o IPCC foi criado reunindo um grande número de pesquisadores de diversas áreas como clima, meteorologia, hidrologia, biologia e demais ciências afins. A partir de discussões sobre evidências científicas seriam propostos modelos, com o objetivo de se chegar a um consenso sobre as tendências recentes sobre o clima planetário (MARENGO, 2007b).

Com mais de 2500 cientistas divididos em três grupos de trabalho (GT), o GT1 procurou avaliar os aspectos científicos do sistema climático e as mudanças do clima. Já o GT2 buscou avaliar a vulnerabilidade dos sistemas naturais e socioeconômicos

às mudanças do clima, as consequências negativas e positivas dessas mudanças e as opções para a adaptação a elas. O GT3 procurou buscar opções para limitar as emissões de gases de efeito estufa e outras formas de mitigação das mudanças do clima (<http://www.ipcc.ch/>)

Assim, no ano de 1990 o IPCC publicou o 1º Relatório de Avaliação (*Assessment Report – AR*), o qual reuniu argumentos a favor da criação da Convenção do Quadro das Nações Unidas para Mudanças do Clima, instância esta em que os governos negociariam políticas relacionadas às mudanças climáticas.

O resultado desse relatório, sobretudo o produzido pelo GT1, constitui-se num documento conhecido como “As Bases Científicas”, o qual forneceu uma revisão atualizada à época, das informações e estudos na área do clima, da ecologia, da oceanografia e de outras ciências envolvidas nas mudanças climáticas. Nesse documento, o IPCC afirmava que a mudança do clima era uma ameaça eminente e que, as atividades humanas seriam as responsáveis pelo aumento das concentrações de gases do efeito estufa, que levaria ao aumento das temperaturas em escala planetária.

O Segundo Relatório Científico (SAR) foi publicado em 1995 trazendo evidências do crescimento das concentrações atmosféricas dos gases do efeito estufa desde a era pré-industrial (1750). Informações sobre a concentração de CO₂ demonstravam que houve um aumento de cerca de 280 partes por milhão (ppm) para 360 ppm no período. Os cientistas do IPCC ainda concluíram que a temperatura média da superfície teria aumentado entre 0,3 e 0,6 °C desde o século XIX, com pouca probabilidade de ter sido esse aumento decorrente de causas naturais. A publicação do SAR acrescentou ainda mais elementos às discussões políticas, as quais resultaram, dois anos depois, na proposição do Protocolo de Kyoto.

O *Third Assessment Report (TAR)*, nome dado para o terceiro relatório do IPCC publicado no ano de 2001, indicava que a maior parte do aquecimento global, sobretudo a observada nos últimos 50 anos, estava relacionada a causas antropogênicas. O relatório apontou que, no século XX, a temperatura global da superfície em média aumentou em aproximadamente 0,6 °C. Outro elemento trazido pelo TAR é que, muito provavelmente, a década de 1990 tenha sido a mais quente observada desde meados do século XIX, pois três dos cinco anos mais quentes (1995, 1997 e 1998) foram os mais quentes desde 1861.

O TAR, também, apresentou a base científica que sustentou a ideia de que a concentração de CO₂ na atmosfera estaria em seu nível mais elevado nos últimos 400 mil anos (379 ppm). Baseados em princípios físicos, os modelos climáticos mostraram ser baixa a probabilidade do aquecimento observado nos últimos 100 anos ter sua

origem na variabilidade interna do clima, uma vez que a forçante natural não conseguiria explicar sozinha as mudanças observadas na estrutura vertical da atmosfera.

Em decorrência dessas informações, os cenários climáticos futuros produzidos por modelos apontaram que temperatura média global poderia aumentar entre 1,4 e 5,8 °C até o ano de 2100.

Nessas projeções, o clima nas latitudes baixas apresentaria aumento na chuva regional continental, com forte variabilidade interanual. Sobre a atuação do fenômeno El Niño, as projeções mostraram que ocorreriam poucas mudanças na amplitude do fenômeno nos próximos 100 anos. Entretanto, os modelos apontaram para a possibilidade de intensificação dos eventos extremos (secas e eventos chuvosos) como apontam os trabalhos de Marengo (2007a), Marengo (2007b) e Ramos, Viana e Santos (2008).

Já no ano de 2007 o IPCC divulgou seu 4º Relatório de Avaliação das Mudanças do Clima do Planeta chamado de IPCC-AR4. O AR4 procurou demonstrar de forma conclusiva os perigos do aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera, como resultado da baixa capacidade dos países industrializados em reduzir suas emissões. O AR4 demonstrou, também, a resistência apresentada por alguns países em desenvolvimento em negociar sua estabilização e, por que não dizer, até mesmo a diminuição de suas emissões.

Em relação ao dióxido de carbono, o AR4 demonstrou que a concentração aumentou de um valor pré-industrial de cerca de 280 ppm para 379 ppm em 2005, ultrapassando, segundo dados dos testemunhos de gelo, a faixa natural dos últimos 650.000 anos (180 a 300 ppm). A concentração atmosférica global do metano, também, aumentou passando de um valor pré-industrial de cerca de 715 ppb (partes por bilhão) para 1774 ppb no ano de 2005 (Figura 1). A concentração de metano ultrapassa em muito a faixa natural dos últimos 650.000 anos (320 a 790 ppb) como também apontam os testemunhos de gelo (IPCC, 2007).

Já em relação à concentração atmosférica global do óxido nitroso, verificou-se o aumento de cerca de 270 ppb da fase pré-industrial para 319 ppb em 2005. Dados ainda apontam que desde 1980 as taxas de aumento de óxido nitroso se mantêm constantes e que mais de um terço das emissões são de origem antrópica, associadas à agricultura.

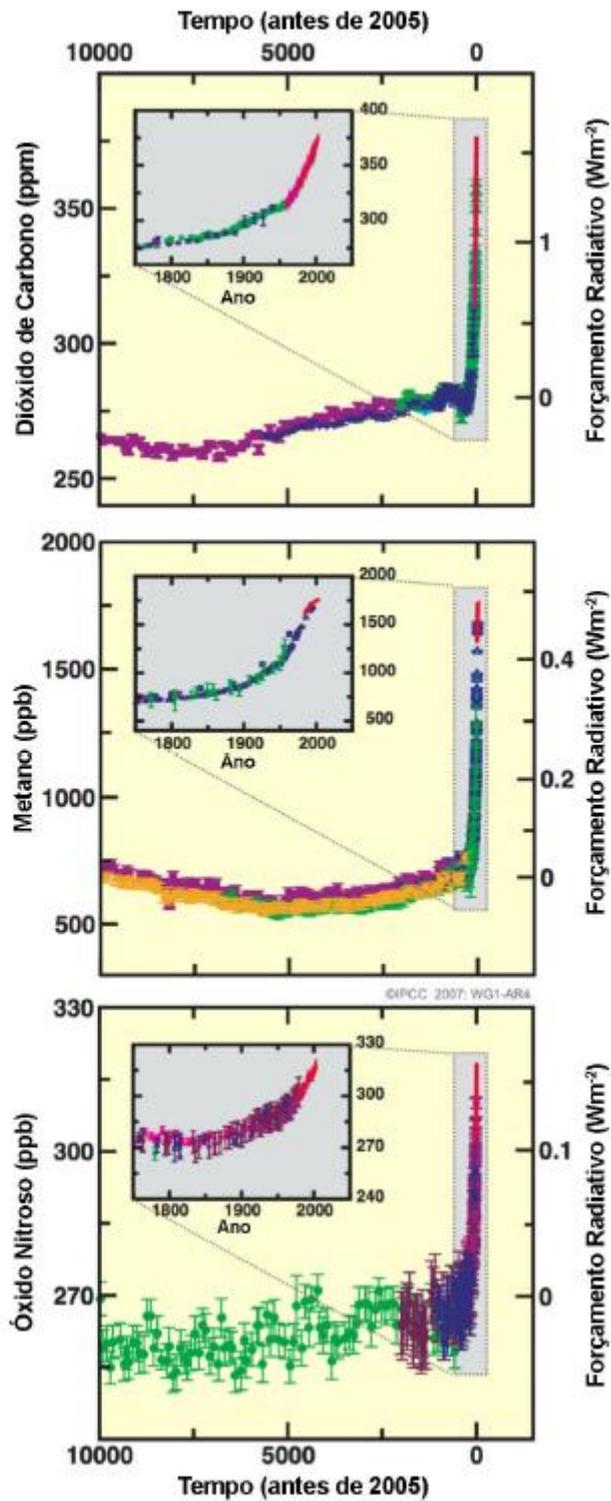


Figura 1. Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso ao longo dos últimos 10.000 anos (painéis grandes) e desde 1750 (painéis pequenos).
Fonte: IPCC, 2007b.

Dessa forma, o AR4 considera ser “*muito provável*”³ que o aumento observado de dióxido de carbono e de metano se deva às atividades antrópicas, sobretudo, as relacionadas à agricultura e ao uso de combustíveis fósseis.

Da mesma forma, o relatório (AR4), também, apontou como inequívoco o aquecimento do sistema climático, baseado nas observações do aumento das temperaturas médias do ar e do oceano, do derretimento generalizado da neve e do gelo e, da elevação do nível médio do mar. Segundo tal relatório, o teor médio de vapor d’água na atmosfera tem aumentado sobre a terra e o oceano, bem como na alta troposfera, desde a década de 1980. Tal aumento mostra-se bastante coerente com a quantidade de vapor d’água que o ar mais quente consegue carregar.

Em relação à temperatura média do oceano global, observações feitas desde 1961 mostram que os oceanos têm absorvido mais de 80% do calor que é acrescido ao sistema climático. Esse aquecimento ainda faz com que a água do mar se expanda, contribuindo para a elevação do nível do mar.

Dados obtidos após a publicação do TAR indicam ser “*muito provável*” que as perdas dos mantos de gelo da Groenlândia e da Antártica tenham contribuído para a elevação do nível do mar entre 1993 e 2003. O aumento da perda de massa de gelo tanto na Groenlândia como na Antártica contribuiu para seu afinamento, redução ou perda de plataformas de gelo ou de geleiras flutuantes.

O AR4, também, apontou que mudanças generalizadas no comportamento das precipitações foram observadas em tendências de longo prazo (1900 a 2005) para muitas regiões como a parte leste das Américas do Norte e do Sul, norte da Europa e norte e centro da Ásia. Verificou-se, ainda, que o clima ficou mais seco na região do Sahel, no Mediterrâneo e no sul da África e, em parte do sul da Ásia.

As precipitações apresentaram grande variabilidade em termos espaciais e temporais. Secas intensas e mais longas foram observadas sobre amplas áreas desde 1970, sobretudo na região dos trópicos e subtropicais. A frequência dos eventos de precipitação extrema aumentou sobre a maior parte das áreas terrestres, de forma condizente com o aquecimento e aumentos observados do vapor d’água na atmosfera.

Um exemplo pode ser encontrado no trabalho de Marcelino (2008) que nos aponta algumas direções e ressalta que a comunidade científica tem dado grande ênfase às mudanças climáticas como um dos fatores responsáveis pelo aumento dos chamados “desastres naturais”. O autor, também, ressalta que o AR4 menciona que no Brasil os “desastres naturais” de origem atmosférica tendem a continuar

³ No IPCC-AR4 os seguintes termos são usados para identificar a probabilidade avaliada de uma consequência ou resultado: *praticamente certo* > 99% de probabilidade de ocorrer; *extremamente provável* > 95%; *muito provável* > 90%; *provável* > 66%; *mais provável do que não* > 50%; *improvável* < 33%; *muito improvável* < 10% e, *extremamente improvável* < 5%.

aumentando, com destaque para as tempestades e os eventos de precipitações intensas sobre as regiões Sul e Sudeste, como podem ser observadas na Figura 2.

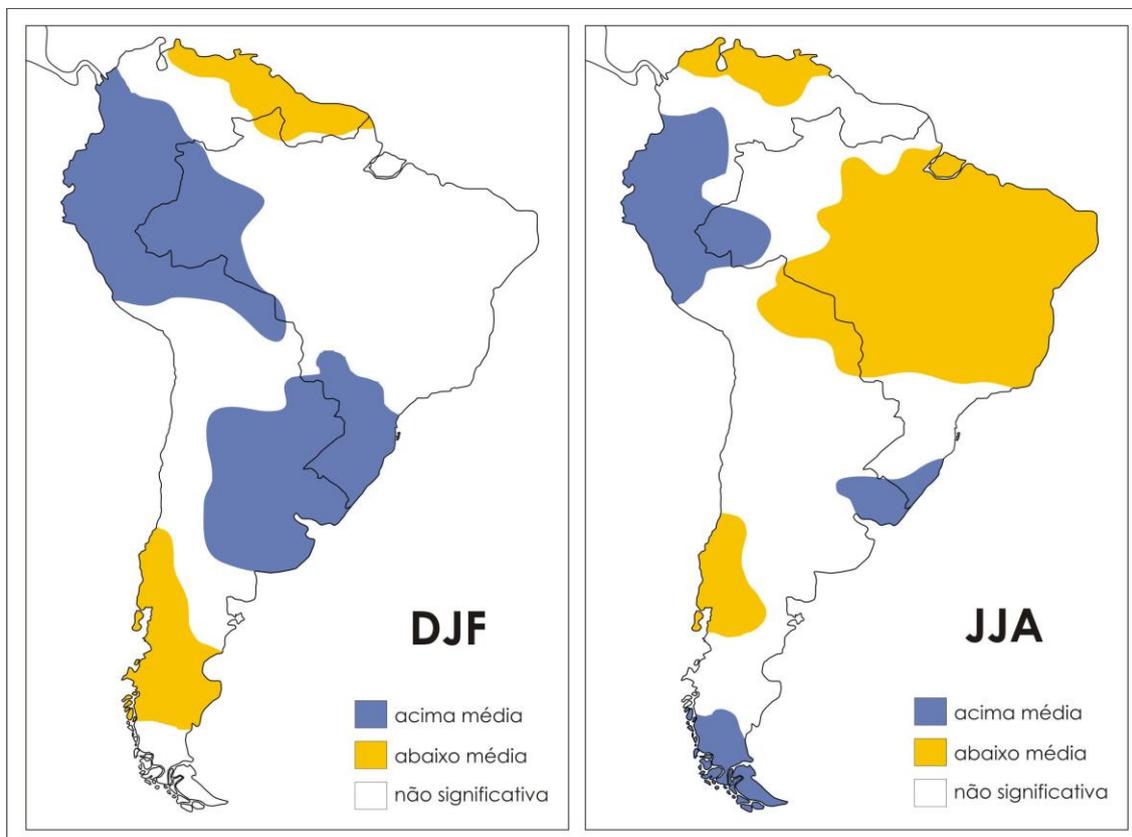


Figura 2. Mudanças nos índices de precipitação para o período 2090-2099, em relação a 1961-1990, baseado no cenário SRES A1B. As siglas DJF e JJA correspondem aos meses de verão (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) e inverno (Junho-Julho-Agosto), respectivamente.

Fonte: Marcelino (2008)

Segundo o autor, de acordo com o modelo de projeção para o cenário SRES A1B, as áreas representadas em azul na Figura 2 estarão com índices de precipitação acima da média para o trimestre Dezembro/Janeiro/Fevereiro. Já apontados em amarelo estarão áreas com deficiência de precipitação, nos meses de Junho/Julho/Agosto, até o final do século XXI. Sob essa perspectiva, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro as precipitações ficarão mais intensas e concentradas em poucos dias, em praticamente toda a região Sul do Brasil, enquanto que no trimestre mais seco, a região dos areais não sofreria mudança significativa nas precipitações.

O AR-4, também, trouxe evidências de que o aumento da ocorrência de ciclones tropicais no Atlântico Norte esteja correlacionado com o aumento das temperaturas da superfície do mar nos trópicos.

Dessa forma, Silva Dias (2006) acredita que cada vez que ocorre um evento extremo como chuvas fortes, ventos fortes ou furacões, surge a questão: *Será esse um indício das mudanças climáticas?* A análise das séries históricas de temperatura e chuva, em algumas regiões do mundo, parece indicar que esteja ocorrendo uma alteração na dinâmica do clima. Técnicas estatísticas (por exemplo, a realização de médias móveis de cinco a dez anos) mostram algumas tendências que chamam a atenção, mas que nem sempre podem ser consideradas como provas conclusivas de alterações permanentes do clima.

Com base nos relatórios apresentados pelo IPCC, Marengo e Valverde (2007), acreditam que existam evidências de que os eventos extremos como secas e enchentes, ondas de calor e frio, furacões e tempestades que têm afetado diretamente partes do planeta e produzido enormes perdas econômicas e de vidas, sejam consequências do aumento das temperaturas em escala global. Os autores, também, acreditam que no Brasil, o furacão Catarina (março/2004), a seca da Amazônica em 2005 e as secas vistas no sul do país em 2004, 2005 e 2006 tenham relação direta com os efeitos do aquecimento global.

Mendonça (2006), também, defende que os prognósticos contidos no relatório do IPCC-AR4 consideram que variações dos componentes do ciclo hidrológico (por exemplo, a precipitação e a evapotranspiração) atuarão sobre a distribuição de água no planeta de forma diferenciada, levando certas regiões a terem um incremento em seus volumes de água e, dessa forma, intensificando a ocorrência de chuvas torrenciais, enchentes, deslizamentos, movimentos de massa e processos erosivos, por exemplo.

Para Marengo (2007a), o Quarto Relatório Científico do IPCC (IPCC-AR4) apresenta evidências de mudanças no clima que poderiam afetar significativamente o planeta, especialmente, os extremos climáticos, como maior rigor nos países menos desenvolvidos na região tropical. As conclusões desse relatório sugerem, com um nível de confiança de 90%, que o aquecimento global dos últimos cinquenta anos foi causado pelas atividades humanas. Nesse contexto, o autor afirma que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e, mais ainda, às mudanças que se projetam para o futuro, sobretudo aquelas associadas aos extremos climáticos.

No entanto, Marengo, *et al.*, (2007) e Betts *et al.*, (2011) advertem que existem fontes de incerteza que afetam a modelagem dos climas nas projeções dos climas futuros, tanto no nível global como no regional. Dentre as incertezas destacam-se as:

- a) incertezas quanto às emissões futuras de gases que acentuam o efeito estufa e aerossóis e, as atividades vulcânica e solar que podem afetar a forçante radiativa do sistema climático;
- b) incertezas quanto à inclusão dos efeitos diretos do aumento na concentração de CO₂ atmosférico nas plantas e seu comportamento no clima futuro;
- c) incertezas quanto à sensibilidade do clima global e dos padrões regionais nas projeções futuras simuladas pelos vários modelos utilizados pelo IPCC e, principalmente,
- d) incertezas com relação à variabilidade natural do clima, uma vez que essa variabilidade é consequência direta de perturbações internas do próprio sistema climático, bem como, da poluição atmosférica gerada pela intensa atividade industrial em muitos países do mundo.

Os autores alertam o cuidado que se deve ter na seleção dos cenários a serem utilizados, pois seus resultados podem comprometer a interpretação dos fenômenos propostos. Necessita-se, inicialmente, que sejam desenvolvidos estudos prévios sobre a variabilidade observada em escalas maiores de tempo buscando reconhecer sua frequência, tempo de recorrência, fatores associados etc., para que possam servir de base para análise das condições climáticas futuras. Assim, é possível separar a variabilidade natural do clima da variabilidade forçada pelas atividades humanas que induzem as mudanças climáticas.

Por sua vez, a publicação do AR5, em setembro de 2013 (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>), reforçou as evidências de mudanças climáticas, baseadas em análises científicas independentes, observações do sistema climático, reconstruções paleoclimáticas, estudos teóricos dos processos climáticos e simulações utilizando modelagem climática.

O relatório aponta o aquecimento do sistema climático como inequívoco e, que desde a década de 1950, as mudanças observadas são sem precedentes: atmosfera e oceanos se aquecendo, gelo e neve diminuindo, nível do mar subindo e concentrações de gases do efeito estufa aumentando.

Dados do relatório confirmam, *com alto grau de confiança*, que os oceanos têm absorvido o aumento da energia armazenada do sistema climático nos últimos 40 anos, sobretudo, a porção superior dos oceanos (0-700 m), a qual interage mais diretamente com os fenômenos atmosféricos. Evidências, também, indicam como provável o aquecimento dos oceanos em profundidades superiores a 700 m para o período de 1992 a 2005.

O AR5 reafirma a tendência de aumento nas concentrações atmosféricas dos gases do efeito estufa desde meados do século XVIII. Segundo o relatório, no ano de 2011, as concentrações de CO₂, CH₄ e N₂O atingiram, respectivamente, 391 ppm, 1803 ppb e 3224 ppb. De acordo com os registros em testemunhos de gelo, tais concentrações indicam níveis sem precedentes nos últimos 800 mil anos, as quais são consideradas como forçantes radiativas positivas responsáveis pelo aquecimento observado nos últimos 250 anos.

A modelagem climática melhorou em relação ao AR4. Os modelos passaram a reproduzir, com alta confiança, as tendências de temperaturas observadas no decorrer de décadas, sobretudo, o aquecimento observado no século XX e os rápidos resfriamentos após eventos de erupções vulcânicas.

Houve progresso, também, na avaliação das condições climáticas extremas em relação ao AR4. Simulações das tendências médias dos dias extremamente quentes e noites extremamente frias foram consistentes com as observações realizadas no século XX. Fenômenos climáticos importantes como o ENOS foram, igualmente, bem reproduzidos nas simulações climáticas em relação ao AR4.

Segundo o relatório, com o aumento da temperatura média da superfície global, os eventos extremos de precipitação sobre os continentes em latitudes médias e regiões tropicais, *muito provavelmente*, se tornarão mais intensos e frequentes até o final do século. A mesma frequência foi igualmente observada em relação às monções de precipitação. Há, também, *grande confiança* de que o ENOS continuará a ser o modo dominante de variabilidade interanual do Pacífico tropical, com efeitos em escala global no decorrer do século XXI.

Para o AR5, foram definidos quatro novos cenários climáticos - *RCPs* (*Representative Concentration Pathways*) - identificados pela forçante radiativa total no ano de 2100, em relação ao ano de 1750. Os quatro *RCPs* contemplam um cenário de mitigação a um nível de forçante muito baixo (RCP2.6), dois cenários de estabilização (RCP4.5 e RCP 6.0) e um cenário com os gases do efeito estufa em altas emissões (RCP8.5). Cada *RCP* fornece um conjunto de mudanças espaciais, com base nas emissões de poluentes atmosféricos, resultando num acúmulo nas concentrações de gases do efeito estufa e as emissões antrópicas até 2100. As simulações climáticas efetuadas no AR5 adotaram concentrações médias de CO₂ atingindo 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0) e 936 ppm (RCP8.5) até o ano de 2100.

Por fim, outro aspecto que, também, merece destaque no AR5 é a incorporação de informações do Relatório Especial sobre Gerenciamento de Riscos de Eventos Extremos e Desastres para Promover Adaptação à Mudança do Clima

(SREX). O SREX procura levar em consideração os efeitos das mudanças climáticas sobre eventos extremos, desastres e o gerenciamento de risco de desastres (<http://ipcc-wg2.gov/srex>). O SREX procura analisar de que maneira a interação dos extremos climáticos, os fatores humanos e o meio ambiente podem influenciar no impacto dos desastres, no gerenciamento de risco e nas opções de adaptação.

2.2 OS MODELOS GLOBAIS ATMOSFÉRICOS (GCMs) E OS CENÁRIOS FUTUROS PROPOSTOS PELO IPCC.

Considerando as análises e projeções de climas futuros, Marengo (2007b), Marengo e Valverde (2007) e Nobre, Sampaio e Salazar (2008), Betts *et al.*, (2011) entre outros, são categóricos ao afirmarem que as melhores ferramentas para projeção e avaliação dos cenários climáticos futuros são os Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). Tais modelos levam em conta de forma quantitativa (numérica e tridimensional) a dinâmica dos compartimentos climáticos (atmosfera, oceanos, criosfera, vegetação, ciclos biogeoquímicos, etc.) descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos (Figura 3). Estes modelos podem simular climas futuros em nível global e regional como resposta a mudanças de concentração de gases de efeito estufa e de aerossóis. Igualmente, permitem simular o clima regional e global em função do desmatamento e de outras atividades associadas ao uso da terra e à construção de grandes cidades.

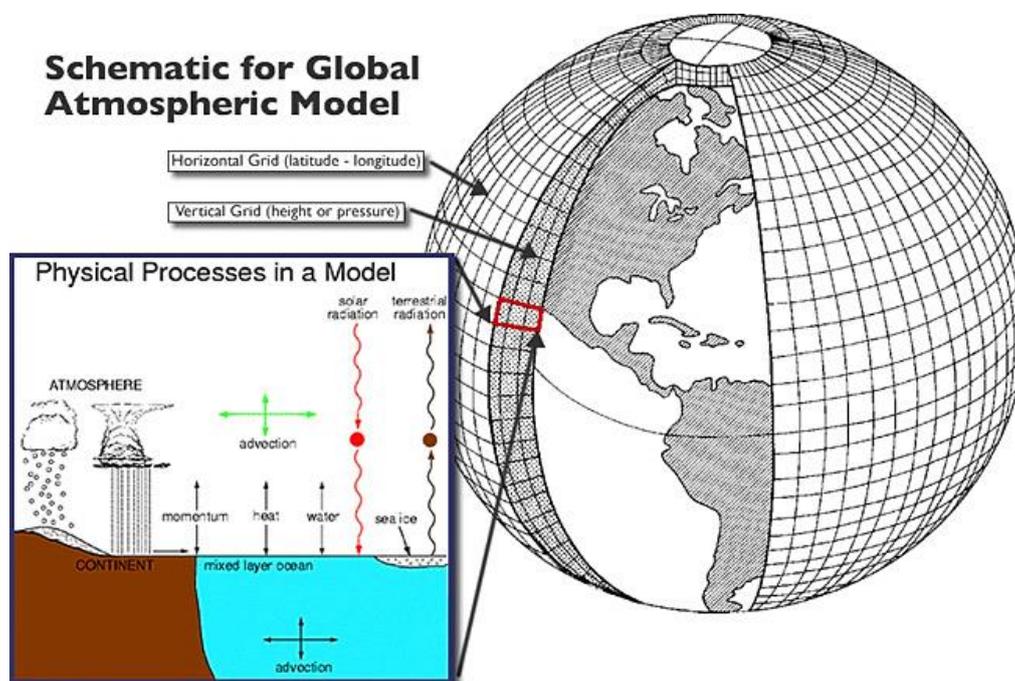


Figura 3. Esquema de um Modelo Global Acoplado Oceano-Atmosfera (AOGCMs).
Fonte: http://www.climatewizard.org/Climate_Models_and_Scenarios/Climate_Models.html

Ainda de acordo com os autores, a habilidade dos AOGCMs em simular climas regionais dependerá, essencialmente, de sua escala horizontal ou resolução (grid), pois as respostas dos modelos seriam mais restritas nos modelos globais com resolução da ordem de 300-400 km em relação ao uso de modelos regionais, os quais apresentam uma resolução espacial na ordem de 10-50 km. Diante da dimensão espacial do território brasileiro, o uso dos modelos AOGCMs pode vir a contribuir com informações sobre as características gerais do clima futuro. No entanto, detalhes da dinâmica das variáveis climáticas como ocorrência de tempestades, passagem de frentes frias e eventos extremos, por exemplo, não seriam previstas pelos modelos nessa escala. Para estes eventos, necessita-se a adoção de técnicas de “*downscaling*”, as quais permitem regionalizar os cenários propostos pelos modelos globais.

Valverde Brambila, Campos Velho e Ferreira, (2004), esclarecem que a técnica do *downscaling* consiste numa metodologia de aumento da escala espacial de um modelo de larga escala (do tipo AOGCMs) para uma escala regional. Segundo os autores, o aninhamento dos resultados de uma modelagem de larga escala serve de entrada para a alimentação de um modelo regional de área limitada, com uma resolução da ordem de dezenas de quilômetros.

Para Marengo e Soares (2003), até mesmo os modelos mais sofisticados utilizados são, na verdade, representações aproximadas de um sistema muito complexo, de forma que ainda não são infalíveis na previsão do clima futuro. Esse grau de incerteza do futuro cenário climático é ainda maior quando se busca projetá-los para níveis regionais. Isto se deve graças às diferenças observadas nas saídas dos diferentes modelos climáticos usados nas projeções climáticas para o século XXI.

Os modelos climáticos têm sido usados como ferramentas para projeções de futuras mudanças do clima, a partir de cenários futuros de forçamento climáticos (gases de efeito estufa e aerossóis). Sabe-se, também, que as incertezas encontradas estão associadas às diferenças observadas nas saídas dos diversos modelos climáticos usados pelo IPCC nas projeções climáticas para o século XXI.

A utilização de diversos modelos visa poder avaliar a variabilidade entre os modelos climáticos e assim, conhecer e interpretar todos os possíveis cenários, levando-se em conta a dispersão entre as saídas dos modelos. Desta forma, seria possível tentar uma redução de incertezas das previsões considerando não só um, mas vários cenários de vários modelos (MARENGO e SOARES, 2003).

Por sua vez, Nobre, Sampaio e Salazar (2008) acreditam que o avanço do conhecimento científico com relação ao funcionamento do complexo sistema climático

levará, em pouco tempo, à diminuição das incertezas nas projeções das alterações das mudanças climáticas em escala regional.

2.2.1 Principais modelos do tipo AOGCMs aceitos pelo IPCC.

A seguir, são apresentados alguns dos modelos utilizados nas simulações do IPCC os quais compõem os resultados dos cenários futuros apresentados no IPCC-AR4 segundo o *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* (PCMDI).

- 1). *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* (HadCM3);
- 2). *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, da Austrália (CSIRO-Mk3);
- 3). *Max Planck Institute für Meteorologie* da Alemanha (ECHAM5);
- 4). *National Centre for Atmospheric Research*, dos Estados Unidos (CCSM3);
- 5). *Canadian Center for Climate Modeling and Analysis*, do Canadá (CCCMA);
- 6). *Center for Climate System Research* (CCSR), *National Institute for Environmental Studies* (NIES) and *Frontier Research Center for Global Change* (JAMSTEC) do Japão (MIROC3.2).

O HadCM3 consiste num modelo de circulação geral atmosfera-oceano desenvolvido pelo *Hadley Centre for Climate Prediction and Research* no Reino Unido. Sua componente atmosférica possui 19 níveis apresentando uma resolução horizontal de 2,5° de latitude e 3,75° de longitude a qual produz uma grade global de 96 x 73 células (Figura 4). Espacialmente, cada célula equivalente a uma resolução superficial de aproximadamente 417 km x 278 km na região equatorial, reduzindo essa grade para 295 km x 278 km na latitude de 45°. Já a componente oceânica do modelo HadCM3 apresenta 20 níveis com uma resolução horizontal de 1,25° x 1,25° (UK CLIMATE PROJECTIONS, 2013).

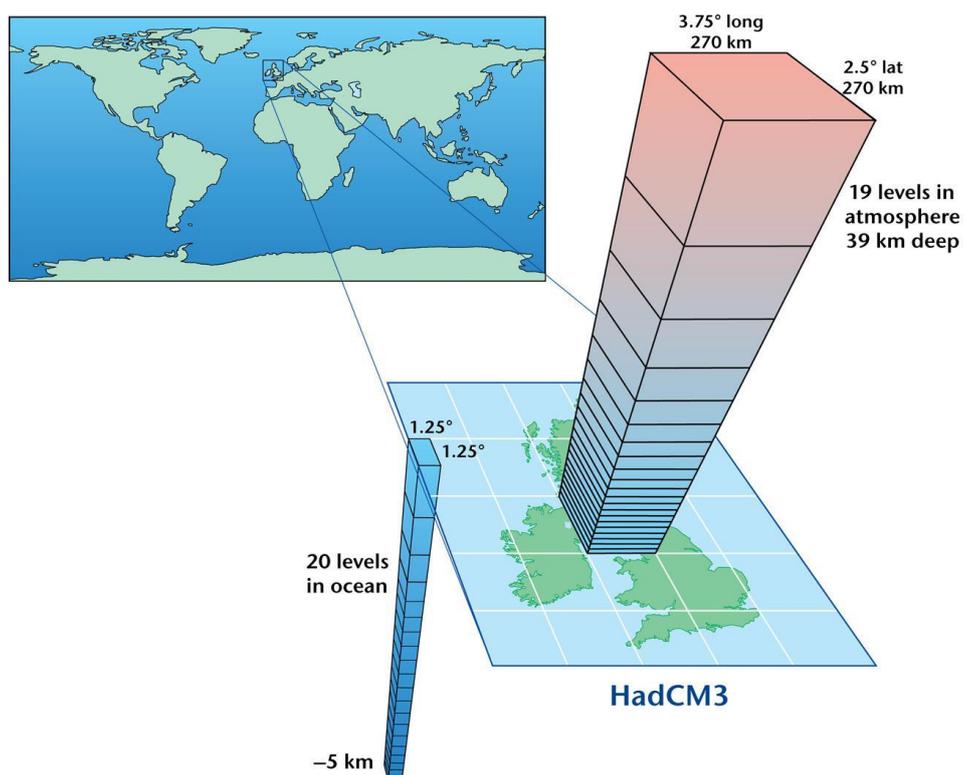


Figura 4. Esquema do modelo climático acoplado HadCM3.

Fonte: <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/22813>

Já o CSIRO MK3, desenvolvido pela *Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, possui nove níveis verticais e resolução atmosférica horizontal de aproximadamente $1,875^\circ$ EW e $0,84^\circ$ NS (T63). Sobre o oceano, o modelo possui a mesma resolução horizontal, porém apresentando 31 níveis verticais (Figura 5).

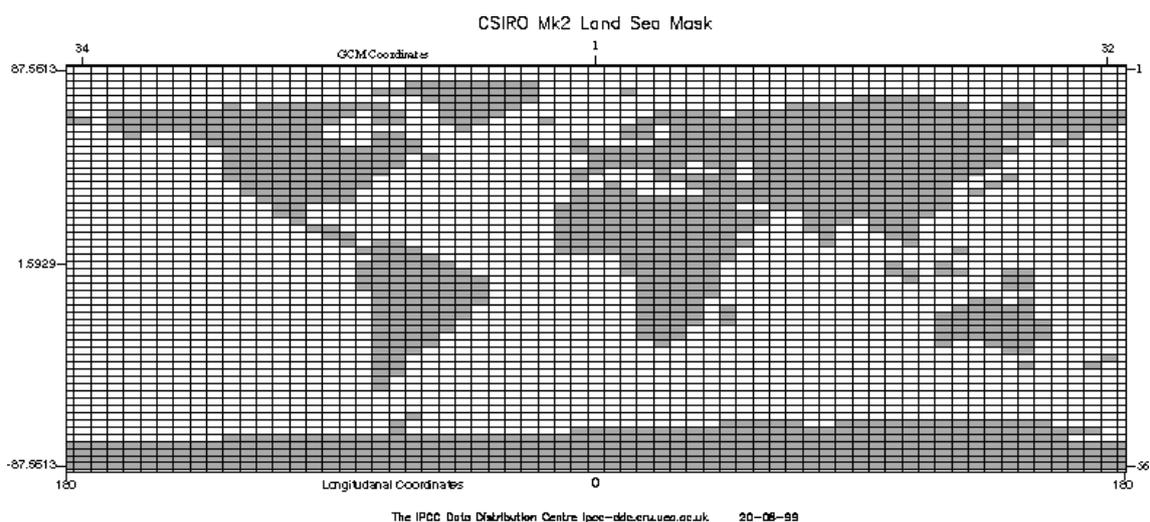


Figura 5. Resolução atmosférica horizontal do modelo CSIRO.

Fonte: http://www.ipcc-data.org/is92/csiromk2_landsea.html

O modelo ECHAM5 desenvolvido pelo *Max Planck Institute für Meteorologie* da Alemanha também possui resolução atmosférica horizontal (grid) T63 (1,875 ° EW e 0,84 ° NS) e 31 níveis verticais (L31). Sobre o oceano, o modelo apresenta resolução de 1,5° por 1,5° com 40 níveis de verticais.

O *CCSM3* consiste no modelo desenvolvido pela *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) e apresenta uma resolução atmosférica horizontal de 1,4° sobre o equador com 85 níveis verticais. Já sobre o oceano, sua resolução horizontal é de 1° com 40 níveis verticais.

Desenvolvido pelo *Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis*, o modelo CGCM3.1 apresenta uma resolução de grade de superfície de 3,7° x 3,7° e 10 níveis verticais. A componente oceânica tem uma resolução de 1,8° x 1,8° com 29 níveis verticais.

O *Center for Climate System Research* (da Universidade de Tóquio), *National Institute for Environmental Studies* (NIES) e *Frontier Research Center for Global Change* (JAMSTEC) desenvolveram o MIROC 3.2. Esse modelo possui resolução atmosférica horizontal T106 L56 (alta resolução) e T42 e L20 (média resolução). Possui 39 níveis verticais na alta resolução e 13 níveis na média resolução. Sobre o oceano sua resolução horizontal é de 0,281° de longitude e 0,187° de latitude com 47 níveis verticais na alta resolução. Já na baixa resolução, o grid possui 1,4° de longitude e de 0,5-1,4° de latitude com 43 níveis verticais.

As saídas dos modelos globais de clima (AOGCMs) contêm informações sobre os cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), os quais foram implementadas pelo IPCC para o terceiro (TAR), quarto (AR4) e quinto (AR5) relatórios de avaliação de mudanças do clima. Com base nos resultados dos modelos AOGCMs o IPCC propôs um conjunto de cenários (Figura 6) e suas características (Figura 7):

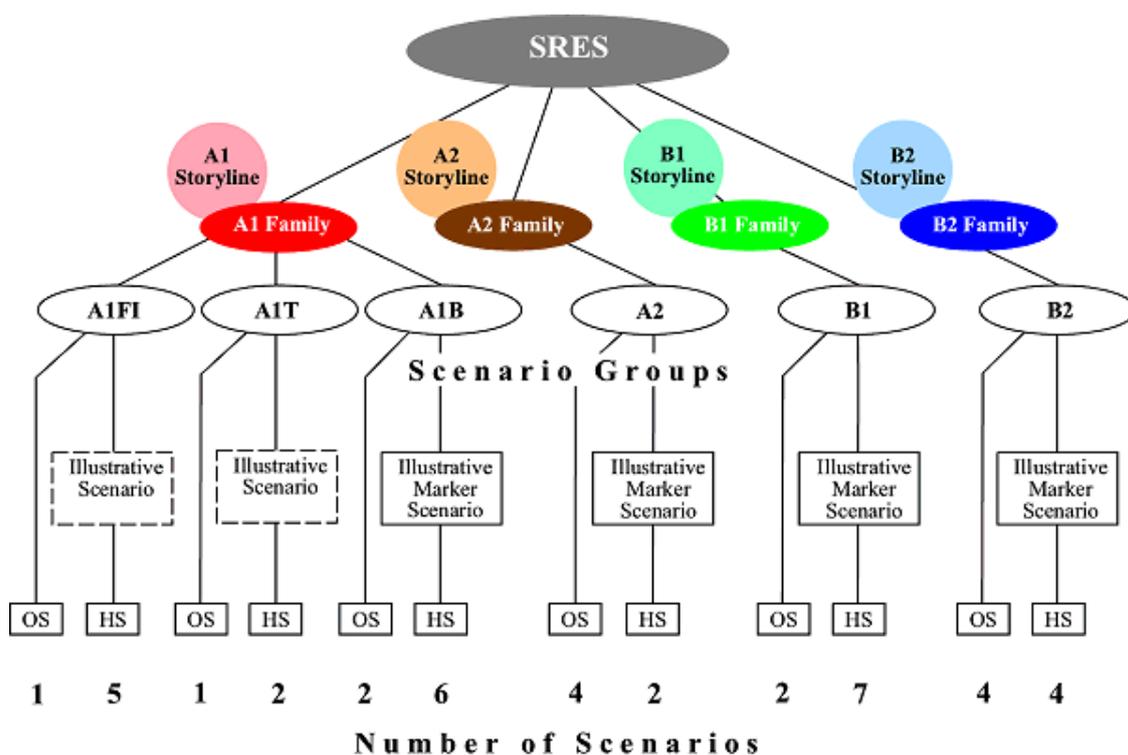


Figura 6. As famílias de cenários SRES propostas pelos TAR e AR4.

Segundo o IPCC (2007),

O conjunto de cenários consiste em seis grupos de cenários extraídos das quatro famílias: um grupo cada em A2, B1, B2, e três grupos dentro da família A1, caracterizando desenvolvimentos de tecnologias alternativas de energia: A1FI (combustível fóssil intensiva), A1B (equilibrada) e A1T (predominantemente combustível não fóssil). Dentro de cada família e grupo de cenários, algumas partes são "harmonizadas" por suposições sobre a população mundial, o produto bruto mundial, e energia final. Estes são marcados como "HS" para cenários harmonizados. O "OS" denota cenários que exploram incertezas na condução de forças além dos cenários harmonizados. O número de cenários desenvolvidos dentro de cada categoria é mostrado. Para cada um dos seis grupos de cenários um cenário ilustrativo (que é sempre harmonizada) é fornecido. Quatro cenários ilustrativos e um marcador para cada família cenário que foram usados em forma de rascunho no processo aberto de SRES 1998 estão incluídas na forma revisada neste relatório. Dois outros cenários ilustrativos para o A1FI grupos e A1T também são fornecidos e concluem um conjunto de seis que ilustram todos os grupos de cenários. Todos são igualmente válidos.

(<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=3>)

Considerando, ainda, os cenários propostos pelo IPCC, temos na Figura 9 as características de cada um.

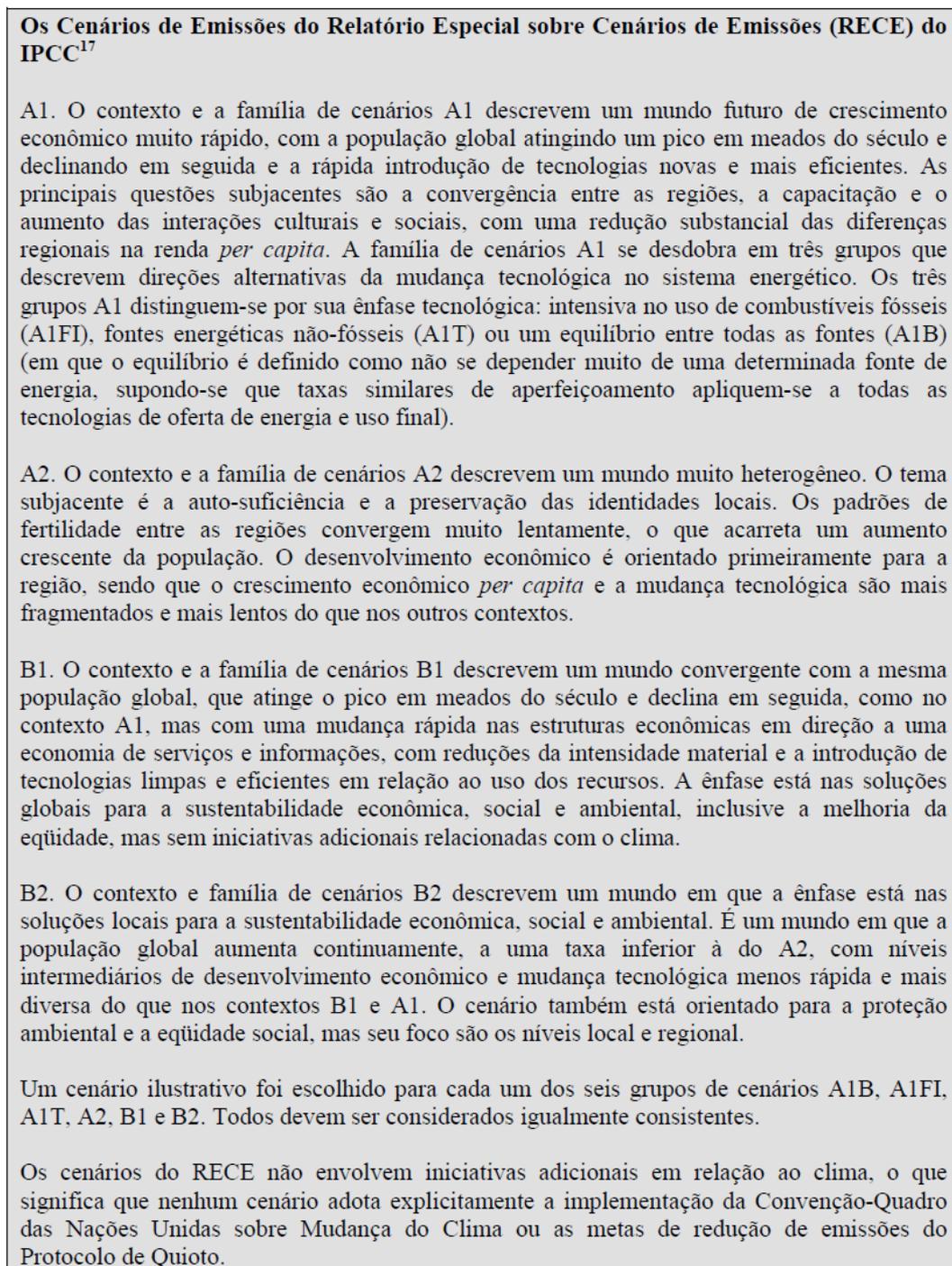


Figura 7. Quadro síntese dos cenários SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) retirado do TAR e do AR4.

Tendo em vista os modelos climáticos globais apresentarem suas projeções em uma baixa resolução espacial (entre 200 e 400 km de latitude/longitude), Ambrizzi *et al.* (2007) e Nobre, Sampaio e Salazar (2008) sugerem a adoção de uma técnica

para refinar tais projeções (em pequena escala) para níveis regionais (grande escala) possibilitando assim, elaborar projeções usando modelos climáticos regionais de alta resolução – técnica de *downscaling*.

2.2.2 A Técnica do Downscaling e os Modelos Regionais

Como já citado anteriormente, a técnica do *downscaling* constitui-se de uma metodologia para a diminuição da escala espacial partindo de um modelo de grande escala (AOGCMs) para um modelo em escala regional (VALVERDE BRAMBILA *et al.*, 2004). Esta técnica foi desenvolvida a partir da necessidade de se ter informações mais detalhadas no tempo e no espaço dos produtos de previsão numérica de tempo e clima.

Valverde Ramirez (2003) esclarece que existem duas técnicas de *downscaling*: as dinâmicas, que abordam os modelos numéricos com uma resolução mais detalhada, e as empíricas que utilizam funções de transferências entre escalas. A primeira envolve a utilização de modelos numéricos, de escalas global e regional, requerendo assim, um conjunto detalhado de informações climáticas (dados de superfície), bem como de uma alta disponibilidade computacional. Já as empíricas se utilizam de métodos estatísticos, sendo que os mais empregados são os métodos de regressão (lineares e não lineares), geradores de tempo (análises de componentes principais, análises de correlação canônica, técnica de composição, redes neurais artificiais) e os estocásticos (teoria *fuzzy* – conjuntos nebulosos, algoritmos genéticos, etc.).

Valverde Ramirez (*ibidem*) e Valverde Brambila *et al.* (op. cit.) afirmam ainda que a grande vantagem de se utilizar o *downscaling* estatístico é que ele oferece uma solução imediata e de baixo custo computacional facilitando sua implementação em centros operacionais. Por sua vez, Ambrizzi *et al.*, (2007) complementa que a técnica do *downscaling* tem sido usada para previsões sazonais de clima na FUNCEME (modelo MRS), no CPTEC (modelo Eta/CPTEC - 40 e 80 km de resolução espacial) e na USP (RegCM3).

Trabalhos sobre essa temática (uso do *downscaling*) têm sido desenvolvidos para a região nordeste do Brasil destacando os de Nobre, Moura e Sun (2001), Alves *et al.* (2003), Alves *et al.* (2005), Alves *et al.* (2007), Alves *et al.* (2008), Lima e Alves (2009) entre outros.

No trabalho de Nobre, Moura e Sun (2001) os autores aplicaram a técnica do *downscaling* aninhando um Modelo Regional Espectral (MRE), desenvolvido pelo NCEP, a um AOGCMs com três diferentes condições iniciais para o período de

fevereiro a maio de 1999. Foram feitas previsões utilizando-se duas grades para o MRE, uma com 80 km e outra menor de 20 km, sendo que os resultados prognosticados na grade de 80 km foram usados como entrada para a grade de 20 km.

Os resultados demonstraram que o modelo regional com 80 km de resolução apresentou melhor desempenho, do que o modelo de grande escala para a região Nordeste do Brasil. Os resultados, também, demonstraram uma melhor previsão da posição e da largura da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico no modelo regional com 80 km de resolução em relação ao AOGCMs. Por fim, os resultados do MRE com 80 km também apresentaram a possibilidade de previsão da frequência de distribuição de dias secos e chuvosos dentro da quadra chuvosa no setor norte do Nordeste do Brasil.

No trabalho de Alves *et al.* (2003) foram investigados resultados obtidos pela aplicação da técnica de *downscaling* no prognóstico de precipitação sazonal para dois anos de contrastes climatológicos (1983 como ano seco e 1985 como ano chuvoso) no setor norte do Nordeste do Brasil, aninhando o modelo MRE ao modelo global ECHAM4.5.

Os resultados estatísticos intrasazonais de precipitação demonstraram que o MRE obteve melhor desempenho do que o modelo ECHAM4.5 para o ano seco. Já para o ano chuvoso, o resultado foi inverso. Comparações sobre o posicionamento da ZCIT no Atlântico Tropical, os resultados demonstraram que o modelo ECHAM4.5 obteve melhor desempenho na simulação na localização, extensão e magnitude das precipitações associadas a esse sistema.

Em Alves *et al.* (2005), os autores procuraram fazer uma comparação entre os resultados da simulação de um AOGCMs (ECHAM4.5) e os resultados do aninhamento de um MRE ao modelo ECHAM 4.5 para o quadrimestre fevereiro-março-abril-maio (FMAM) com ênfase nas precipitações pluviais no setor norte do Nordeste Brasileiro. No setor mais setentrional do Nordeste Brasileiro o MRE obteve melhor desempenho, sendo seus erros sistemáticos menores do que o do ECHAM4.5. Já, simulações das precipitações associadas à ZCIT no Atlântico Tropical em anos Normais, de La Niña e de El Niño, mostraram que quantitativamente o ECHAM4.5 apresentou melhor desempenho do que o MRE.

Em Alves *et al.* (2007), os autores procuraram comparar a previsão de chuva trimestral fevereiro-março-abril (FMA), março-abril-maio (MAM) e fevereiro-março-abril-maio (FMAM) no período de 1977-2000, obtida por método de modelagem dinâmica de larga escala (ECHAM4.5) e de escala regional (MRE) aninhados (*downscaling*), e

de um método empírico (K' neighbours⁴). Os resultados do trabalho demonstraram que o modelo empírico apresentou menor erro absoluto nos períodos de fevereiro a abril (FMA) e março a maio (MAM).

Alves *et al.* (2008) desenvolveram análises preliminares entre dados observados e dados resultantes de simulações de um MRE aninhado a um modelo global (ECHAM4.5) para o período de 1971-2000, com ênfase em escalas intra-sazonais na bacia do Açude Castanhão (CE). Os resultados demonstraram que o MRE subestimou os totais pluviométricos observados em períodos pentadais, quinzenais e mensais nos meses de fevereiro a maio. Por outro lado, os modelos superestimaram as mesmas precipitações de janeiro a junho. Já para os anos com contrastes climáticos (El Niño, La Niña e Normais), o MRE, nas mesmas escalas temporais (pentadal, quinzenal e mensal), o modelo demonstrou, com bom desempenho, o sinal da anomalia (positiva, negativa ou neutra).

Já Lima e Alves (2009) aplicaram um modelo hidroclimático dinâmico de precipitação acoplado a um modelo hidrológico chuva-vazão para as bacias hidrográficas Cachoeira Manteiga e Porto da Extrema, no alto-médio São Francisco em Minas Gerais. O objetivo foi demonstrar, como processo de calibração, o desempenho da modelagem climática das precipitações numa escala intrasazonal de uma área pouco estudada. Seus resultados apontaram que a simulação das precipitações pode ser usada como variável de entrada em modelos de estimativa de vazão para períodos mensais.

Marengo *et al.* (2012), destacam que experimentos utilizando *downscaling* dinâmicos para cenários de mudanças climáticas na América do Sul tornaram-se, recentemente, disponíveis para vários cenários de emissões e de *time-slices* (fatias de tempo) até o final do século XXI. Os trabalhos fazem uso de vários modelos regionais forçados com vários modelos climáticos globais para se obter cenários globais futuros de mudanças climáticas (CHOU, NUNES e CAVALCANTI, 2000; AMBRIZZI *et al.* 2007; ALVES e MARENGO, 2009; PESQUERO *et al.* 2009; CHOU *et al.* 2011; entre outros).

A limitação da resolução dos AOGCMs levou Chou, Nunes e Cavalcanti (2000) a adotarem um modelo regional de maior resolução (Eta) para buscar reproduzir as precipitações mensais sobre a América do Sul em condições úmidas e secas, uma vez que o Sul-sudeste do Brasil são frequentemente varridos por sistemas frontais e sistemas de convecção.

⁴ O K' neighbours (KNN) é um método para classificar objetos com base em exemplos mais próximos de formação no espaço de entorno com as mesmas características. Um objeto é classificado pelo voto da maioria dos seus vizinhos, com o objeto a ser designado para a classe mais comum entre os seus vizinhos mais próximos (k). Fonte: <http://www.statsoft.com/textbook/k-nearest-neighbors/>

Sobre o modelo Eta, Chou (1996) esclarece que se trata de um modelo de previsão de meso-escala (em ponto de grade) desenvolvido entre a Universidade de Belgrado e o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, o qual se tornou operacional no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP). O Eta foi instalado no CPTEC em 1996 como o objetivo de complementar a previsão numérica de tempo desenvolvida por modelos de circulação geral atmosférica. Inicialmente possuía uma resolução horizontal de 40 km e vertical de 38 camadas e buscava prever, com maiores detalhes, fenômenos associados a frentes, orografia, brisa marítima, tempestades severas, etc., enfim, sistemas organizados em mesoescala. Hoje sua escala horizontal para previsão do tempo é de 15 km.

No experimento sobre ampliação da escala, Chou (*op. cit.*) realizaram análises em duas temporadas distintas: uma seca (agosto de 1997) e outra chuvosa (novembro de 1997), sendo que o modelo regional Eta provou ser capaz de produzir uma previsão do clima/mês para a América do Sul em um funcionamento contínuo.

Os resultados foram comparados com as previsões dos modelos climáticos globais, a fim de avaliar a positiva contribuição das corridas regionais. As previsões regionais mostraram que quanto maior resolução espacial possível, maiores serão os detalhes para as previsões, especialmente para as áreas de superfície (não mostrada).

Em Ambrizzi *et al.* (2007), os autores procuraram utilizar os modelos regionais Eta/CPTEC/CPTEC, RegCM3 e HadRM3P, os quais adotam o modelo global HadCM3 integrado para modelar o clima presente, avaliar sua capacidade de representar o mesmo e sua variabilidade para a América do Sul, especialmente para o Brasil. De acordo com os autores os modelos assumiram muito bem as características climáticas da América do Sul em cada estação do ano, adotando dados integrados de 1961 a 1990.

O RegCM3 consiste num modelo hidrostático que considera processos de interação solo-planta-atmosfera através de trocas turbulentas de momento, de energia e de vapor d'água entre a superfície e a atmosfera. A transferência radiativa, responsável pelos fluxos superficiais, é calculada para as condições de céu claro e céu nublado, incluindo a contribuição dos gases CO₂, H₂O e O₃. Já o modelo HadRM3P baseia-se no modelo global HadCM3, possuindo resolução horizontal de 50 km com 19 níveis verticais, permitindo que o modelo regional forneça projeções climáticas consistentes com o global. Com sua resolução horizontal é de 0.44° lat. x 0.44° long, correspondendo a uma grade de 50 km, as principais variáveis são os campos de pressão na superfície e as componentes horizontais e verticais de temperatura, vento e umidade (AMBRIZZI, *ibidem*).

Os modelos regionais utilizados nesse trabalho procuraram gerar dois cenários climáticos futuros (A2 e B2) propostos pelo SRES para o período de 2070-2100. Um importante elemento a ser considerado foi que toda técnica de regionalização (*downscaling*) pode apresentar erros derivados do modelo global forçados pelo modelo regional.

De uma forma geral, os modelos utilizados subestimaram as precipitações sobre a maior parte da América do Sul, com exceção da sua porção central, onde dependendo da estação do ano, observou-se mais neutralidade ou mesmo valores positivos considerados pelos autores como não significativos.

Diferenças pormenorizadas entre os modelos utilizados foram verificadas no comportamento das precipitações, onde o modelo Eta/CPTEC apresentou tendência a secar a ZCAS e as chuvas no sul do Brasil durante o verão e outono, fato que não foi observado nos modelos HadRM3P e RegCM3. Já sobre a dinâmica das temperaturas, todos os modelos regionais apresentaram tendências de aquecimento, sobretudo para a Amazônia.

No trabalho de Alves e Marengo (2009), os autores procuraram avaliar a precisão e habilidade do modelo HadRM3P em descrever a variabilidade sazonal das principais características climatológicas da América do Sul e suas interações com os oceanos Atlântico e Pacífico em simulações de longo prazo (1961-1990). Em suas análises, os autores se utilizaram de dados médios, observados e simulados, de temperatura, de precipitação e de circulação atmosférica.

Os padrões das temperaturas, das precipitações e da circulação foram bem capturados pelo modelo em escalas mais finas. Entretanto, foram encontrados erros sistemáticos relacionados à física do modelo (influência da topografia, dos sistemas convectivos, da superfície etc.).

Pesquero *et al.* (2009) utilizaram o modelo Eta aninhado ao modelo HadAM3P (com resolução horizontal de 1,25° de latitude por 1,875° de longitude) buscando reproduzir as condições do clima presente (1961-1970) sobre a América do Sul. A simulação foi focada na avaliação da capacidade do modelo regional representar os padrões espaciais do clima médio sazonal e o ciclo anual das precipitações e das temperaturas.

A ideia central do trabalho consistiu em verificar se o modelo Eta poderia ser usado na proposição de cenários de mudanças climáticas para a América do Sul, em virtude da componente vertical desse modelo ser apropriada para as características topográficas da Cordilheira dos Andes.

Na simulação, o modelo Eta reproduziu muitas das características do clima sul-americano em mesoescala, assim como, acrescentou valores à sazonalidade em

algumas áreas da América do Sul, sobretudo no Brasil. No caso das precipitações, observou-se uma superestimação dos valores durante os meses de dezembro-janeiro-fevereiro (verão austral). Já próximo à superfície, também, houve um incremento na dinâmica das temperaturas para os meses de junho-julho-agosto e dezembro-janeiro-fevereiro sobre a maior parte das regiões.

Considerando a influência da topografia, o modelo Eta representou melhor a circulação atmosférica induzida pelos Andes (fluxo de noroeste) nos meses de dezembro-janeiro-fevereiro e junho-julho-agosto. Já a alta da Bolívia foi superestimada devido às altas temperaturas da superfície simuladas durante dezembro-janeiro-fevereiro e devido ao viés positivo na baixa pressão térmica sobre o norte da Argentina.

No trabalho de Chou *et al.* (2011) os autores, também, procuraram avaliar as simulações climáticas para a América do Sul utilizando o modelo regional Eta impulsionado por quatro conjuntos do modelo global HadCM3. Nesse trabalho, o modelo Eta foi modificado para executar interações decadais de longo prazo buscando reproduzir o clima presente (1961-1990) forçados pelo HadCM3 numa resolução de 40 km.

Os padrões superiores e inferiores de circulação atmosférica produzidos pelo modelo Eta-CPTEC/HadCM3 demonstraram boa correlação com os dados de precipitação média e temperatura observados pelo CRU (*Climate Research Unit – University of East Anglia*). De acordo com os autores, a difusão na precipitação média e na temperatura foi pequena comparada ao erro do modelo. Por outro lado, o conjunto (precipitação e temperatura) representado para o período 1961-1990 mostrou-se mais significativo no ciclo sazonal.

Por fim, Marengo *et al.* (2012) procuraram avaliar as projeções climáticas na América do Sul utilizando o modelo Eta-CPTEC regionais impulsionados por quatro membros do modelo climático global acoplado HadCM3 para século XXI nos cenários de emissões (SRES) A1B. Inicialmente, os modelos aninhados foram calibrados para representar as condições do clima atual (1961-1990) e assim, simular possíveis mudanças futuras (2011-2100).

Os resultados procuraram demonstrar as condições climáticas de verão (DJF) e de inverno (JJA) dos períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 para a América do Sul e nas três maiores bacias hidrográficas brasileiras: bacia Amazônica, bacia do São Francisco e bacia do Paraná. Os modelos projetaram mudanças na circulação atmosférica sul-americana que poderiam levar ao enfraquecimento da circulação tropical e ao fortalecimento da circulação subtropical. O potencial

aquecimento do continente aumentaria o gradiente de temperatura, entre o continente e o oceano, promovendo mudanças no transporte de umidade e precipitações.

Os modelos, ainda, simularam grandes reduções das chuvas na Amazônia e no Nordeste do Brasil (até 40%) e aumentos na costa norte do Peru e do Equador e no sudeste da América do Sul (podendo chegar a 30%) após 2040. Por fim, a relação precipitação-evaporação (P-E) projetada no cenário A1B sugere a ocorrência de déficits de água e a redução nas vazões na Amazônia oriental e na bacia do São Francisco, tornando-as susceptíveis a secas e estiagens.

2.3 ANÁLISE DOS EVENTOS EXTREMOS

Uma discussão sobre a ocorrência de mudanças climáticas globais e suas repercussões nos níveis regionais e locais tem sido pauta constante em debates científicos nas últimas décadas. Questões ligadas à elevação das temperaturas planetárias associadas às emissões de gases do efeito estufa e o aumento dos eventos climáticos extremos (tempestades, chuvas extremas, ondas de calor/frio, por exemplo) norteiam trabalhos produzidos por diversos pesquisadores pelo mundo.

Segundo Marengo *et al.* (2007), no Brasil, são raros os estudos sobre a variabilidade climática de longo prazo e seus eventos extremos, os quais, segundo os autores, foram desenvolvidos através de diferentes metodologias.

Um dos fatores que, provavelmente, contribui para essa carência de trabalhos é a falta de informações meteorológicas diárias, confiáveis e de boa qualidade. O outro fator que contribui para tal carência é a dimensão territorial do país, uma vez que suas condições ambientais, muitas vezes, dificultam a manutenção de postos de coleta de dados, bem como restringem o acesso das informações meteorológicas diárias armazenadas nos órgãos oficiais (Força Aérea Brasileira, Marinha do Brasil, INMET e outras agências regionais/estaduais).

A Agência Nacional de Águas (ANA) (www.ana.gov.br) é outro órgão que disponibiliza dados pluviométricos diários de longo prazo por meio de sua plataforma eletrônica (hidroweb). Entretanto, parte dos conjuntos de dados apresenta um grande número de falhas, sendo necessária a adoção de técnicas estatísticas para preenchê-las.

Na questão dos eventos extremos, Marengo *et al.* (2007) os definem como anomalias em relação à climatologia, em escalas de tempo que podem variar de dias até milênios. Para os autores, o aumento da ocorrência de eventos extremos de curta duração nos últimos anos tem despertado a atenção dos climatologistas, pois alguns modelos climáticos e projeções futuras propostas pelo IPCC já indicavam aumento na

frequência e intensidade (chuvas intensas, ondas de calor e de frio, períodos secos etc.) desses eventos.

Considerando a temática dos eventos extremos, a Organização Meteorológica Mundial (OMM), criou em 1993 o CLIVAR (Grupo de variabilidade e previsibilidade do sistema oceano-atmosfera) com o objetivo de descrever e compreender os processos oceano-atmosfera responsáveis pela variabilidade climática e previsibilidade nas escalas de tempo sazonais, interanuais, decenais e centenárias. Seu trabalho constitui na coleta e análise de dados observados para o desenvolvimento e aplicação de modelos do sistema climático acoplado, em cooperação com outras instituições de pesquisa e atividades de observação (<http://www.clivar.org/about/about-clivar>)

O CLIVAR tem desenvolvido estudos referentes às mudanças climáticas analisando a dinâmica dos eventos extremos do conjunto de variáveis climáticas por meio do seu grupo de pesquisadores interinstitucionais, denominado *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) (WMO, 2012).

Sendo assim, nos últimos anos, diversos estudos têm sido desenvolvidos buscando-se identificar alterações ou mesmo variabilidades climáticas em escalas maiores (níveis regional e local), dada à necessidade de se compreender aspectos pontuais nas mudanças.

Sob esse aspecto, observa-se que nos trabalhos de Paiva e Clarke (1995), Marengo e Alves (2005), Vincent *et al.* (2005), Haylock *et al.* (2006), Alexander *et al.* (2006), Folhes e Fisch (2006); Obregón e Marengo (2007), Sillmann & Roeckner (2008), Blain (2009, 2010), Alves *et al.* (2011) e Lima *et al.* (2011) entre outros, têm-se procurado analisar a dinâmica das variáveis (temperatura e precipitação) ao longo do tempo. Uma das principais ferramentas de análises desses trabalhos são os testes estatísticos não-paramétricos, principalmente, o Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975). No capítulo que trata dos procedimentos metodológicos serão descritos todos os passos metodológicos referentes à aplicação do Teste de Mann-Kendall, nesta tese. No entanto, basicamente o teste avalia o comportamento de uma série temporal de dados quanto a sua estacionaridade ou não.

O trabalho de Vincent *et al.* (2005) apresenta uma análise das tendências dos índices de temperaturas extremas diárias entre 1960-2000 para a América do Sul. Os resultados indicam a tendência de aumentos significativos nos índices das temperaturas mínimas diárias e tendência de aumento das noites quentes (dezembro-fevereiro), em relação às noites frias em regiões mais próximas às costas oeste e leste da América do Sul.

Em Haylock *et al.* (2006) os autores desenvolveram análises sobre as mudanças nas tendências de 12 índices pluviométricos para a América do Sul. O

padrão das tendências para os extremos foi o mesmo encontrado para a precipitação total anual, com mudanças de comportamento no Equador e norte do Peru, na região do sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e centro-norte da Argentina. Especificamente, em relação às precipitações no sul do Peru e sul do Chile, os resultados demonstraram significativa diminuição das precipitações. Correlações entre os índices encontrados e as temperaturas da superfície do mar (TSM) revelaram que padrões, inclusive do fenômeno ENOS, que podem ter contribuído para as tendências negativas encontradas.

Correlações com as precipitações no Nordeste do Brasil foram encontradas analisando dados observados. As tendências encontradas no aumento da umidade podem ser explicadas pela participação do fenômeno ENOS. A associação dos eventos extremos ao fenômeno ENOS serão abordados mais adiante no texto.

Alexander *et al.* (2006) calcularam e analisaram um conjunto de índices sobre mudanças climáticas derivadas de dados pluviométricos e de temperaturas diárias utilizando um software especialmente projetado (RCIndex). Tais informações possibilitaram a apresentação de uma imagem global das tendências de temperaturas extremas e dos índices de precipitação utilizando dados fornecidos por pesquisadores do mundo todo. Os resultados mostraram alterações significativas nos extremos de temperatura associados com o aquecimento, especificamente vinculados à temperatura mínima diária. Mais de 70% da superfície terrestre amostradas apontaram uma diminuição significativa na ocorrência anual de noites frias e um aumento significativo na ocorrência anual de noites quentes.

Já com relação à dinâmica das precipitações, as modificações foram menos significativas quando comparadas as mudanças observadas nas temperaturas. No entanto, os autores verificaram que as chuvas no sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte-centro da Argentina apresentaram tendências positivas em relação aos extremos anuais. Sendo assim, tais tendências sugerem o aumento e a intensidade na frequência dos eventos de chuva no sudeste da América do Sul, sobretudo nos níveis sazonais.

No trabalho de Sillmann e Roeckner (2008), os autores procuraram investigar se o modelo ECHAM5/MPI-OM seria capaz de capturar os padrões observados da temperatura extrema e eventos de precipitação no decorrer do século XX em determinadas regiões do mundo, bem como simular as condições climáticas para os cenários SRES A1B e cenários de emissão B1.

A avaliação do modelo demonstrou que os índices simulados capturaram bem a dinâmica dos dados observados de temperatura e precipitação em grande escala.

Os autores, também, procuraram avaliar as projeções das temperaturas mínimas e máximas e a frequência das noites tropicais para o século XXI.

Da mesma forma, a precipitação extrema, representada pelo acumulado de cinco dias foi projetada para aumentar de forma significativa na maioria das regiões do mundo, especialmente aquelas relativamente úmidas no atual clima. Em contrapartida, os períodos de seca demonstraram aumento especialmente nas regiões caracterizadas, atualmente, por condições de seca.

Por sua vez, considerando os estudos desenvolvidos sob essa temática para o Brasil, Ambrizzi *et al.* (2007), acreditam que as tendências positivas de extremos de chuva aparecem mais intensamente nos estados de São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. Para os autores, vários estudos já identificaram tendências positivas no número de dias com chuva intensa, chuva muito intensa concentrada em certo tempo e na quantidade de chuva concentrada em eventos chuvosos.

Igualmente, segundo informações no PBMC (2012), as regiões Sul e Sudeste do Brasil são altamente vulneráveis aos eventos extremos de precipitação, devido à alta concentração demográfica e, por estarem sujeitas a ação de sistemas meteorológicos que podem causar intensa precipitação.

Nesse sentido, o trabalho de Groppo *et al.* (2001) procurou avaliar a relação entre as precipitações e as vazões da bacia do rio Piracicaba (SP) e se a série das precipitações (1947-1996) apresentaram alguma tendência. Os autores procuraram aplicar testes de correlação para verificar a independência das séries e, após, desenvolveram um estudo exploratório por meio do teste de Mann-Kendall. Após verificarem que as séries não possuíam autocorrelação, a aplicação do teste de Mann-Kendall demonstrou tendências positivas para a maior parte dos postos pluviométricos analisados.

Utilizando-se da análise de ondeletas, do teste da razão da máxima verossimilhança e do teste de Mann-Kendall, Blain (2009 e 2010) procurou avaliar a variabilidade temporal dos dados mensais de precipitação pluvial de oito localidades do estado de São Paulo. Os resultados demonstraram que nas séries mensais de precipitação analisadas os dados apresentam elevada variabilidade temporal de seus valores. Mesmo assim, de acordo com o autor, não se verificou indicativos de tendências de ordem climática nos regimes pluviométricos mensais analisados. A união desses métodos demonstrou que as alterações encontradas estão relacionadas às variações aleatórias das próprias séries.

Na verificação de possíveis mudanças na dinâmica da precipitação pluviométrica na cidade de São Paulo, Salvador e Santos (2010) analisaram dados do período de 1961-2009 aplicando-se os índices climáticos propostos pelo ETCCDI. Os

resultados demonstraram que não houve qualquer tendência significativa no número de dias úmidos (dias com chuva ≥ 1 mm), entretanto, tendência de aumento foi encontrada no volume total anual das precipitações, sobretudo em função do aumento de dias com precipitações intensas (dias com chuvas ≥ 50 mm).

Convém destacar que para os autores, as tendências positivas significativas encontradas para a cidade de São Paulo não devem ser associadas ao efeito das mudanças climáticas, uma vez que os processos de crescimento urbano e de urbanização podem ter contribuído de alguma forma para tais mudanças.

Em relação ao vale do Paraíba (eixo São Paulo-Rio de Janeiro) os trabalhos de Marengo e Alves (2005) e Folhes e Fisch (2006) assumem condição de destaque em relação à dinâmica das precipitações regionais. No primeiro, os autores analisaram dados fluviométricos e pluviométricos da ANA do período de 1920-2000 buscando encontrar tendências nas séries. A análise de tendência (após a aplicação do Teste de Mann-Kendall) das chuvas em alguns postos pluviométricos demonstraram valores tanto positivos quanto negativos, no entanto, sem significância estatística.

Já Folhes e Fisch (*ibidem*) aplicaram o mesmo teste nos dados pluviométricos de Taubaté (SP) para o período de 1983-2005 e encontraram uma diminuição no número de dias por ano com precipitação. Outros resultados encontrados, também, demonstraram que houve aumento das chuvas no mês de novembro com a diminuição do número de dias secos.

Considerando os trabalhos desenvolvidos para a região Centro-oeste do Brasil, encontramos o trabalho de Alves *et al.* (2011) sobre as precipitações no estado do Mato Grosso e o de Rodrigues *et al.* (2011) sobre tendência das temperaturas em Brasília.

O trabalho de Alves *et al.* (2011) procurou analisar as mudanças ocorridas nas características das precipitações da cidade de Barra do Garças (MT) por meio dos índices climáticos propostos pelo ETCCDI. Os autores utilizaram dados pluviométricos provenientes da ANA no período de 1969-2010 buscando avaliar os totais anuais de precipitação, o número e dias com chuvas ≥ 1 , 10, 20 e 50 mm e, o índice simples de intensidade diária (SDII) que consiste na precipitação anual dividida pelo número de dias úmidos (chuvas ≥ 1 mm).

Os resultados mostraram que exceto o SDII, o qual demonstrou tendência positiva, os demais índices apresentaram tendências negativas, porém não significativas perante o Teste de Mann-Kendall, ou seja, as tendências encontradas devem ser consideradas como aleatórias da própria série e não como uma constante. Entretanto, ao observarem a dinâmica das chuvas no período de 1991-2010, verificaram que houve tendência ao aumento da sua intensidade diária.

Já em Rodrigues *et al.* (2011) os autores investigaram a tendência das temperaturas mínimas e máximas do ar no período de 1964-2009 em Brasília (DF) por meio do Teste de Mann-Kendall. Os resultados demonstraram que as temperaturas mínimas apresentaram tendência de aumento significativo, sobretudo, para os meses de novembro a janeiro. Com relação às temperaturas máximas, os resultados não demonstraram tendências significativas com exceção do mês de outubro.

Dos estudos que buscam identificar as tendências pluviométricas para a região Nordeste do Brasil, encontramos os recentes trabalhos desenvolvidos por Fachine e Galvínio (2010), Silva e Silva (2011), Sousa *et al.* (2011), Neves *et al.* (2011), Lima *et al.* (2011) entre outros, os quais também se utilizam do Teste de Mann-Kendall como ferramenta.

Fachine e Galvínio (2010) procuraram analisar a variabilidade e as tendências das precipitações em anos de El Niño na bacia hidrográfica do rio Pontal (PE) por meio do Teste de Mann-Kendall. Os resultados apontaram que, embora, tenham ocorrido tendências tanto positivas como negativas, elas não puderam ser consideradas estatisticamente significativas.

Os trabalhos de Silva e Silva (2011) e Sousa *et al.* (2011) são alguns dos estudos sobre a análise das tendências pluviométricas no estado do Ceará. No primeiro, os estudos se concentraram na aplicação do Teste de Mann-Kendall nos dados pluviométricos das regiões do Cariri (interior cearense) e Região Metropolitana de Fortaleza (litoral do estado). Os autores utilizaram dados pluviométricos provenientes da ANA para o período de 1970-2008 e verificaram que os períodos secos (em ambas as regiões) apresentaram tendências significativas de aumento.

No trabalho de Sousa *et al.* (*ibidem*) os autores analisaram as tendências recentes dos eventos extremos de precipitação sobre o estado do Ceará utilizando dados pluviométricos de 18 postos no período de 1971-2006. Após a aplicação do Teste de Mann-Kendall, os resultados também demonstraram aumento da intensidade de secas e a diminuição de eventos chuvosos extremos.

Para o estado do Maranhão, Neves *et al.* (2011) buscaram identificar as tendências da precipitação aplicando o Teste de Mann-Kendall a dados do período de 1961-2009 em 12 localidades. Seus resultados demonstraram tendência de aumento não significativo no litoral e no interior do estado no sentido oeste. Já no noroeste, leste e sul do estado, as tendências encontradas foram negativas, entretanto, não significativas.

Já para o estado da Bahia, o trabalho de Lima *et al.* (2011) procurou identificar as tendências pluviométricas para 16 localidades no período de 1960-2009, aplicando-se o Teste de Mann-Kendall aos totais mensais e anuais. Os resultados

demonstraram que em apenas duas cidades, Cipó e Caravelas, houve tendência significativa de mudança nas precipitações. Em Caravelas (litoral sul do estado) os resultados apontaram aumento nas precipitações anuais, possivelmente decorrentes dos sistemas sinóticos (frentes) e de micro escala (brisas). Já em Cipó, os resultados indicaram tendências negativas que podem estar associadas às condições semiáridas do sertão nordestino.

2.4 A CLIMATOLOGIA DOS EVENTOS EXTREMOS NO RIO GRANDE DO SUL.

Para se compreender a dinâmica do clima de uma determinada localidade é necessário se compreender como se comportam os principais centros de ação e de suas massas de ar. Referências à dinâmica dos principais centros de ação e sistemas atmosféricos que atuam na América do Sul podem ser encontradas nas obras de Monteiro (1969), Nimer (1979), Sartori (2003), Mendonça e Danni-Oliveira (2007), Torres e Machado (2008), Rossato (2011, 2012), Wollmann e Galvani (2012) entre outros. Especificamente, sobre os sistemas atmosféricos que atuam no Rio Grande do Sul, Rossato (2011) desenvolveu um recente estudo sobre a participação dos sistemas atmosféricos na configuração das tipologias climáticas do estado.

Reboita *et al.* (2010) esclarecem que as precipitações na região sul do Brasil estão associadas aos (1) sistemas frontais que se deslocam do Oceano austral passando pela Argentina e seguindo para o Nordeste do Brasil, (2) ciclones e frentes frias que se desenvolvem devido a presença de vórtices ciclônicos ou cavados em altos níveis sobre a costa Oeste da América do Sul e também as condições frontogenéticas e ciclogénicas originadas na própria região, (3) os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), (4) sistemas ciclônicos em níveis médios (vórtice invertida) e os (5) bloqueios atmosféricos. Os autores ainda consideram a influência indireta da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a qual, atuando sobre o sudeste do Brasil, promove movimentos subsidentes intensos na região Sul.

Referências às obras de Nimer (1979) e Rao e Hada (1990) merecem destaque quando se analisa a dinâmica das precipitações no sul do Brasil. Para os autores, a principal vantagem da climatologia da região Sul reside não apenas nos índices acumulados anuais de chuva (em torno de 1250 a 2000 mm), mas, sobretudo na forma pela qual elas se distribuem ao longo do ano.

Considerando os baixos índices de variabilidade pluviométrica para a região, Nimer (*op. cit.*) ressalta que estes não devem ser considerados como uma situação constante, uma vez que nos anos com fortes desvios positivos (anos com muita

chuva), a responsabilidade pelo aumento das precipitações se dá pelo maior número de invasões das frentes polares em quase todas as estações do ano.

Sartori (2003), por sua vez, afirma que para se conhecer os tipos de tempo e seus distúrbios de comportamento (eventos extremos, por exemplo) é necessário caracterizar e compreender a circulação atmosférica na escala regional. Dessa forma, como o estado do Rio Grande do Sul situa-se em uma zona climaticamente de transição, onde os Sistemas Atmosféricos Extratropicais (massas polares) e os Sistemas Intertropicais (massas tropicais e correntes perturbadas) se confrontam e influenciam diretamente na caracterização dos tipos de tempo e, conseqüentemente, no seu clima.

Da mesma forma, Nimer (1979) destaca que o ritmo estacional das precipitações no sul do Brasil está relacionado ao principal sistema de correntes perturbadas provenientes do quadrante sul representadas pelo anticiclone polar e sua frente.

Para Sartori (*op. cit.*), os Sistemas Extratropicais são responsáveis pela circulação secundária regional em qualquer época do ano, sendo a Massa Polar Atlântica (MPA), a Massa Polar Velha (MPV) e a Frente Polar Atlântica (FPA), também conhecida como “frente fria”, seus principais representantes. Por outro lado, a participação dos Sistemas Tropicais, na visão de Sartori (*ibidem*), é pequena, reservando-se a Massa Tropical Atlântica (MTA) ou continentalizada (MTAc), Massa Tropical Continental (MTC), Frente Quente de Nordeste e Instabilidades Tropicais, uma pequena participação nas fases pré-frontais e, por no máximo, dois dias consecutivos.

Para a área de abrangência dos areais gaúchos, Rossato (2011 e 2012) esclarece, em virtude de sua localização nas latitudes médias, seus tipos climáticos são controlados pelos sistemas tropicais e polares. Dessa forma, com base na Figura 8 é possível verificar que os Sistemas Frontais são os principais responsáveis pelas precipitações, estando sobre o domínio da Massa Polar Atlântica de 45% a 48% do ano. No restante do ano a Massa Tropical Atlântica atua entre de 20% a 25% e da Massa Tropical Continental entre 5% a 6% dos dias.

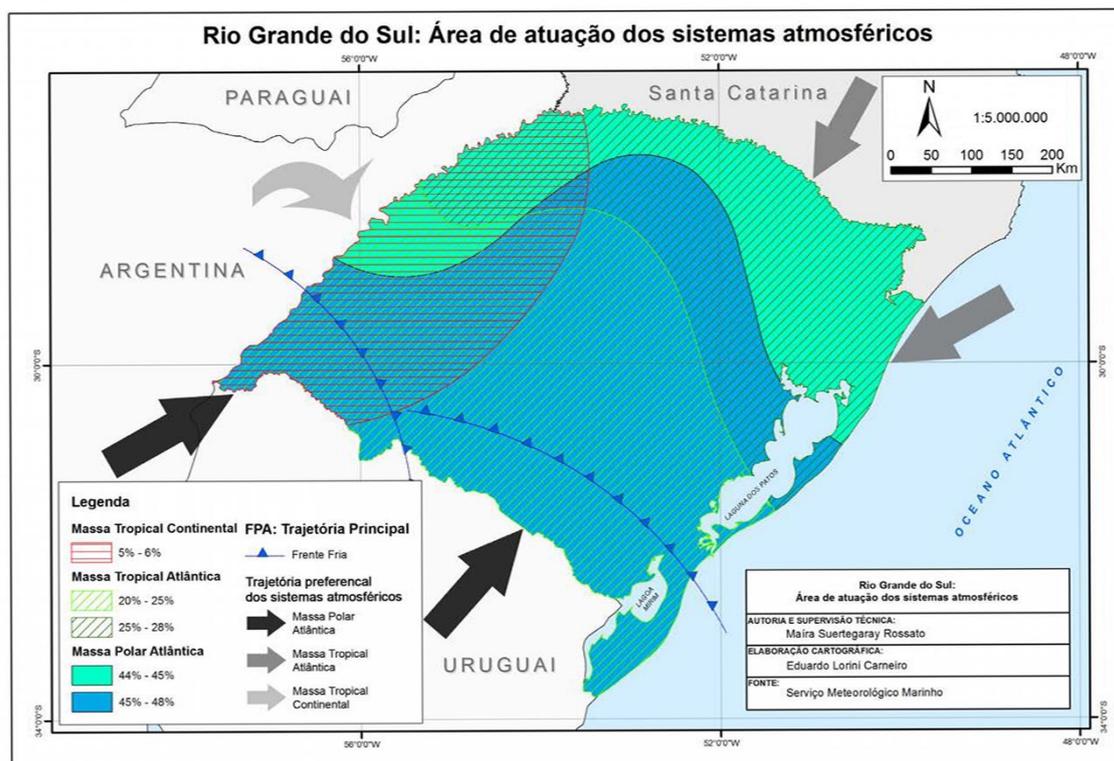


Figura 8. Área de atuação dos sistemas atmosféricos no estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Rossato (2011).

Já na caracterização dos tipos de tempo, propostos por Sartori (2003), para o Rio Grande do Sul, cabe destacar o conjunto, assim denominado, de *Tempos Associados às Correntes Perturbadas*, uma vez que em tais circunstâncias se verificam condições atmosféricas que remetem a ocorrência dos chamados eventos extremos. Para a autora, são seis os estados de tempo associados as tais correntes perturbadas: (1) *Tempo Frontal de Sudoeste de Atuação Moderada*, (2) *Tempo Frontal de Sudoeste de Fraca Atuação*, (3) *Tempo Frontal Estacionário*, (4) *Tempo Frontal de Nordeste*, (5) *Tempo Frontal Ciclonal de Atuação Direta* e (6) *Tempo Frontal Ciclonal de Atuação Indireta*. Entretanto, considerando as circunstâncias dos eventos extremos (precipitação) podem-se destacar os seguintes tipos de tempo:

(1) Tempo Frontal de Sudoeste de Atuação Moderada: provocado pela passagem normal de uma FPA, sem estacionar sobre o estado, originando densa nebulosidade e chuvas de volume razoável (> 50 mm) acompanhada por relâmpagos e trovoadas, provocadas tanto por nuvens estratiformes (nimbostratus) quanto cumuliformes (cumulonimbus), após a fase pré-frontal bem definida, como ventos do quadrante norte. Dependendo da época do ano e da intensidade do aquecimento pré-frontal, as nuvens cumulonimbus podem provocar temporais com chuvas fortes e queda de granizo.

(3) Tempo Frontal Estacionário: resultante da permanência por, pelo menos, três dias da FPA sobre o estado, provocada pelo fraco fluxo polar ou bloqueio da circulação atmosférica regional pela influência do fenômeno El Niño, originando um tipo de tempo muito úmido, com chuvas de intensidade variada, ora mais fortes ora mais leves, nevoeiros, ventos variáveis ou de leste (E) e sudeste (SE), geralmente fracos.

(4) Tempo Frontal de Nordeste: relacionado à participação de uma frente quente, resultante do recuo da Frente Polar para o Estado depois de já estar sobre Santa Catarina ou Paraná, caracterizando-se por chuvas fortes, relâmpagos e trovoadas, baixas pressões em relação aos dias anteriores, ventos variáveis em direção e intensidade.

(5) Tempo Frontal Ciclônico de Atuação Direta: esse tipo de tempo, também, é provocado pela FPA com formação de ciclone frontal (ciclogênese), que se encontra sobre o Rio Grande do Sul, resultando em céu totalmente encoberto, com chuvas fortes (> 50 mm), ventos de várias direções e de diferentes intensidades, que podem chegar a altas velocidades. Esse comportamento da circulação atmosférica determina pressão baixa em relação aos dias anteriores, provoca vendavais ao longo da trajetória seguida pelo ciclone frontal. É precedido de MPA ou MPV, de acordo com a época do ano ou com a atividade do Anticiclone Polar.

Por sua vez, Reboita *et al.* (2010) acreditam que os sistemas frontais frios podem causar precipitações de duas maneiras: atuando diretamente na região ou afastando-se dela, uma vez que fornecem condições para o desenvolvimento de linhas de instabilidade (LI) pré-frontais. As LI são bandas de precipitação que consistem no conjunto de nuvens *cumulonimbus* (Cb) de diversos tamanhos, organizadas em linha ou em curva, deslocando-se de maneira uniforme durante seu tempo de vida. Sua formação se baseia no conceito de *Esteira Transportadora Quente* (ETQ) proposta por Browning (1986) *apud* Reboita (2010), que consiste no movimento de escoamento que transporta calor e umidade em quantidade suficiente para a produção de nuvens e precipitações nos sistemas frontais. O ar quente da ETQ flui sob a forma de Jato de Baixos Níveis na dianteira da frente fria em superfície podendo causar duas situações distintas: (a) uma configuração de levantamento inclinado para trás, onde o ar da ETQ movimenta-se para trás em relação ao movimento da frente fria (caso clássico) e (b) uma configuração de levantamento inclinado para frente, na qual o ar dentro e acima da ETQ move-se para frente em relação ao movimento da frente fria com a região de levantamento inclinado mais adiante na direção do escoamento (Figura 9). Nesse

caso, com o levantamento inclinado para frente, forma-se uma frente fria em altitude que, associada à dinâmica atmosférica, produz uma larga banda de precipitação de moderada a forte.

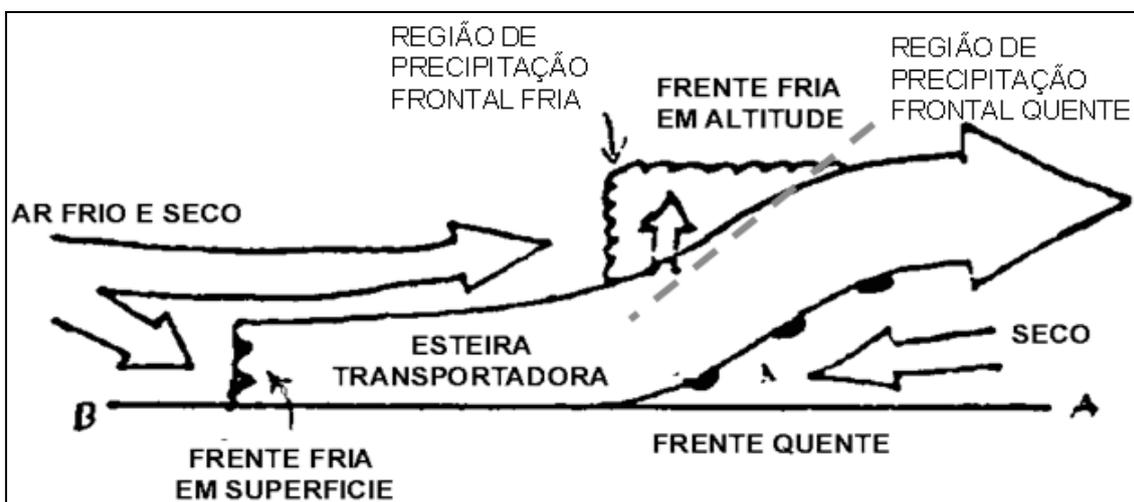


Figura 9. Representação esquemática de uma Esteira Transportadora Quente com levantamento inclinado para frente. A linha tracejada indica a frente fria em altitude. Fonte: Reboita *et al.* (2010)

2.4.1 Complexos Convectivos de Mesoescala

A partir da década de 1980, o desenvolvimento tecnológico aplicado aos satélites meteorológicos possibilitou compreender características como formação, desenvolvimento, e trajetórias dos sistemas convectivos. Por meio de sucessivas imagens de satélite, Maddox (1980) observou que havia uma classe especial desses sistemas, o qual denominou *Complexos Convectivos de Mesoescala* (CCM). Seus estudos, inicialmente, se concentraram na região central dos Estados Unidos e verificaram que a gênese dos CCM estava associada aos eventos de escoamento vale-montanha na borda leste das montanhas Rochosas, a entrada de ar úmido do golfo do México por meio dos jatos de baixos níveis e ao posicionamento dos jatos de altos níveis (MADDOX, 1980).

Os CCM caracterizam-se como uma junção de células convectivas individuais (nuvens *Cumulonimbus*), cobertos por uma extensa camada de nuvens frias (*Cirrus*), com formato circular desenvolvendo-se rapidamente no intervalo seis e doze horas. Ocorrem, principalmente, na metade quente do ano, produzindo grande variedade de fenômenos meteorológicos adversos como tornados, granizo, rajadas de ventos, enchentes, inundações e tempestades elétricas (MADDOX, *ibidem*).

Teixeira (1995) esclarece que são diversos os fatores que contribuem para a formação e/ou intensificação dos sistemas atmosféricos responsáveis pelas chuvas. Sabe-se, por meio de estudos teóricos e observacionais que, por exemplo, um centro

de baixa pressão em superfície é responsável por movimentos ascendentes do ar. Além disso, a presença de umidade em uma quantidade suficientemente grande, na região de movimentos ascendentes, possibilita a elevação, de grandes quantidades de vapor d'água para níveis troposféricos mais elevados acarretando na formação e crescimento de nuvens.

Santos (2012) complementa que na América do Sul, o período de maior incidência de CCM ocorre entre os meses de outubro e maio. Na sua formação, os Jatos de Baixos Níveis (JBN) a leste da cordilheira dos Andes, bem como a incursão de ar frio oriundo dos Andes, atuam como importante mecanismo nas atividades convectivas sobre o sudeste da América do Sul (Figura 10).

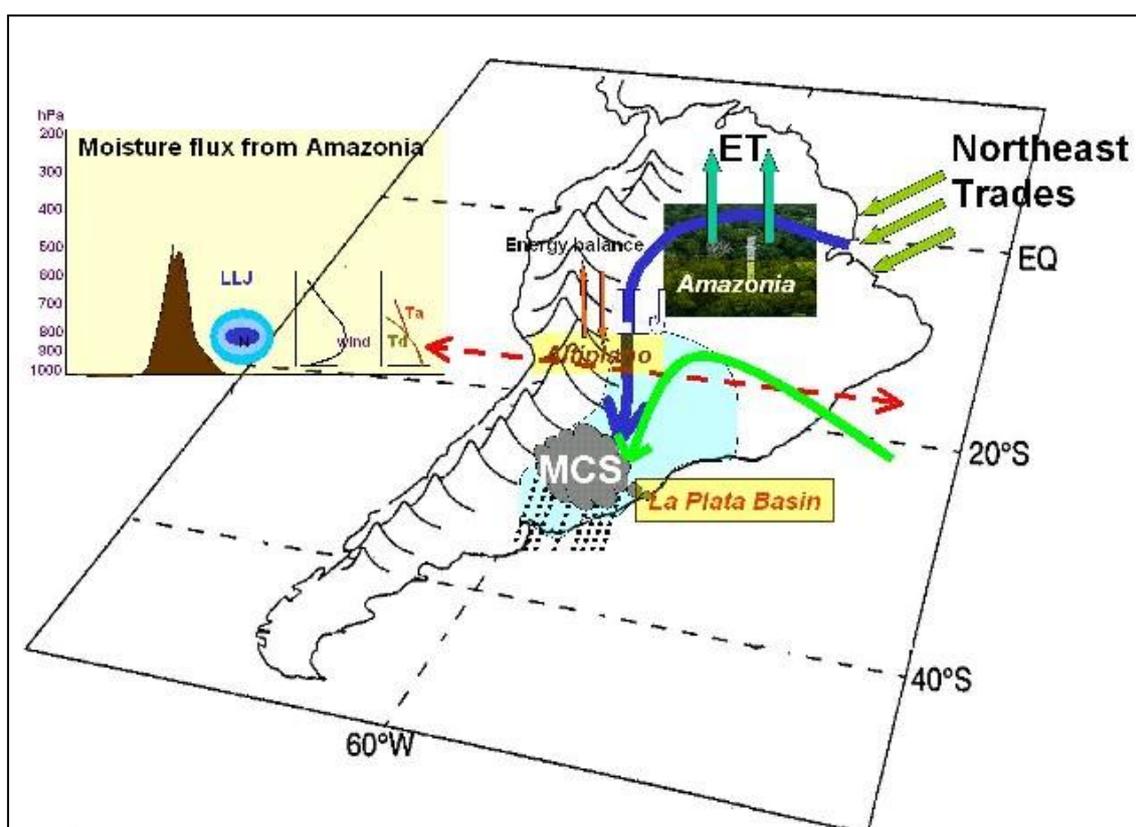


Figura 10. Representação gráfica dos Jatos de Baixo Nível a Leste dos Andes.

Fonte: http://lba.cptec.inpe.br/lba/site/imagens/primeiro_texto.JPG

No trabalho de Marengo *et al.*, (2004) os autores observaram que o transporte de calor e umidade das baixas latitudes para a região dos trópicos e subtropicais representam a principal condição para a formação e o desenvolvimento dos CCM. Os autores constataram que durante o verão, os JBN aumentam o transporte de umidade meridional de umidade, levando massas de ar úmidas da Amazônia para o sul do Brasil e norte da Argentina (Figura 11) promovendo o fenômeno CCM.

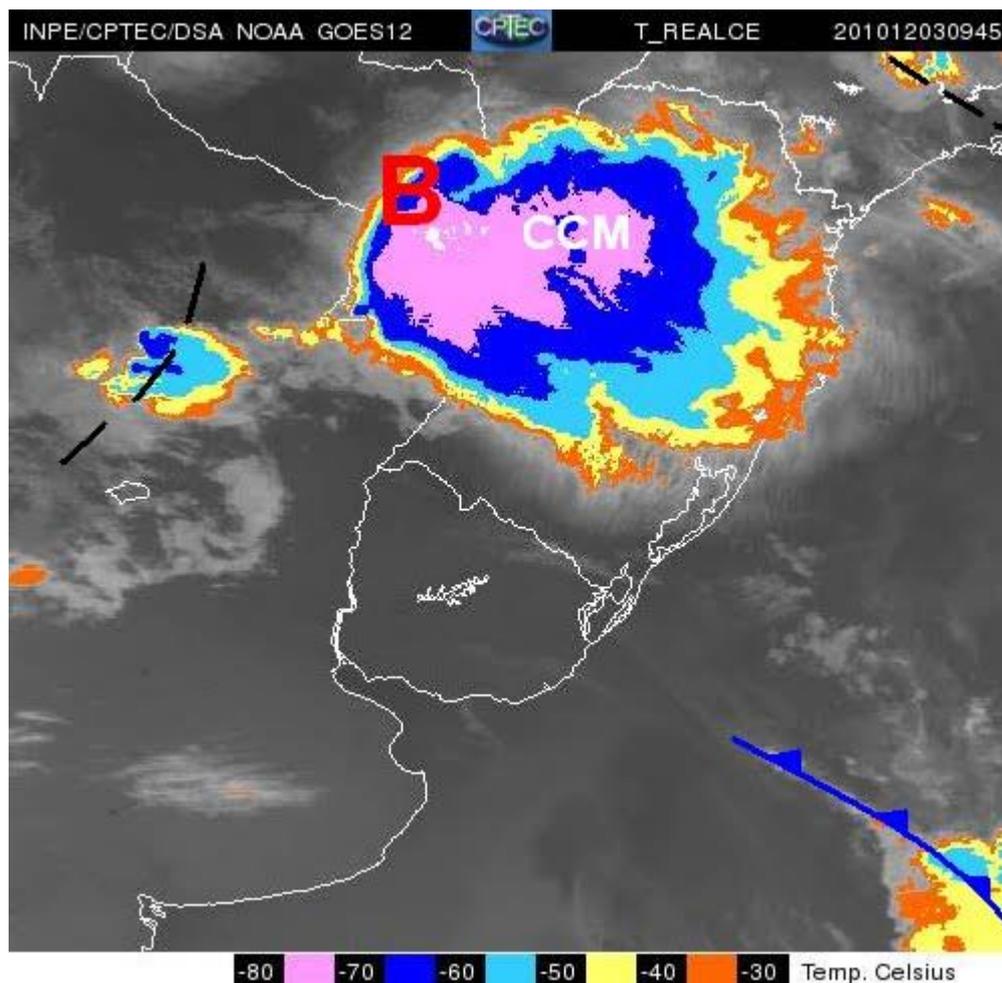


Figura 11. Imagem Realçada do satélite GOES representando a formação de um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM).

Fonte: http://www.atmospher.org/english/images/stories/projetos/Extremos_GOES12.jpg

Os CCM desenvolvem-se na região do Paraguai, norte da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, frequentemente durante a madrugada, possuindo um ciclo de vida menor que um dia. A interação entre os jatos de altos e baixos níveis proporciona instabilidade para o início da atividade convectiva, devido ao forte cisalhamento na região de interação dos dois jatos. Os CCM deslocam-se para leste, desde a região fonte atingindo o sul do Brasil e Uruguai com chuvas intensas (MARENGO *et al.*, 2004; VIANA, AQUINO e MUNHOZ, 2009 e VIANA *et al.*, 2009).

Por sua vez, Santos (2012) analisando dados pluviométricos disponibilizados pela ANA, também, identificou os CCM como um dos principais sistemas meteorológicos responsáveis pela ocorrência de precipitações extremas no Rio Grande do Sul.

Dessa forma, verifica-se uma forte participação dos CCM no regime de chuvas na região sudeste da América do Sul, tornando-se assim, um importante sistema responsável pelas precipitações na estação quente do ano. Referências a trabalhos

sobre os CCM na América do Sul são encontrados nas obras de Dias (1996), Teixeira (2005), Viana *et al.*, (2009a), Viana, Aquino e Munhoz (2009b), Pampuch (2010), Cera (2011), Santos (2012) entre outros.

2.4.2 El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decenal do Pacífico (ODP)

Tanto nas obras de Grimm *et al.* (1998), Grimm e Doyle (2000), Mantua e Hare (2002), Grimm e Pscheidt (2004), Grimm e Tedeschi (2004), Teixeira (2005), Cera (2009), Streck *et al.*, (2009), como nos recentes trabalhos de Cera (2011), Guerra (2012) e Santos (2012), os pesquisadores consideram que os eventos de precipitações intensas, sobretudo no Rio Grande do Sul, também sofrem influência de fenômenos de grande escala e de baixa (e baixíssima) frequência (anual e decenal), como o ENOS em sua fase positiva e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Considerando as mudanças na dinâmica das precipitações (intensas) e sua relação com o fenômeno ENOS, o trabalho de Grimm *et al.*, (2000), procurou analisar como a variabilidade interanual da precipitação na Região Sul, sobretudo no estado do Rio Grande do Sul estaria relacionada a fenômenos de circulação atmosférica nas escalas regional e global.

O fenômeno ENOS consiste no mais importante fenômeno acoplado oceano-atmosfera, responsável pela variabilidade climática global em escalas de tempo interanuais. Para CPTEC (2012) os processos de troca de energia e umidade entre o oceano e a atmosfera é que determinam o comportamento do clima, e as alterações destes processos podem afetar o clima regional e global. O fenômeno possui duas fases distintas denominada de El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria).

Sua fase quente (El Niño) se caracteriza pelo aquecimento incomum das águas superficiais das porções central e leste do Oceano Pacífico tropical, próxima à costa peruana. O aquecimento das águas nessa região se dá pelo enfraquecimento da circulação dos ventos alísios, os quais promovem o aumento da temperatura das águas na costa oeste da América do Sul e no Pacífico central (Figura 12).

Com o Pacífico central aquecido os movimentos convectivos produzem grandes tempestades que acabam por perturbar o fluxo de ar na troposfera superior (Figura 12). Dessa maneira, a atmosfera interatua com as águas superficiais atuando com uma “gangorra barométrica” entre o leste e o oeste do Pacífico – Oscilação Sul (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; ROSSATO, 2011).

Na circulação atmosférica no plano equatorial - Célula de Walker – (CPTEC, 2012), a subsidência do ar ocorrerá sobre a América do Sul (sobre a Cordilheira dos

Andes) (Figura 12), afetando os centros de ação atuantes no continente sul-americano, trazendo, dessa forma, secas para o norte e leste Amazônia e para a porção setentrional do Nordeste e chuvas excessivas para o Sul e parte do Sudeste do Brasil (GRIMM, FERRAZ e GOMES, 1998).

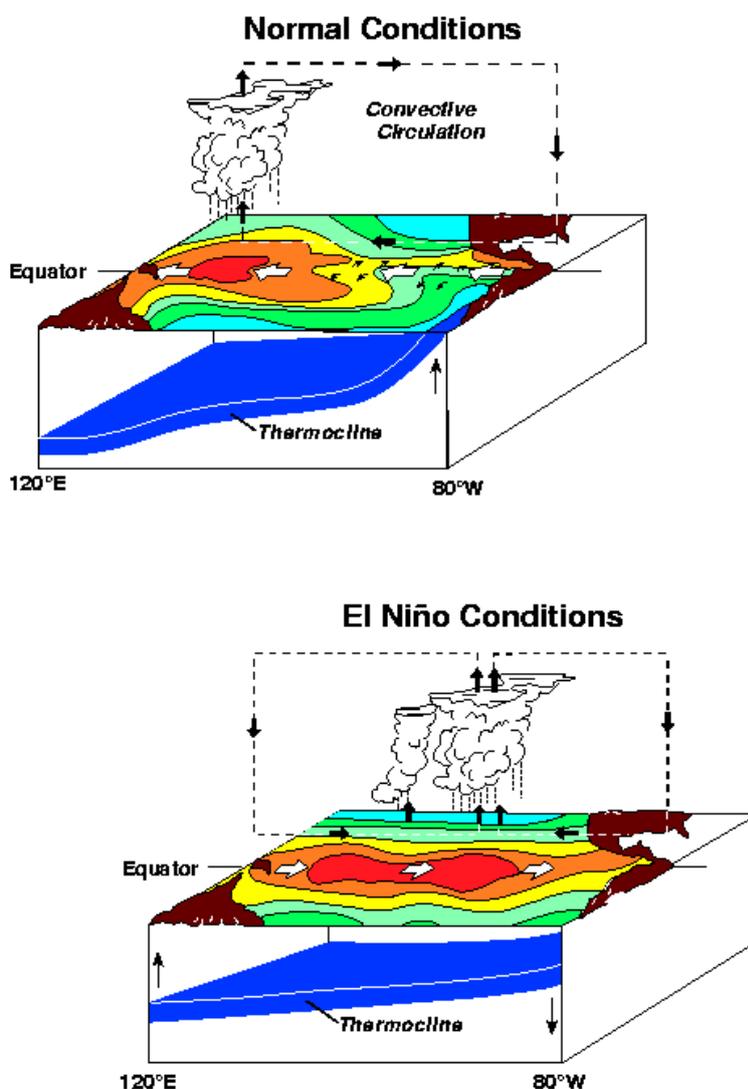


Figura 12. Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase positiva do fenômeno ENOS (El Niño).

Fonte: http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/gif/normal_elnino.gif

Já sua fase fria (La Niña), as águas superficiais do Pacífico equatorial se resfriam, devido ao aumento da pressão no setor leste (alta pressão) o que intensifica a atuação dos ventos alísios. A intensificação dos ventos alísios acumulam as águas superficiais aquecidas na porção oeste do Oceano Pacífico modificando a circulação da Célula de Walker intensificando as precipitações sobre a Oceania (Figura 13). Esse

fenômeno, muitas vezes, é responsável por situações opostas a fase quente do ENOS uma vez que ele é responsável pela diminuição nas precipitações no Uruguai, pelas secas intensas no sul do Brasil, na porção centro-oeste e nos pampas Argentinos e no norte do Peru (ROSSATO, 2011).

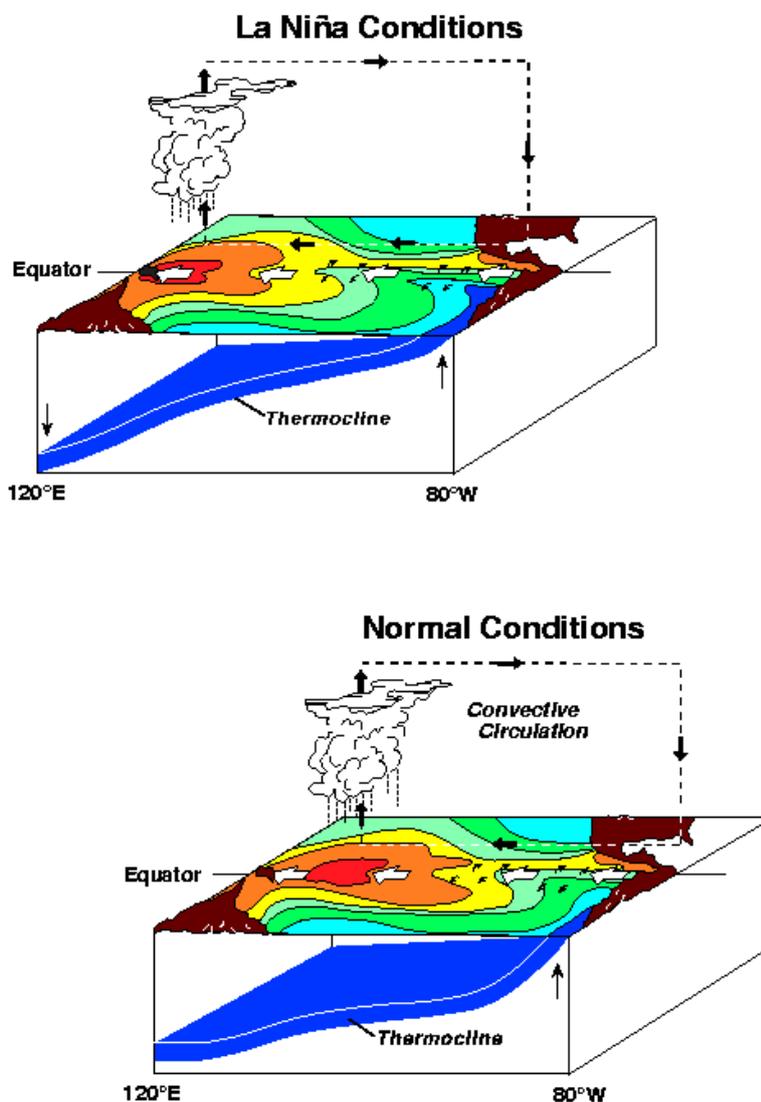


Figura 13. Esquema da circulação oceano-atmosfera na fase negativa do fenômeno ENOS (La Niña).

Fonte http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/gif/normal_el_nino.gif.

Grimm, Barros e Doyle, (2000) constaram que o aumento de eventos severos, no sul do Brasil, nos meses do outono/inverno do ano seguinte ao El Niño, tem consistência com variação de chuvas sazonais sendo coerente com enchentes ocorridas nestas épocas.

Já Grimm e Ferraz (2002) buscaram verificar se as precipitações associadas ao ENOS teriam sofrido variações interdecadais. Os resultados encontrados demonstraram mudanças significativas no comportamento das chuvas (mudanças de intensidade) após a década de 1970, sobretudo devido a mudanças no comportamento da TSM na região Niño 3 no Oceano Pacífico, sendo essas responsáveis pelas oscilações interdecadais observadas.

Em Grimm e Tedeschi (2004 e 2006) as autoras procuraram verificar se os eventos El Niño e La Niña influenciam na ocorrência de eventos extremos de precipitação no Brasil. Calculando-se o número de eventos extremos para cada mês, as autoras classificaram os anos em El Niño, La Niña e Normais. Com base nas médias de eventos extremos de cada mês, para cada categoria de anos e suas diferenças, os resultados demonstraram que os eventos El Niño/La Niña influenciam na ocorrência de eventos extremos.

Analisando a frequência dos eventos extremos de precipitação no sul do Brasil durante o mês de novembro, Grimm e Pscheidt (2004) identificaram certos padrões de circulação atmosférica. No sul do Brasil, os eventos ocorrem durante a primavera com frequência muito maior em episódios El Niño do que durante os anos normais, e com frequência muito menor durante eventos La Niña.

Segundo as autoras, a análise dos padrões atmosféricos (de altos níveis) associados aos eventos extremos demonstra a participação da advecção de vortacidade ciclônica sobre a região Sul fortalecendo o jato subtropical. Em baixos níveis, predomina o fluxo zonal de oeste em altas latitudes, com anticiclones no Pacífico e Atlântico subtropicais e, sobre o continente, uma depressão. Tal situação favorece a advecção de umidade do norte em associação com o anticiclone do Atlântico.

Dessa forma, para o período de 1963-1992, as autoras afirmam que durante os eventos El Niño se observa um aumento do número de eventos extremos de chuva no mês de novembro em relação aos anos normais.

De acordo com o PBMC (2012), a influência do ENOS, também, pode ser observada em relação aos eventos extremos de precipitação para cada mês dentro do ciclo ENOS. Entretanto, o relatório ainda aponta que outros casos de precipitação extrema podem ocorrer em anos neutros com relação ao ENOS, podendo ser associados a outras forçantes como a variabilidade intrasazonal, teleconexões, intensificação de sistemas sinóticos, situações de bloqueio e sistemas de mesoescala, por exemplo.

Os mesmos resultados apontados por Grimm e Pscheidt (2004), também, foram encontrados no trabalho de Santos (2012), o qual procurou analisar os padrões

atmosféricos dos eventos extremos de precipitação na primavera para o Rio Grande do Sul. Para isso o autor utilizou dados pluviométricos diários do estado do período de 1980 a 2006 disponibilizados pela ANA, bem como, dados diários de reanálise do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) obtidos do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP).

Já em relação aos fenômenos de baixíssima frequência, autores como Molion (2005), Streck *et al.* (2009), Cera, Ferraz e Bender (2009), Pampuch e Ferraz (2012), Silva *et al.* (2012) destacam a participação do ENOS associadas aos eventos climáticos como a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP).

Para Mantua e Hare (2002) e Molion (2005; 2008) a ODP corresponde a variações cíclicas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Oceano Pacífico em intervalos de 50 a 60 anos, manifestadas em duas fases distintas. A fase fria caracteriza-se pelas anomalias negativas de temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios, onde, segundo os autores, sua última fase fria ocorreu no período de 1947-1976 (Figura 14). Já sua fase quente apresenta uma configuração contrária, com anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical representadas na Figura 14 pela fase quente posterior que se estendeu de 1977 a 1998.

Para Molion (2005), a existência das fases quentes e frias da ODP está associada aos ciclos de atividade solar (manchas solares), pois as fases quentes da ODP correspondem aos períodos de maior atividade solar e, conseqüentemente, de maior frequência de fenômenos ENOS.

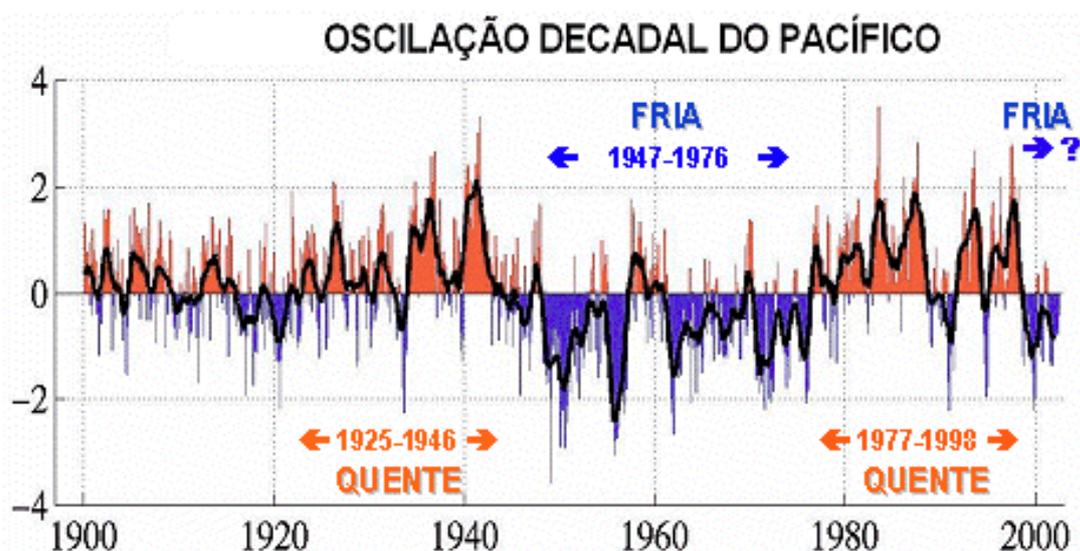


Figura 14. Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico.
Fonte: Molion (2005).

Streck *et al.* (2009) destacam que a variabilidade interanual das precipitações no Rio Grande do Sul, sempre, esteve associada à participação das fases positiva e negativa do fenômeno ENOS. Entretanto, os recorrentes verões entre 2002-2003 e 2008-2009 trouxeram significativas perdas para a agricultura gaúcha em virtude dos baixos volumes pluviométricos, os quais não puderam ser explicados somente pela participação do fenômeno ENOS.

Os trabalhos de Grimm, Ferraz e Gomes (1998) e Grimm, Barros e Doyle (2000) já apontavam para essa questão, uma vez que verificaram que as características dos eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) podiam variar em escalas interdecenais, além da própria variação interanual da temperatura da superfície do mar (TSM) no Pacífico. Segundo os trabalhos, existem modos de variabilidade interdecenais que reproduzem características de eventos El Niño/La Niña. Sendo assim, a superposição de padrões semelhantes pode produzir significativa variabilidade inter-eventos, dependendo do modo interdecenais envolvido.

Para Cera, Ferraz e Bender (2009) a ODP exerce influência na dinâmica das precipitações no estado do Rio Grande do Sul. No trabalho, os autores consideraram três períodos de análise: 1960-1975, 1976-1990 e 1991-2005 onde as médias mensais de precipitação foram convertidas em percentis de ordem e os *quantis* (15, 35, 65 e 85) foram utilizados para delimitar as faixas de chuva: meses muito secos, meses secos, chuvosos e muito chuvosos, respectivamente.

Os resultados demonstraram que nos períodos iniciais, o verão da região sul e sudeste do estado passou de um regime muito seco para seco, sugerindo que a ODP tenha modulado a dinâmica das chuvas na estação. No outono, o sul do estado passou de um período considerado normal para seco em tempos mais recentes. O inverno (no período de 1960-1975) foi a estação que apresentou as maiores mudanças apresentando condições muito chuvosas no sul do estado. Já na primavera, o extremo sul apresentou predominância de características normais nos três períodos.

No trabalho de Silva e Campos (2011), as autoras procuraram determinar e analisar as anomalias decenais do regime hídrico do estado do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006 por meio dos Balanços Hídricos Decenais (BHD) em relação aos componentes do Balanço Hídrico Climatológico (BHC).

Utilizando dados climáticos de diversas estações distribuídas pelo estado, os resultados demonstraram que anomalias negativas e positivas ocorreram na maior parte do Rio Grande do Sul. Por fim, as autoras consideraram que os eventos de grande escala como o ENOS e a ODP influenciaram no regime hídrico do estado, no entanto, de maneira muito diferenciada, dependendo do período e da região.

Já Silva *et al.*, (2012) acreditam que o ENOS e a ODP podem ter efeitos combinados na distribuição anômala de precipitações em algumas regiões agindo de maneira “construtiva”, com anomalias fortes e bem definidas quando ambas estão na mesma fase, e de maneira “destrutiva”, com anomalias fracas e mal definidas quando em fase opostas. Referências a dinâmica e a influência da ODP podem ser encontradas nos trabalhos de Mantua e Hare. (2002), Molion (2005), Streck *et al.*, (2009) e Streck *et al.*, (2011), Pampuch e Ferraz (2012), Silva *et al.*, (2012) entre outros.

2.5 O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVA (IAC) COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE

Análises sobre as precipitações nas escalas regional e local têm sido responsáveis por uma significativa ampliação dos trabalhos científicos, sobretudo, os que buscam identificar a influência de anomalias como a do fenômeno ENOS e a da ODP (GRIMM, FERRAZ e GOMES, 1998; GRIMM, BARROS e DOYLE, 2000; MOLION, 2005; MARENGO, 2007; STRECK *et al.*, 2009, 2011; PAMPUCH e FERRAZ, 2012, SILVA *et al.*, 2012, entre outros).

No trabalho de Azevedo e Silva (1994) os autores procuraram comparar vários índices que fossem capazes de expressar, com relativa facilidade, o grau de severidade de secas e o conteúdo de umidade do solo para o agreste paraibano na região da Borborema. Um dos índices utilizados pelos autores foi o IAC o qual se mostrou facilmente aplicável, visto utilizar-se de apenas uma variável para análise.

Já nos trabalhos de Araújo *et al.*, (2007), Araújo, Moraes Neto e Sousa (2009a) e Araújo, Moraes Neto e Sousa (2009b) o IAC foi aplicado como ferramenta para se analisar a climatologia no espaço geográfico da bacia do rio Paraíba e a influência na variabilidade espaço-temporal das chuvas na região. Ao analisarem os dados pluviométricos das primeiras décadas do século XX até os primeiros anos do século XXI, os resultados demonstraram uma inflexão nas precipitações na década de 1960. Após esse período houve uma diminuição da frequência dos anos secos, no entanto, com um significativo aumento de sua severidade. Os trabalhos, também, demonstraram que o IAC pode ser usado como ferramenta para o acompanhamento climático de uma determinada localidade (ou região), monitorando, gerando prognósticos e diagnósticos climáticos.

Silva, Sousa e Kayano (2009) aplicaram o IAC buscando identificar a dinâmica das precipitações na bacia do rio Mundaú (entre os Estados de Pernambuco e Alagoas) utilizando dados de precipitação de 1955 a 1991 obtidos da Agência Nacional de Águas. Os resultados demonstraram que o ano de 1974 fora considerado

como “ponto de inflexão” no que diz respeito às precipitações na bacia. Antes de 1974 houve o predomínio de anos chuvosos em detrimento de anos secos. Após 1974 os anos secos se tornaram mais frequentes do que os úmidos.

O trabalho de Ewald (2010) procurou analisar o regime pluviométrico do município de Marechal Cândido Rondon (PR) no período de 1965 a 2008 utilizando técnicas e métodos estatísticos, buscando correlacionar os eventos ENOS aos índices de severidade obtidos por meio do IAC. Suas análises apontaram fortes relações entre a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña com os anos mais úmidos e mais secos, respectivamente, e ainda que o IAC se mostrou perfeitamente adequado as suas análises.

No trabalho de Mancuzzo, Melo e Rocha (2011) o IAC foi utilizado como um dos recursos para se analisar a variação espaço-temporal e sazonal das precipitações pluviais no estado do Mato Grosso, com dados pluviométricos entre os anos de 1977 e 2006 demonstrando que ocorreram mais eventos negativos (anos secos) do que positivos (anos úmidos) no período.

Procurando utilizar o IAC como indicador climático da variabilidade pluviométrica na microrregião de Gurupi (TO), Silva Junior *et al.*, (2011) desenvolveram suas análises utilizando dados entre 1974 e 2006 de cinco estações pluviométricas pertencentes a ANA. Os resultados apontaram para a existência de grande variabilidade pluviométrica regional, registrando eventos considerados como muito secos durante anos consecutivos entre 1988 a 2003, sobretudo no município de Cariri do Tocantins. Em Brejinho de Nazaré, os anos de 1976, 1984, 1990, 1991, 1998 e 2003 foram considerados pelo IAC como *Extremamente Seco*. No entanto, 1980, 1984, 1985, 1989 e 2000 foram considerados anos *Extremamente Úmidos* após a aplicação do IAC.

Por fim, Silva *et al.*, (2012) procuraram verificar a influência do fenômeno ENOS e da ODP na variabilidade das precipitações na Região metropolitana de Fortaleza e na região do Cariri (interior do Ceará) utilizando o IAC como ferramenta de análise. Os autores observaram que a associação das fases quentes e frias do ENOS e da ODP promoveram, respectivamente, diminuição e aumento nas chuvas para a região de Fortaleza, demonstrando uma forte correspondência entre os eventos, diferentemente do observado para a região do Cariri cearense.

3. RECURSOS INSTRUCIONAIS E DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

3.1 ETAPAS PROCESSUAIS:

Nesta fase do trabalho são apresentadas as etapas processuais para a análise dos dados pluviométricos observados no decorrer do século XX, a relação entre os eventos pluviométricos intensos e os processos de escoamento superficial responsáveis por parte da dinâmica da arenização, e a preparação e análise dos dados pluviométricos de saída do Modelo Eta/CPTEC para o século XXI.

3.2 PRIMEIRA ETAPA: COLETA, ORGANIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS.

Essa etapa do trabalho consistiu na obtenção dos dados pluviométricos, junto ao banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), e na preparação inicial desses dados para posterior tratamento estatístico.

3.2.1 Aquisição dos dados e tratamento preliminar:

3.2.1.1 Conjunto de dados pluviométricos – Agência Nacional de Águas (ANA)

Para o desenvolvimento desta etapa de trabalho foram utilizados dados de precipitação de postos pluviométricos do município de Alegrete, todos localizados na região sudoeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 15).

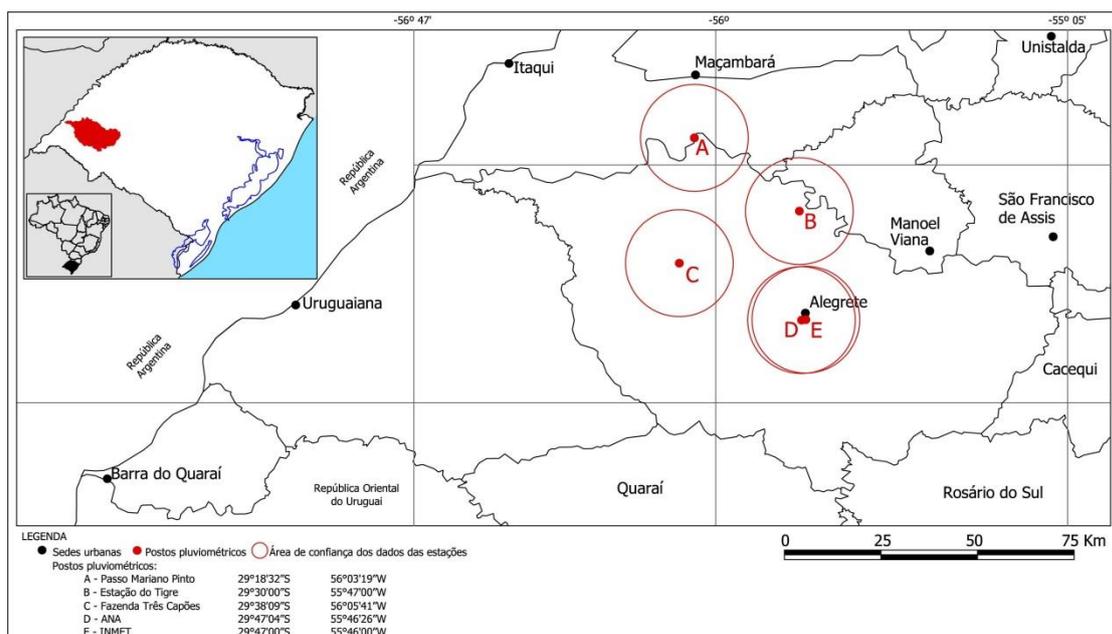


Figura 15. Localização dos postos pluviométricos utilizados em Alegrete (RS).

O conjunto de dados pluviométricos foi obtido através do Sistema de Informações Hidrológicas (*hidroweb*) do site da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>), sendo selecionados e obtidos os dados dos seguintes postos:

Tabela 1: Relação dos postos pluviométricos analisados e o período de dados utilizados.

Município	Postos	Coordenadas Geográficas		Altitude	Período de dados	
	Alegrete INMET	29°47'0" S	55° 46' 0" W	121 m	1928-1941; 1952-1970; 1988-1989.	1943-1947; 1975-1986;
	Alegrete ANA	29°47'4" S	55° 46'26" W	80 m	1986-2009.	
Alegrete	Faz. Três Capões	29°38'9" S	56° 5' 41" W	150 m	1951-1961.	
	Passo Mariano Pinto	29°18'32" S	56° 3' 19" W	60 m	1970-2009.	
	Estação do Tigre	29°30'0" S	55°47'0" W	94 m	1943-1953.	

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) (<http://hidroweb.ana.gov.br/>)

Uma condição comumente encontrada em longas séries de dados temporais é a existência de falhas no conjunto dos dados. Na maioria das vezes, tais falhas ocorrem devido a problemas de ordem técnica (quebra e manutenção de equipamentos) e problemas de ordem pessoal (férias funcionais sem substitutos, por exemplo). Entretanto, para sanar as lacunas encontradas no conjunto de dados em virtude dessas questões, é possível aplicar-se métodos estatísticos para o seu preenchimento.

Utilizando-se do software Excel (*Microsoft Corporation*) os dados diários de precipitações foram tabulados e organizados em planilhas com os totais mensais ao longo de todos os anos das séries temporais analisadas. Tal procedimento permitiu identificar os meses em que não houve coleta de dados, implicando na adoção de procedimentos para o preenchimento de tais falhas por meio de métodos estatísticos.

Considerando a análise de dados hidroclimatológicos, existem diversos métodos estatísticos para o preenchimento de falhas em séries temporais. Aqui no Brasil, os mais utilizados são: Métodos de Ponderação Regional, Método da Razão Normal, Método dos Quadrantes, Método do IPH, entre outros (FRANK *et al.*, 1986; TUCCI, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Neste trabalho, a opção foi por utilizar o Método de Regressão Linear nos totais mensais de precipitação para o preenchimento das falhas existentes nas séries analisadas, baseado nos dados pertencentes às séries correspondentes de postos vizinhos (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Por esse método, testes de correlação linear entre

dados concomitantes em dois postos próximos geraram uma equação de regressão linear (do tipo $y=\beta x+\alpha$), seu coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de correlação (r). Dessa forma, aplicando-se os dados dos postos vizinhos na equação gerada foi possível obter os dados correspondentes aos períodos faltosos.

A escolha do Método de Regressão Linear para o preenchimento de tais falhas, ao invés dos demais métodos, se deu em virtude de limitações próprias, como a inexistência de um conjunto maior de estações pluviométricas próximas com dados correspondentes aos períodos faltosos.

Após o preenchimento das falhas nas séries de dados foi necessário analisar sua consistência sob uma visão regional procurando comprovar o grau de homogeneidade dos dados de um posto em relação aos postos vizinhos. Nesses casos Tucci (2009), recomenda a aplicação do Método da Dupla Massa desenvolvido pelo *U. S. Geological Survey*, amplamente adotado no Brasil para validar dados mensais e anuais (AGRA *et al.*, 2003; WISSMANN, 2005; GUANDIQUE *et al.*, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; DONATO *et al.*, 2008; ALEXANDRE, 2009; MORUZZI *et al.*, 2009; BARBOSA *et al.*, 2010; CALDEIRA *et al.*, 2011; CASSOL e GOMES, 2011).

Outra forma de se analisar a consistência desses dados foi aplicando-se testes de correlação com as Normais Climatológicas de 1931-1960 e 1961-1990 de precipitações em Uruguaiana.

3.2.1.1.1 Organização dos dados pluviométricos diários

Como dito anteriormente, outro problema encontrado no processo de tratamento inicial dos dados foi a inexistência de um único posto pluviométrico que contemplasse todo o conjunto de dados das séries temporais.

Tal condição dificultou a princípio o processo de categorização das precipitações em dias com intensidade ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, o total de dias secos no mês e o maior período seco no mês. Pois, além dos postos possuírem falhas mensais em seus dados (o que fora contornado por meio dos métodos de regressão linear descritos anteriormente), possuíam igualmente diversas falhas diárias.

A solução encontrada para esse problema foi a de identificar entre os postos qual possuía o maior conjunto de dados temporais completos para, assim, adotá-lo como posto principal para a série temporal. O passo seguinte foi o de se verificar nos

dados dos demais postos quais informações poderiam substituir e preencher as lacunas diárias no posto principal.

Na prática, depois de atribuída a função de posto principal a um dos postos no município, onde havia falhas nos valores diários, eles foram substituídas pelos dados dos postos vizinhos para se obter um conjunto completo de dados diários na série temporal.

Buscando garantir a confiabilidade do método de substituição dos valores diários dos postos em cada município, foram selecionados dados (mensais e diários) concomitantes entre os postos utilizados para a aplicação de testes de correlação linear e a extração de seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (R).

3.3 SEGUNDA ETAPA: ORGANIZAÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS.

3.3.1 Análise de tendência das séries

Passada a etapa de aquisição dos dados junto aos órgãos e seu tratamento preliminar quanto ao preenchimento das falhas existentes nas séries temporais de dados pluviométricos, a etapa seguinte consistiu na organização dos dados diários, obtendo os totais mensais de precipitação ano a ano das séries analisadas em planilhas no software Excel.

Uma vez preenchidas as falhas nas séries de dados mensais de precipitação foi possível analisar a tendência linear dos totais anuais, do somatório dos trimestres relativo às estações do ano - *verão* (DJF), *outono* (MAM), *inverno* (JJA) e *primavera* (SON) e dos totais mensais no decorrer dos períodos analisados. O objetivo consistiu na identificação de possíveis tendências (de aumento, manutenção ou redução) no conjunto de dados analisados.

Uma vez obtidas as tendências nos totais anuais, nas séries trimestrais e nos totais mensais nos postos analisados o passo seguinte foi o de avaliar qualitativamente as tendências encontradas no conjunto dos dados por meio do Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975, FOLHES e FISCH, 2006 e BLAIN, 2010).

O Teste de Mann-Kendall compreende um teste estatístico não-paramétrico para identificação de tendências, sendo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estudos de tendências climáticas em séries temporais longas (PAIVA e CLARKE, 1995; GROppo *et al.*, 2001; MARENGO e

ALVES, 2005; ALEXANDER *et al.*, 2006; FOLHES e FISCH, 2006; OBREGÓN e MARENGO, 2007; BLAIN, 2010).

Neste teste, ao adotar-se a hipótese da estabilidade da série temporal (H_0), os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma.

Sendo assim, considerando uma dada série temporal de X_n ($X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$) a ser analisada para a comprovação H_0 (hipótese nula onde não há tendência positiva nem negativa da série), deve-se calcular a posição de cada elemento X_i em relação aos outros valores da série, de forma que $R_1, \dots, R_i, \dots, R_n$ representam a sequência de números que especificam a ordem relativa da série temporal de X_i . O próximo passo consiste em se determinar o sinal para cada número-ordem pelas funções sinal ($R_j - R_i$) *cf.* mostram Folhes e Fisch (2006), Obregón e Marengo (2007) e Blain (2010) onde:

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = \begin{cases} 1; \text{para } R_j - R_i > 0 \\ 0; \text{para } R_j - R_i = 0 \\ -1; \text{para } R_j - R_i < 0 \end{cases}$$

Dessa forma, considerando a hipótese nula (H_0) o teste consiste no somatório apresentado na equação abaixo:

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(R_j - R_i)$$

Partindo da premissa de que a hipótese H_0 seja verdadeira, a estatística S apresenta uma distribuição aproximadamente normal gaussiana, com média igual a zero e variância (VAR) conforme a seguinte equação:

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1) \cdot (2n+5)}{18}$$

Para Alexander *et al.*, (2006) e Blain (2010), o uso do Método de Mann-Kendall se mostra bastante robusto quanto aos desvios de normalidade e não-estacionaridade dos valores da série sendo este o motivo de sua ampla utilização em estudos de séries temporais.

Onde finalmente, o valor da estatística de Mann-Kendall (MK) é dado por:

$$MK = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}} & se \quad S > 0 \\ 0 & se \quad S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}} & se \quad S < 0 \end{cases}$$

Uma vez concluída a análise estatística de Mann-Kendall é necessário se tomar a decisão final de aceitar ou rejeitar a hipótese de que não há tendência na série analisada (H_0) ou rejeitá-la a favor da hipótese alternativa. O sinal da estatística de Mann-Kendall indica se a tendência é crescente ($MK > 0$) ou decrescente ($MK < 0$).

Para Marengo e Alves (2005), Alexander *et al.*, (2006), Folhes e Fisch (2006) e Blain (2010), ao se considerar o nível de significância de 95% ($\alpha = 0,05$), a hipótese H_0 (de que não há tendência nem positiva nem negativa na série) deverá ser rejeitada sempre que o valor MK encontrado estiver $-1,96 < MK < +1,96$.

Para a aplicação do Teste de Mann-Kendall foi utilizado o software *Stat Plus versão 2009 (AnalystSoft Inc.)* em seu pacote de *testes não-paramétricos* para a obtenção do parâmetro MK nos conjuntos de dados analisados.

Outra forma de se avaliar os anos menos chuvosos, mais chuvosos e as anomalias extremas (positivas e negativas) foi por meio a aplicação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC). O IAC procura analisar a frequência desses anos, avaliando o grau de severidade através das seguintes equações:

$$IAC = 3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{M} - \bar{N})} \right] \quad (1) \quad \text{para anomalias positivas e}$$

$$IAC = -3 \left[\frac{(N - \bar{N})}{(\bar{X} - \bar{N})} \right] \quad (2) \quad \text{para anomalias negativas.}$$

Nas equações, \mathbf{N} compreende a precipitação total (mm) do ano que será gerado o IAC; \bar{N} , corresponde à média anual da série histórica (mm); \bar{M} representa a média das dez maiores precipitações anuais da série histórica (mm) e, \bar{X} compreende a média das dez menores precipitações anuais da série histórica (mm). As anomalias positivas são representadas por valores acima da média e as negativas, abaixo da média e seus graus de intensidade podem ser avaliados conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Classes de Intensidade do Índice de Anomalia de Chuva.

Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	Faixa do IAC	Classe de intensidade
		De 4 acima
	2 a 4	Muito úmido
	0 a 2	Úmido
	0 a -2	Seco
	-2 a -4	Muito seco
	De -4 abaixo	Extremamente seco

Fonte: Adaptado de Araújo *et. al.*, (2007).

3.3.2 Análise da frequência das séries

Vinculados à Organização Meteorológica Mundial (OMM), por meio de sua Comissão de Climatologia (CCL)/Programa Mundial de Pesquisa Climática (WCRP), o Grupo de Previsibilidade e Variações Climáticas (CLIVAR) vem desenvolvendo estudos referentes às mudanças climáticas analisando o comportamento extremo do conjunto de variáveis climáticas (WMO, 2012).

O *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) constituiu-se num conjunto de pesquisadores interinstitucionais, os quais definiram o conjunto de 27 índices descritivos de extremos climáticos, sendo 16 para temperatura e 11 para precipitação. A relação do conjunto total de índices encontra-se disponível no sítio eletrônico <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI>.

Para essa etapa do trabalho, a análise dos dados foi feita com base em alguns índices de precipitação propostos pelo ETCCDI, calculados por meio do software Excel e outros índices propostos pelo autor deste trabalho.

Dessa forma, a Tabela 3 mostra a relação dos índices climáticos propostos pelo ETCCDI utilizados no trabalho assim como outros índices propostos pelo autor deste trabalho.

Tabela 3: Descrição dos índices climáticos utilizados.

Índice	Órgão	Significado do índice	Definição	Unidade
R1 mm	ETCCDI	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 1 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 1 mm.	Dias
R10 mm	ETCCDI	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 10 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 10 mm.	Dias
R20 mm	ETCCDI	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 20 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 20 mm.	Dias
R30 mm	ETCCDI	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 30 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 30 mm.	Dias
R50 mm	ETCCDI	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 50 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 50 mm.	Dias

R80 mm	Autor	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 80 mm.	mm. Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 80 mm.	Dias
R100 mm	Autor	Número de dias úmidos com precipitação ≥ 100 mm.	Número de dias em um ano em que a precipitação ≥ 100 mm.	Dias
SDII	ETCCDI	Índice Simples de Intensidade Diária.	Precipitação anual dividida pelo número de dias úmidos.	mm.dia ¹
CDD	ETCCDI	O comprimento máximo do período de seca no ano.	Período máximo de dias com precipitações ≤ 1 mm.	Dias
CDDmês	ETCCDI/autor	O comprimento máximo do período de seca no mês.	Período máximo de dias com precipitação ≤ 1 mm no mês.	Dias
PRCPTOT	ETCCDI	Precipitação total anual dos dias úmidos.	Precipitação anual total de dias úmidos (precipitação ≥ 1 mm).	mm

Fonte: adaptado de http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/list_27_indices.shtml <acesso em 01 de maio de 2012>.

Ainda, utilizando-se do software Excel, os dados pluviométricos foram tabulados e organizados em dados diários, totais mensais e totais anuais. Para cada conjunto de dados anuais (planilha) foram extraídas informações referentes à quantidade de dias com chuvas ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, o total de dias secos ($R < 1$ mm) no mês, o maior período seco no mês (CCD/mês) e o maior período seco no ano (CCD).

De posse de tais informações, também, foi extraído o *Índice Simples de Intensidade Diária* (SDII) que consiste na precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos em um ano. Para tal, considerou-se como dia úmido aqueles que apresentarem volume mínimo ≥ 1 mm de chuva.

Da mesma maneira que nas análises temporais (dos totais anuais, trimestrais e mensais) foi aplicado o Teste de Mann-Kendall como forma de se analisar qualitativamente as tendências encontradas nos conjuntos de precipitações e se avaliar, por meio de teste de hipótese, a significância dessas tendências.

3.4 TERCEIRA ETAPA: A RELAÇÃO DOS EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS E A ARENIZAÇÃO.

A identificação da quantidade de dias com precipitações ≥ 50 mm, ≥ 80 mm e ≥ 100 mm na etapa anterior permitiu verificar se tais eventos apresentaram tendência de aumento no decorrer do século XX. A literatura que aborda a dinâmica da arenização, sobretudo, a que trata dos processos de escoamento superficial (VERDUM, 1997, SUERTEGARAY, GUASSELLI e VERDUM, 2001 e VERDUM, 2012) vinculados aos

eventos diários de precipitação intensa, foi adotada para balizar as discussões sobre como a dinâmica desses eventos extremos se manifestaram no decorrer do século XX.

Dessa forma, os valores pluviométricos diários foram dispostos em um gráfico que corresponde a toda a série de dados Alegrete (1928-2009). A partir dessas informações foi possível estabelecer a quantidade (f) de eventos pluviométricos ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, ≥ 150 mm, ≥ 160 mm, ≥ 170 mm e ≥ 180 mm.

O passo seguinte consistiu em se determinar a frequência relativa (fr) para cada evento extremo, por meio da seguinte fórmula, como sugere Galvani (2011).

$$fr = \frac{na}{n}$$

A frequência relativa (fr) corresponde ao número de vezes que o evento ocorreu (na) em relação ao número total de elementos da série (n). No caso dos dados de Alegrete (1928-2009), a quantidade de cada evento pluviométrico extremo em função dos 82 anos da série.

De posse de tais informações, o passo seguinte foi o de determinar o tempo de retorno para cada evento extremo de precipitação. Para Galvani (*ibidem*), o tempo de retorno (T) pode ser definido como o inverso da probabilidade. O objetivo é determinar qual é o período de retorno para um evento de precipitação extrema.

$$T = \frac{1}{fr}$$

Dessa forma, com base na frequência (quantidade dos eventos), na frequência relativa (fr) e no seu tempo de retorno (T), juntamente com a avaliação das tendências por meio do Teste de Mann-Kendall (MK), foi possível verificar quais foram as dinâmicas desses eventos extremos no decorrer do século XX. E, baseado na literatura sobre o assunto, como eles se relacionaram com os períodos chuvosos e secos, assim como, às atividades de escoamento superficial concentrado que estão relacionadas ao processo de arenização.

3.5 QUARTA ETAPA: ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS FUTUROS.

3.5.1 Análise dos dados *downscaling* do Modelo Climático Regional ETA/CPTEC

Os dados pluviométricos utilizados nesta etapa da tese provêm do projeto de pesquisa liderado pelo CPTEC/INPE, intitulado “*Assessment of Impacts and Vulnerability to Climate Change in Brazil and Strategies for Adaptation Options*”, coordenado pelo Dr. José Marengo, o qual ainda integra um conjunto de instituições e pesquisadores nacionais e internacionais.

Os pesquisadores envolvidos têm procurado desenvolver pesquisas nas áreas de impactos, vulnerabilidade e na identificação de opções de adaptação às mudanças climáticas, uma vez que o projeto constitui mais um passo na produção de cenários climáticos futuros com base numa nova geração de cenários climáticos regionais que está sendo gerada no INPE. O uso dessas projeções climáticas regionais e índices de vulnerabilidade permite a identificação de áreas sob o risco de estresse climático, mapeando a vulnerabilidade populacional.

Estudos sobre a ocorrência dos eventos climáticos extremos, seus impactos sobre os recursos hídricos e os desastres naturais de origem meteorológica constituem a primeira abordagem para o mapeamento de risco e vulnerabilidade para o Brasil. Outras informações sobre o projeto podem ser acessadas por meio do endereço eletrônico (ftp://fapesplima.ccst.inpe.br/presentations/First-PFPMCG-Meeting-18FEb2011/FAPESP_MCG_Marengo_Short.pdf).

Para o desenvolvimento dos cenários climáticos futuros nas escalas regionais, juntamente com a avaliação de suas incertezas para o século XXI, foram utilizados dados climáticos provenientes do AOGCMs HadCM3 para o cenário SRES A1B, regionalizados por meio da técnica do *downscaling* pelo Modelo Regional Eta/CPTEC 40 km. O cenário SRES A1B descrevem um mundo onde haja um equilíbrio entre todas as fontes de energia sem a dependência de uma ou duas matrizes energéticas.

Nesta etapa da tese foram utilizados dados pluviométricos gerados para a região no entorno da estação meteorológica de Manoel Viana (coordenadas geográficas 29° 35' 08,60" S / 55° 29' 01,66" W), a partir do Modelo Eta/CPTEC na resolução de 40 km.

A aplicação da técnica de regionalização (*downscaling*) gerou um conjunto de dados pluviométricos diários os quais foram agrupados em quatro *time-slices*: 1961-1990, 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

3.5.2 Tratamento estatístico e análise de tendência

Inicialmente, os dados diários do *time-slice* de 1961-1990 foram agrupados em totais mensais para serem comparados com os totais mensais pluviométricos observados (conjunto de dados da ANA). Foi aplicado o Teste de Correlação Linear entre ambos os conjuntos de dados para a obtenção de seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (r).

O passo seguinte consistiu em verificar se ambas as séries mensais (a observada e os dados de saída do Modelo Eta/CPTEC) seriam estatisticamente homogêneas aplicando-se o Teste t de *Student* como ferramenta de análise (SPIEGEL,1993). Nesse teste considerou-se a ideia de que não existem diferenças (estatísticas) entre as duas séries de dados ($\mu_1 = \mu_2$ e $\sigma_1 = \sigma_2$), adotando-se, assim, a hipótese nula (H_0). Entretanto, se os resultados observados mostrarem-se diferentes do que os esperados por essa hipótese (H_0), conclui-se que as diferenças observadas são estatisticamente significativas.

Novamente, o nível de significância escolhido foi de 0,05, ou seja, 5% de erro do valor que deveria ser aceito. Essa escolha proporciona uma confiança de 95% de que a hipótese seja verdadeira, ou seja, de que os valores sejam estatisticamente idênticos. Entretanto, se essa hipótese (H_0) for rejeitada quando deveria ser aceita, adotamos que foi cometido um erro do Tipo I (rejeição da hipótese nula como verdadeira).

Sendo assim, para se aceitar a hipótese (H_0) como verdadeira, o escore (z) de uma estatística amostral deve estar compreendido entre $-1,96$ e $1,96$, ou seja, para se considerar a hipótese nula, os valores devem ser $-1,96 \leq z \leq 1,96$.

Assim, no Teste t de *Student*, temos que:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{1/N_1 + 1/N_2}}$$

onde

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}$$

e

$$s^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i - \mu)^2}{N - 1}$$

Dessa forma, considera-se que μ_1 e μ_2 correspondem às respectivas médias mensais dos dados reais e sintéticos, N_1 e N_2 são as amostras mensais analisadas, σ o desvio padrão entre as séries e s_1^2 e s_2^2 as respectivas variâncias de cada série. Já quanto ao grau de liberdade da distribuição t , adotou-se que:

$$v = N_1 + N_2 - 2$$

Os resultados desta etapa permitiram verificar se os dados do Modelo Eta/CPTEC 40 km conseguiram representar a dinâmica das precipitações no período de 1961-1990 como fase de calibração do modelo regional.

O passo seguinte foi o de agrupar os dados pluviométricos diários em totais mensais em cada *time-slice* (2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099) para posterior avaliação de suas tendências anual, trimestral e mensal por meio da aplicação do Teste de Mann-Kendall já descrito na metodologia (SIEGEL, 1975).

4. RESULTADOS DA ANÁLISE DOS DADOS

4.1 ANÁLISE DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.

4.1.1 DADOS NO MUNICÍPIO DE ALEGRETE

4.1.1.1 Seleção dos postos

Para o desenvolvimento desta etapa do trabalho foram utilizados dados de precipitação de postos pluviométricos do município de Alegrete (RS) obtidos no sistema de informações hidrológicas (hidroweb) do site da Agência Nacional de Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>), sendo selecionados para este trabalho os postos de Alegrete (INMET), Alegrete (ANA), Passo Mariano Pinto, Fazenda Três Capões e Estação do Tigre.

Os dados pluviométricos foram tabulados utilizando-se planilhas do software Excel e organizados em dados diários, totais mensais e totais anuais. Para a análise nesta etapa foram utilizados, somente, os totais mensais e anuais de precipitação.

A análise da disponibilidade dos conjuntos de dados referentes ao município de Alegrete revelou a existência de falhas ao longo das séries, bem como, os anos onde o conjunto dos dados se apresentou completo e incompleto em cada posto.

A Tabela 4 nos mostra a relação dos postos pluviométricos utilizados do município de Alegrete, a sequência temporal dos dados disponíveis e, ainda, se os dados a cada ano se apresentam completos (C) ou incompletos (I).

Por possuir o maior conjunto de dados temporais (períodos entre 1929-1941; 1943-1946; 1953-1968; 1979-1985) a série de dados do posto Alegrete (INMET) foi adotada como a série principal. No entanto, devido à interrupção na coleta de dados do posto Alegrete (INMET) no ano de 1989 e, também, em virtude de falhas nos dados nos últimos anos da série, o posto Alegrete (ANA) assumiu a condição de posto principal a partir do ano de 1986.

Embora, seja possível observar na tabela 5 que o posto Passo Mariano Pinto apresente um conjunto de dados mais robusto, ou seja, dados com uma série temporal maior e com menor número de falhas, adotou-se o posto Alegrete (ANA) como posto principal na sequência dos dados do posto Alegrete (INMET), devido a sua proximidade geográfica de 700 metros, contra os 60 quilômetros que o separam do posto Passo Mariano Pinto.

4.1.1.2 Preenchimento de falhas

Em virtude das falhas existentes nos totais mensais nas séries Alegrete (INMET) e Alegrete (ANA) optou-se pela adoção do Método de Regressão Linear de dados para o preenchimento de tais falhas, com base nas séries pluviométricas dos postos vizinhos (Alegrete/ANA; Passo Mariano Pinto; Fazenda 3 Capões e Estação do Tigre) como sugere Oliveira *et al.*, (2010).

Antecedendo o processo de preenchimento das falhas, as séries foram submetidas a testes de correlação entre dados mensais comuns, para o estabelecimento das equações de regressão e de seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (R). Na Tabela 5 estão apresentados os postos e os períodos correlacionados, bem como, os anos que foram preenchidos por meio do método.

Tabela 5: Relação dos postos correlacionados para preenchimento de falhas por Regressão Linear.

Postos correlacionados	Período	Preenchimento
Alegrete (INMET) e Faz. Três Capões	1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959 e 1960.	1951
Alegrete (INMET) e Estação do Tigre	1944 e 1953.	1947, 1948, 1949, 1950 e 1951.
Alegrete (INMET) e Passo Mariano Pinto	1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984 e 1985.	1970, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990 e 1991.
Alegrete (ANA) e Passo Mariano Pinto	1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1994, 1995, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2007 e 2008	1992 e 1993.

A Figura 16 mostra o gráfico de correlação linear, sua equação de regressão e o coeficiente de determinação obtido entre os dados dos postos de Alegrete (INMET) e Fazenda Três Capões no município de Alegrete.

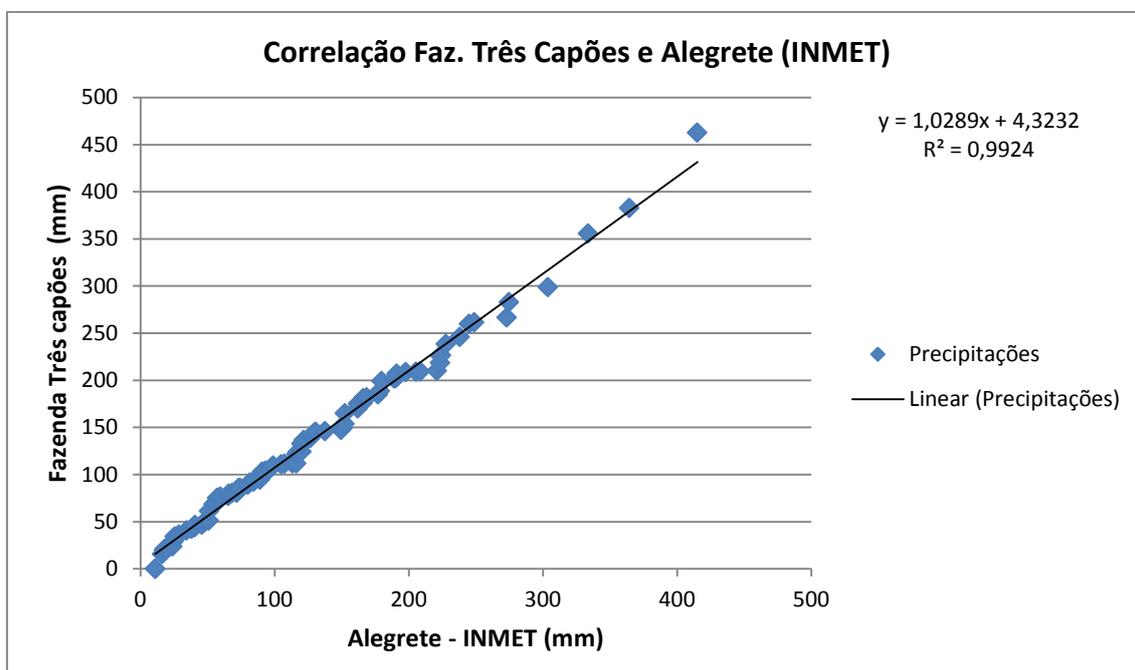


Figura 16. Correlação de dados de precipitação entre Fazenda Três Capões e Alegrete (INMET).

Verifica-se na Figura 16 que a correlação entre os dados de ambos os postos apresentou um elevado coeficiente de determinação ($R^2=0,992$) o que permitiu extrair, igualmente, um coeficiente de correlação $R=0,996$ entre ambas as séries. Essa ótima condição de correlação apontou para um alto grau de confiabilidade na aplicação dos dados do posto Faz. Três Capões à equação de regressão no preenchimento das falhas correspondentes ao posto Alegrete (INMET) *cf.* informações na Tabela 5.

Seguindo com as informações dispostas na referida tabela (Tabela 5), os mesmos procedimentos foram adotados para os dados referentes aos postos Estação do Tigre e Alegrete (INMET). A Figura 17 apresenta o gráfico de correlação linear entre os dados, sua equação de regressão e o respectivo coeficiente de determinação.

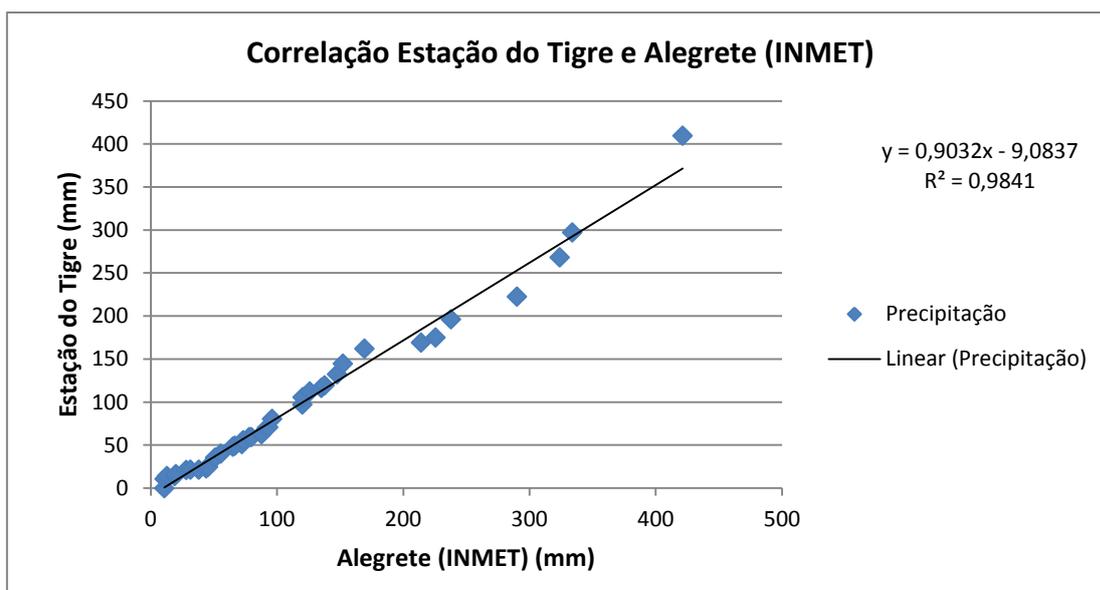


Figura 17. Correlação de dados de precipitação entre Estação do Tigre e Alegrete (INMET).

A Figura 17 mostra, igualmente, um elevado coeficiente de determinação ($R^2=0,98$) entre os dados analisados dos postos Estação do Tigre e Alegrete (INMET) indicando, também, um alto coeficiente de correlação ($R=0,99$). Da mesma forma como na análise anterior, os elevados coeficientes de determinação e de correlação garantiram confiabilidade na aplicação dos valores da série Estação do Tigre à equação de regressão para o preenchimento dos dados na série Alegrete (INMET).

Na continuidade das análises, foram correlacionados os dados *cf.* a Tabela 5 entre o posto Passo Mariano Pinto e o posto Alegrete (INMET) e obtidos seu coeficiente de determinação e equação de regressão (Figura 18).

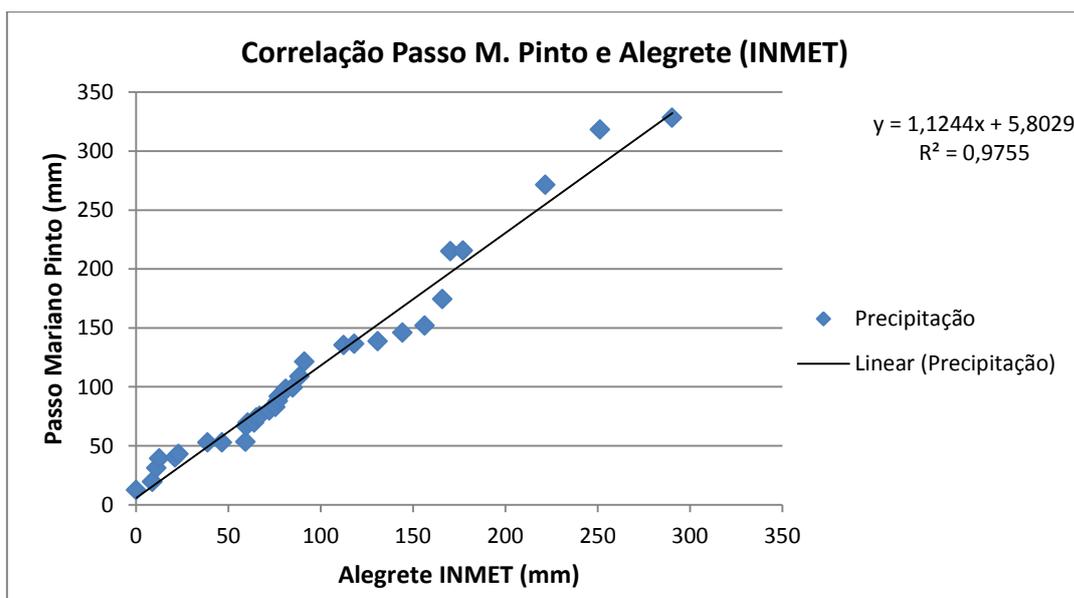


Figura 18. Correlação de dados de precipitação entre Passo Mariano Pinto e Alegrete (INMET).

O elevado coeficiente de determinação ($R^2=0,97$) entre os dados analisados pode ser observado na Figura 18 e, assim como nas análises anteriores, extraído seu coeficiente de correlação de $R=0,98$, indica que houve uma ótima correlação entre os dados para o preenchimento dos valores da série Alegrete (INMET), por meio da equação de regressão obtida (cf. apontamentos na Tabela 5).

Por fim, a correlação entre os dados dos postos Passo Mariano Pinto e Alegrete (ANA) de acordo com as informações contidas na tabela 6 permitiu a obtenção dos coeficientes de determinação ($R^2=0,98$) e de correlação ($R=0,99$) também elevados, bem como sua equação de regressão vista na Figura 19. Assim como nas análises anteriores, os coeficientes encontrados garantiram uma alta confiabilidade no processo de preenchimento das falhas na série Alegrete (ANA), por meio da equação de regressão obtida.

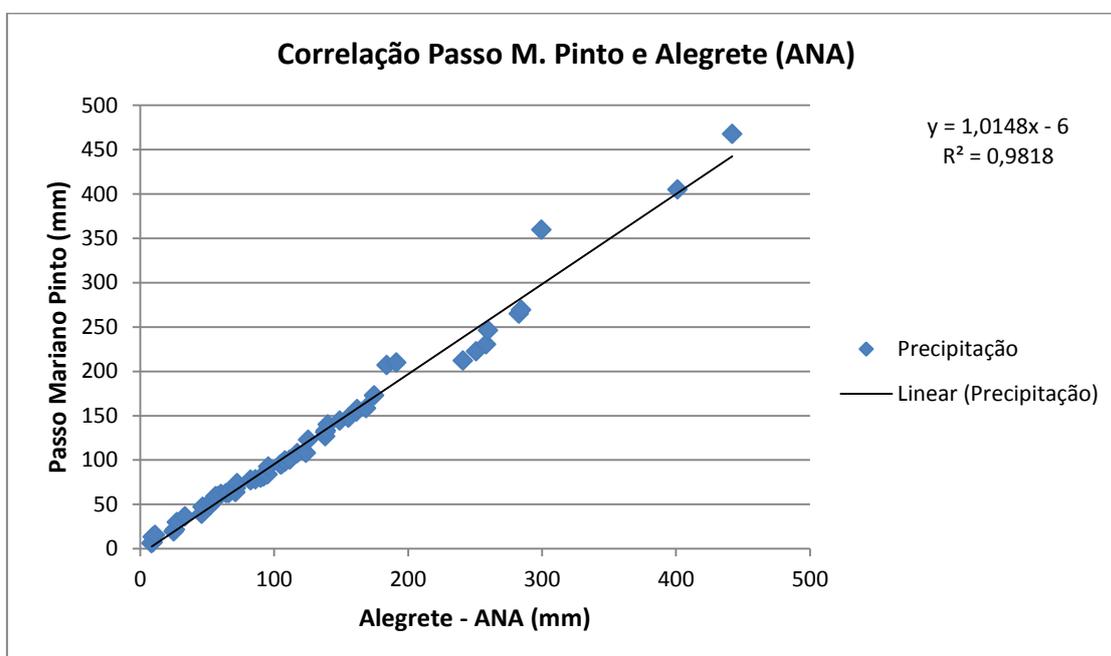


Figura 19. Correlação de dados de precipitação entre Passo Mariano Pinto e Alegrete (ANA).

Por fim, uma condição especial foi considerada em relação aos dados dos anos de 1942 e 1969. Como para o ano de 1942 não havia nenhum outro posto pluviométrico no município de Alegrete com disponibilidade de dados, foram correlacionados os dados dos postos Alegrete (INMET) e Uruguaiana (INMET), entre os anos de 1934 a 1941 e entre os anos de 1943 a 1953, para a obtenção do coeficiente de determinação e equação de regressão (Figura 20).

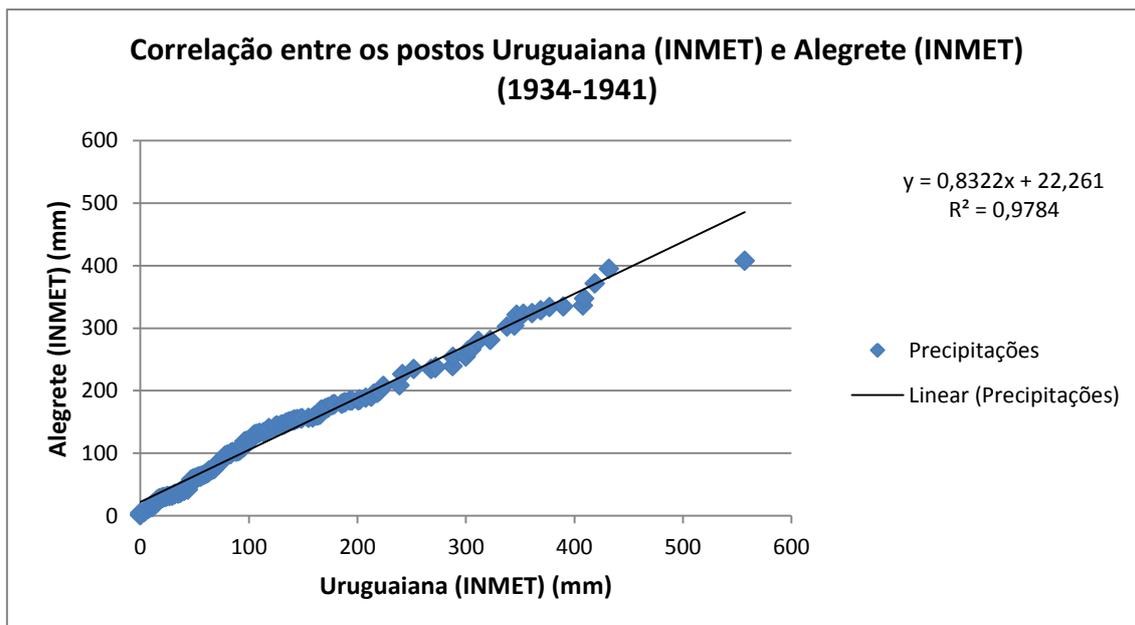


Figura 20. Correlação de dados de precipitação entre Uruguaiana (INMET) e Alegrete (INMET) entre os anos de 1934-1941.

Muito embora, os postos de Alegrete (INMET) e Uruguaiana (INMET) distam 126 quilômetros um do outro, o teste de correlação apontou para um alto coeficiente de determinação entre os dados ($R^2=0,97$), bem como, um alto coeficiente de correlação ($R=0,98$) *cf.* Figura 20.

Os elevados coeficientes de correlação encontrados, necessariamente, não significam que os postos pluviométricos estiveram sob os mesmos sistemas atmosféricos. Representam, na verdade, que os dados mensais dos postos correlacionados apresentam alto grau de homogeneidade.

Dessa forma, utilizando-se a equação de regressão apresentada na Figura 20, os dados mensais da série Alegrete (INMET) foram preenchidos com base nos valores mensais correspondentes a série Uruguaiana (INMET) do ano de 1942.

Já para o ano de 1969, a série Alegrete (INMET) possuía apenas os totais mensais de janeiro a junho. Os demais meses foram preenchidos por meio do mesmo método, anteriormente, adotado.

Foram correlacionados os valores mensais das séries Alegrete (INMET) e Uruguaiana (INMET) referentes aos anos de 1934 a 1941 e 1943 a 1953 e obtidos seus respectivos coeficientes de determinação ($R^2=0,97$) e correlação ($R=0,99$), assim como, sua equação de regressão linear (Figura 21).

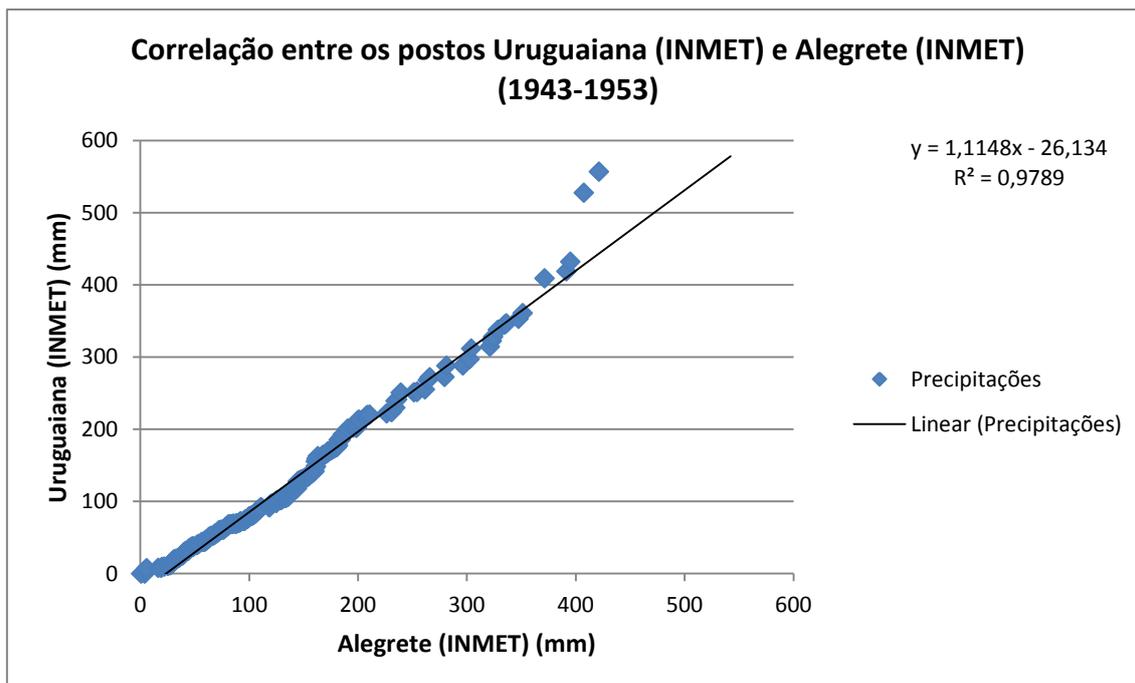


Figura 21. Correlação de dados de precipitação entre Uruguaiana (INMET) e Alegrete (INMET) entre os anos de 1943-1953.

De posse da equação de regressão para o período (1943-1953) foram obtidos os totais mensais de precipitação para preencher as falhas de agosto a dezembro de 1969 do posto Alegrete (INMET), com base nos dados existentes no posto Uruguaiana (INMET).

4.1.1.3 Análise de consistência dos dados

Após o processo de preenchimento das falhas por meio do método de regressão linear, os novos dados foram testados quanto a sua consistência na visão regional. Para tal, foi adotado o método da Dupla Massa desenvolvido pela *U.S Geological Survey* e recomendado por Tucci (2009). Nesse teste, os dados da série histórica preenchida (variável de interesse) devem ser proporcionais à série da média dos postos vizinhos (variável de controle) ao posto, devendo os pontos alinhar-se segundo uma reta.

Para isso, deve-se plotar num gráfico cartesiano os totais acumulados de precipitação (variável de controle) compondo o conjunto de dados do eixo das abcissas (*eixo x*) e o conjunto dos totais mensais acumulados a qual se pretende verificar (variável de interesse) no eixo das ordenadas (*eixo y*) (TUCCI, 2009).

A Figura 22 mostra o teste de dupla massa aplicado entre os dados originais do posto Estação do Tigre e os dados da série Alegrete no período de 1947-1955, onde as falhas foram preenchidas por meio do método de regressão linear.

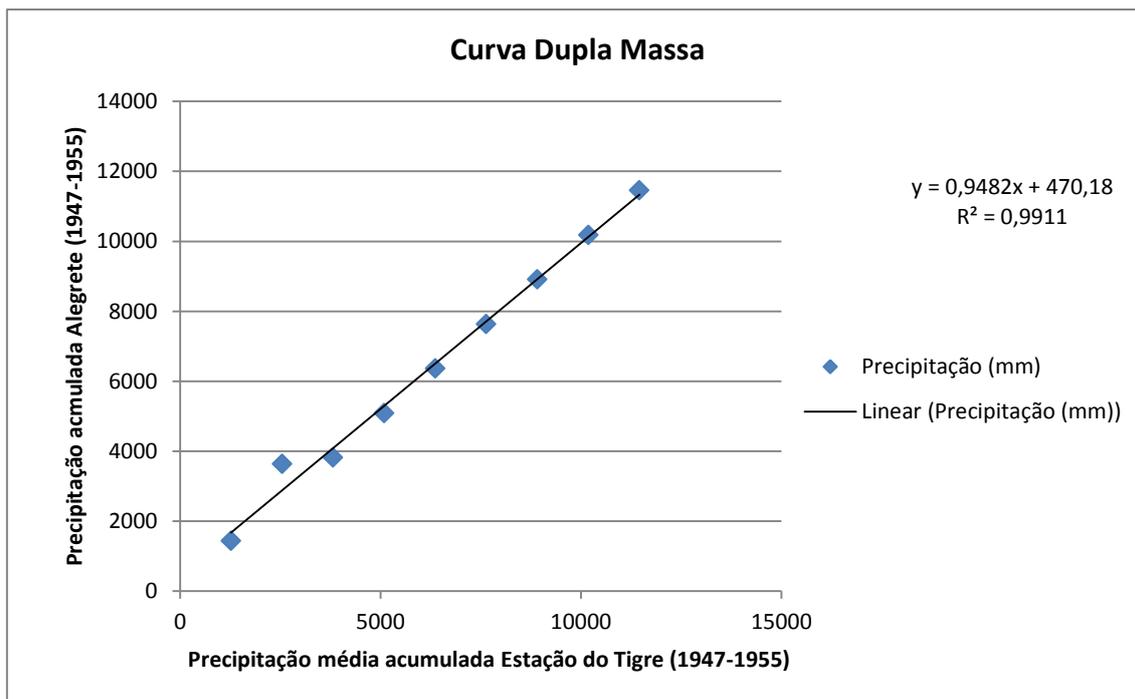


Figura 22. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Estação do Tigre e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1947-1955.

A Figura 22 permite considerar que os totais mensais do período de 1947-1955 da série Alegrete, preenchidos com valores estimados pelo método de regressão linear, mostrou através da Curva de Dupla Massa, um grau de homogeneidade de 99,1% em relação às observações do posto Estação do Tigre.

Os mesmos procedimentos foram adotados para a verificação da consistência dos dados gerados para a série Alegrete, no período de 1970-1980, estimado pelo método de regressão linear com base nos dados observados no posto Passo Mariano Pinto.

A Figura 23 demonstra por meio da Curva de Dupla Massa um grau de homogeneidade de 99,2% entre os acumulados de precipitação da série Alegrete e os valores médios do posto Passo Mariano para tal período.

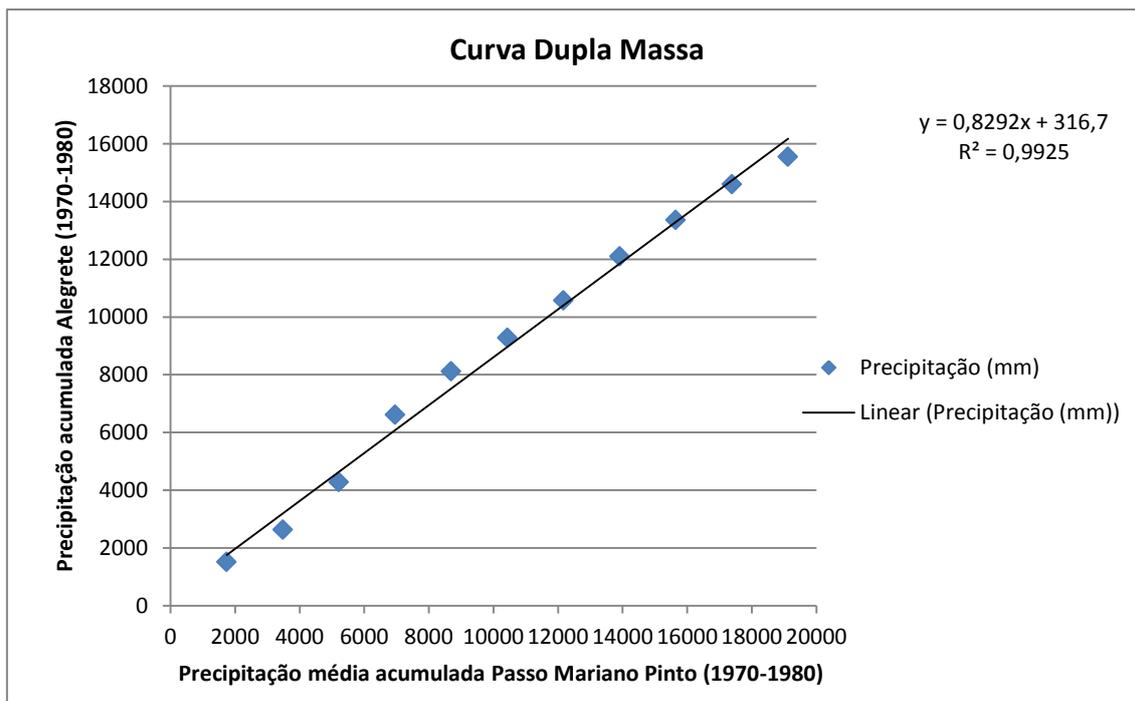


Figura 23. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Passo Mariano Pinto e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1970-1980.

A consistência dos dados, igualmente obtidos por meio do método de regressão linear para a série Alegrete no período de 1999-2007, através dos dados do posto Passo Mariano Pinto, pode ser observada pela Curva de Dupla Massa entre ambos os conjuntos na Figura 24.

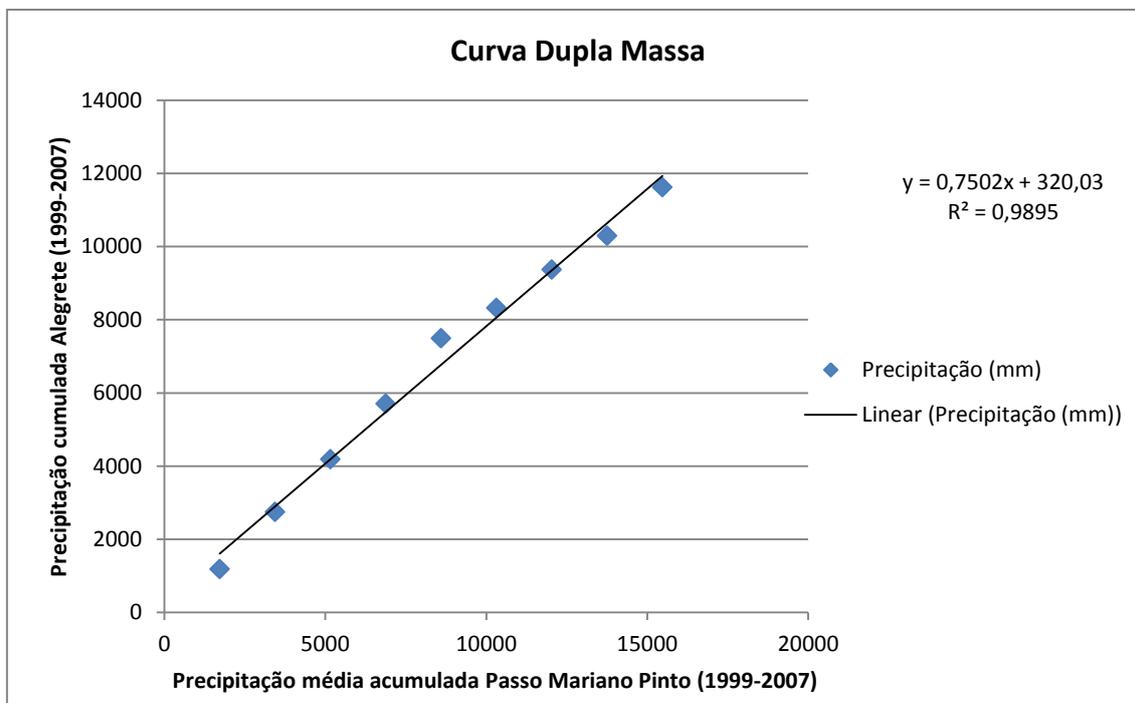


Figura 24. Curva de Dupla Massa entre os acumulados da média dos dados do posto Passo Mariano Pinto e os acumulados da série temporal Alegrete entre os anos de 1999-2007.

Verifica-se (Figura 24) que as séries apresentam um grau de homogeneidade de 98,9% entre os acumulados do período da série Alegrete e a média acumulada para o posto Passo Mariano Pinto no mesmo período. Dessa forma, as Curvas de Dupla Massa obtidas para os períodos onde as falhas na série Alegrete foram preenchidas por meio do método de regressão linear indicaram um elevado grau de homogeneidade (superiores a 98%) e consistência no conjunto de dados obtidos.

Outro teste para verificação da consistência dos dados foi o de aplicar para os dados da série Alegrete o mesmo teste de Dupla Massa, no entanto, tendo como variável de controle o conjunto das Normais Climatológicas de 1931-1960 e 1961-1990 de Uruguaiana.

Assim como, nos casos anteriores, foram plotados num gráfico cartesiano os totais acumulados de precipitação da série Alegrete (variável de interesse) e a repetição da sequência de dados referentes às Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana (variável de controle).

A Figura 25 apresenta a Curva de Dupla Massa gerada para a verificação de consistência entre os dados da série Alegrete e as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana.

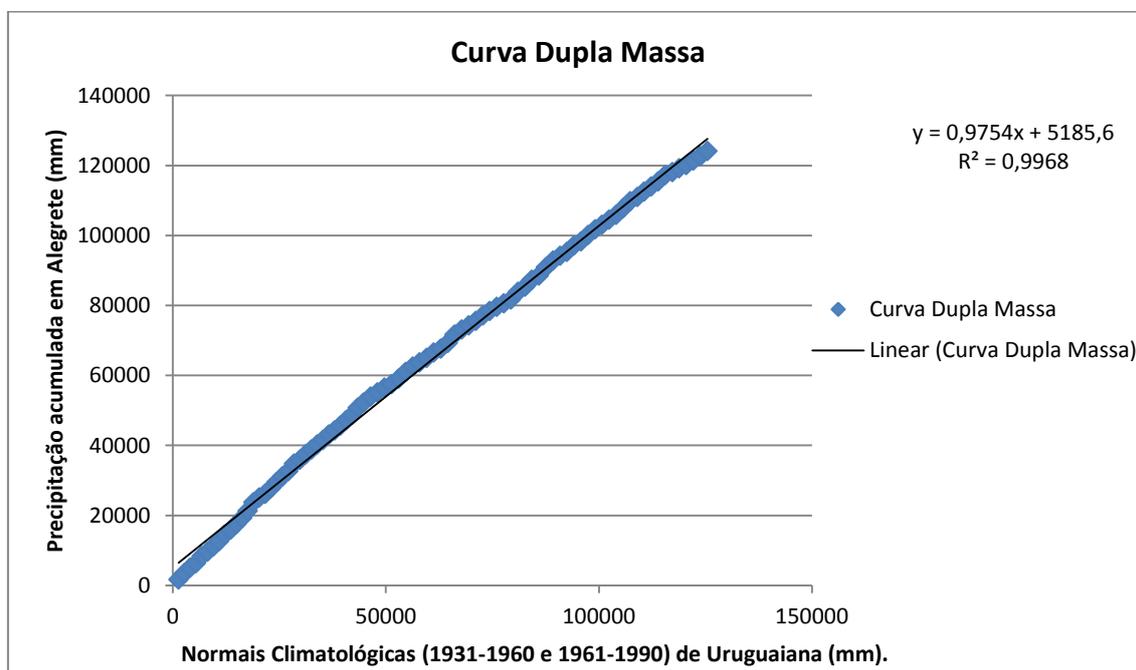


Figura 25. Curva de Dupla Massa para análise de consistência entre os dados de Alegrete e as Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana.

É possível observar na Figura 25 que a série histórica obtida para Alegrete com valores preenchidos pelo Método de Regressão Linear, quando analisados com as

Normais Climatológicas (1931-1960 e 1961-1990) de Uruguaiana, através do método de Dupla Massa, permite verificar um elevado grau de homogeneidade (99,6%).

O alinhamento dos pontos, segundo uma linha reta, indica a boa consistência do conjunto de dados, descartando a possibilidade de haver erros sistemáticos, alteração nas condições de observação e possíveis mudanças nas condições climáticas regionais.

Dessa forma, após o processo de preparação dos dados dos postos pluviométricos do município de Alegrete (seleção dos postos, análise de correlação de dados, aplicação de método para o preenchimento de falhas e análise de consistência de dados), é possível observar na Tabela 6 o conjunto de dados mensais de precipitação para a série Alegrete (1928-2009) a ser analisado estatisticamente.

Importante destacar que, para a reconstrução dessa série, algumas falhas tiveram que ser preenchidas por meio da técnica de regressão linear utilizando dados pluviométricos de Uruguaiana: novembro de 1930, outubro de 1933, janeiro a dezembro de 1942 e agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro de 1969.

Tabela 6: Precipitações mensais da série temporal Alegrete no período de 1928-2009 após preenchimento de falhas de registros de dados.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1928	134,5	199,0	86,0	154,8	182,3	95,7	100,9	99,6	201,2	181,7	60,4	172,7	1668,8
1929	137,2	70,2	162,0	4,6	175,6	140,7	180,6	98,3	261,6	351,3	5,4	210,8	1798,3
1930	148,9	51,9	296,5	142,2	391,5	52,7	79,8	154,5	59,9	79,9	130,9	26,1	1614,8
1931	151,7	97,2	46,9	137,9	125,0	163,2	131,2	94,8	42,0	100,1	158,9	44,0	1292,9
1932	108,6	90,7	171,1	542,3	125,0	53,7	80,5	105,4	159,9	175,5	143,9	200,1	1956,7
1933	231,2	156,8	139,5	109,1	70,3	30,9	71,0	68,0	95,9	251,4	48,2	41,0	1313,3
1934	133,3	167,6	122,3	66,5	208,7	157,1	61,3	76,6	61,6	156,7	98,4	102,3	1412,4
1935	161,5	151,2	125,2	59,6	35,3	77,0	106,9	127,3	39,0	264,3	99,9	336,5	1583,7
1936	155,7	32,2	170,2	169,9	371,6	234,7	130,3	119,9	121,6	234,5	107,7	91,7	1940,0
1937	62,9	147,0	151,8	111,0	74,5	58,3	177,5	133,7	140,0	100,2	180,6	36,6	1374,1
1938	395,2	110,7	178,5	206,5	29,8	150,1	34,2	48,3	172,4	120,3	144,1	28,6	1618,7
1939	103,6	176,9	109,3	172,0	185,1	195,6	31,3	81,2	207,4	266,0	81,6	119,9	1729,9
1940	181,4	130,1	69,5	334,9	186,2	184,2	188,7	74,2	129,1	119,5	159,9	239,5	1997,2
1941	141,9	179,0	161,5	454,4	171,8	146,0	135,7	323,2	41,7	177,9	302,7	184,3	2420,1
1942	118,9	99,0	109,4	137,0	230,8	168,1	61,6	118,8	88,4	176,6	61,8	40,2	1410,6
1943	25,4	27,9	140,2	6,0	154,7	68,4	62,2	39,9	83,6	79,0	226,3	48,6	962,2
1944	324,2	78,2	147,7	169,4	92,2	137,8	20,2	65,1	87,9	421,4	72,4	19,2	1635,7
1945	27,4	102,0	75,9	72,3	31,5	71,4	281,3	149,6	407,5	64,2	347,6	144,9	1775,6
1946	67,8	61,8	58,1	16,6	236,3	104,1	59,3	85,1	97,0	328,7	254,5	254,3	1623,6
1947	144,7	39,8	62,5	161,4	350,6	113,4	51,3	51,6	182,2	72,9	68,5	144,3	1443,2
1948	333,2	211,3	161,6	308,1	174,5	130,2	217,1	26,9	225,0	225,8	159,0	23,7	2196,4
1949	185,9	45,3	170,6	80,4	53,4	59,0	93,0	52,7	120,6	169,7	50,1	87,3	1167,9
1950	91,9	51,7	130,2	86,9	180,0	200,4	105,8	84,1	169,0	143,7	122,8	116,8	1483,3
1951	99,6	187,3	171,4	112,2	40,5	160,9	99,0	0,0	27,1	115,2	194,3	232,4	1439,9
1952	83,9	64,9	290,1	28,2	225,8	135,4	214,2	66,7	126,1	120,5	44,1	13,1	1413,0
1953	96,2	11,2	152,3	93,3	73,4	120,3	10,9	38,2	238,0	333,9	51,1	45,7	1264,5
1954	137,6	205,6	24,6	127,1	66,0	274,8	179,8	48,9	65,4	221,2	18,9	224,1	1594,0
1955	68,4	165,9	177,1	178,7	151,1	90,9	47,1	34,4	40,5	81,7	25,7	107,3	1168,8
1956	364,5	116,6	249,0	113,5	72,0	28,2	130,7	74,5	80,1	56,6	28,8	59,6	1374,1
1957	166,2	16,4	24,0	126,5	223,5	190,3	84,3	51,3	152,6	120,3	117,2	273,2	1545,8
1958	121,9	197,9	57,4	168,8	129,6	99,1	105,1	89,1	89,1	84,8	191,2	128,3	1462,3
1959	208,6	129,4	116,3	415,1	190,4	149,7	40,4	189,3	119,3	303,7	54,7	162,2	2079,1
1960	17,8	58,3	168,5	72,3	40,7	162,4	223,7	120,2	245,0	227,8	65,7	18,4	1420,8
1961	115,0	195,9	180,8	158,7	214,7	164,1	36,6	59,1	187,7	218,8	134,0	98,3	1763,7
1962	100,2	95,1	362,2	104,3	41,5	7,3	32,1	55,5	120,4	104,8	100,9	44,9	1169,2
1963	157,6	46,5	160,2	23,7	76,8	42,4	21,2	65,1	269,0	208,6	210,4	144,6	1426,1
1964	39,3	54,7	213,5	179,7	13,3	38,9	14,8	132,3	100,0	60,0	53,9	75,8	976,2
1965	47,2	22,2	22,9	265,0	35,6	99,1	56,9	139,6	228,6	290,3	67,0	264,3	1538,7
1966	43,9	134,0	342,5	130,7	40,5	147,0	300,3	35,4	195,7	224,9	119,2	223,0	1937,1
1967	65,4	122,4	75,5	40,8	265,5	157,3	121,8	131,2	135,4	222,7	85,4	76,7	1500,1
1968	49,7	76,0	136,0	72,7	56,7	61,8	68,3	66,5	91,1	270,7	66,0	199,9	1215,4
1969	193,2	221,8	70,2	41,0	192,3	159,5	6,7	86,9	127,2	63,1	112,4	51,8	1326,0
1970	107,8	213,9	125,1	54,3	189,3	220,9	89,0	75,1	56,5	98,4	66,9	227,5	1524,7
1971	192,8	93,0	106,1	58,2	71,7	78,9	104,5	167,1	58,3	54,9	66,7	60,8	1113,1
1972	120,7	52,0	173,7	262,0	84,4	207,0	172,1	134,5	107,8	198,2	75,0	61,8	1649,2
1973	269,4	136,2	105,6	223,4	83,6	282,3	379,8	172,6	253,8	240,8	52,2	125,1	2324,8
1974	187,4	230,1	125,8	36,0	222,5	109,7	87,3	185,0	78,0	28,8	91,0	130,9	1512,8
1975	53,8	95,9	114,4	78,7	137,8	28,0	69,9	121,9	201,1	94,9	68,7	90,0	1155,1
1976	215,8	90,0	205,0	101,1	101,9	38,2	52,5	53,9	94,9	144,3	64,2	132,4	1294,2
1977	135,1	166,6	123,4	220,0	94,2	85,2	192,3	80,6	68,0	103,0	175,1	79,4	1522,9
1978	84,4	178,0	70,1	49,5	41,7	116,7	164,9	35,5	63,0	143,1	241,3	76,3	1264,6
1979	8,7	144,4	77,4	59,3	156,3	11,1	9,0	221,8	251,3	130,9	81,1	85,0	1236,3
1980	12,6	75,6	118,2	66,9	65,2	0,1	72,2	59,7	23,0	290,4	88,6	78,1	950,6
1981	165,9	177,1	46,6	60,6	64,0	79,5	91,2	21,2	112,5	38,7	76,9	170,3	1104,5
1982	58,8	323,7	65,3	26,5	298,5	154,1	201,6	224,6	212,9	219,9	321,9	132,8	2240,6
1983	126,5	262,0	161,4	152,7	268,7	30,4	137,3	27,0	60,7	80,7	69,1	31,9	1408,4
1984	20,5	132,1	155,6	172,2	508,8	187,2	95,4	183,4	225,8	102,1	149,2	101,8	2034,1
1985	9,5	168,5	133,7	175,9	91,5	101,2	65,5	115,3	208,6	80,9	24,7	28,4	1203,7

1986	204,8	203,4	221,0	359,3	372,9	137,4	125,2	68,0	184,8	146,1	326,4	27,3	2376,6
1987	94,1	191,2	259,7	442,0	71,7	55,6	299,6	155,5	117,3	123,8	52,4	46,6	1909,5
1988	282,7	140,1	33,5	105,6	58,1	138,6	11,2	60,5	241,1	138,3	95,1	53,3	1358,1
1989	92,9	26,0	108,1	184,0	8,6	71,3	27,5	161,4	108,3	92,1	125,5	46,0	1051,7
1990	90,0	107,5	250,8	401,1	86,1	64,2	66,1	9,5	162,0	138,3	284,6	174,7	1834,9
1991	82,6	25,0	111,7	258,4	56,3	104,9	72,4	9,5	168,6	95,7	82,4	149,1	1216,6
1992	91,4	292,8	193,1	339,8	206,1	202,6	132,9	51,7	59,0	152,2	74,2	44,5	1840,3
1993	254,0	50,7	114,8	130,4	96,8	227,2	95,2	0,4	64,8	161,5	325,3	104,4	1625,5
1994	16,0	192,7	55,3	151,9	81,1	60,8	153,0	91,2	196,7	199,7	79,2	0,0	1277,6
1995	165,7	182,3	275,7	68,4	191,2	49,9	144,2	35,5	165,3	121,8	38,6	34,8	1473,4
1996	303,9	69,5	171,2	227,8	3,9	47,5	13,5	67,5	87,9	152,1	70,2	108,0	1323,0
1997	111,9	435,7	83,6	115,5	102,3	103,9	51,5	32,6	68,0	428,0	146,3	278,5	1957,8
1998	331,0	242,7	180,2	354,9	53,2	158,3	162,0	64,3	213,6	85,2	69,4	47,1	1961,9
1999	0,0	165,7	82,1	116,2	87,2	87,9	179,0	56,8	75,8	174,2	120,0	39,1	1184,0
2000	6,1	156,3	166,8	79,1	239,0	209,2	97,0	133,8	145,4	190,9	34,6	106,7	1564,9
2001	274,8	116,7	225,3	263,3	60,1	148,5	95,9	37,4	74,2	31,9	104,1	0,0	1432,2
2002	6,9	7,7	111,9	96,5	60,0	112,7	191,8	92,9	87,1	378,0	161,7	218,4	1525,6
2003	142,9	287,3	131,7	166,2	129,3	111,7	63,2	69,2	10,5	237,9	155,2	276,6	1781,7
2004	108,9	0,0	7,9	87,8	33,4	61,4	55,0	53,1	66,6	148,2	113,8	97,7	833,8
2005	85,8	10,0	64,4	7,5	208,6	151,9	23,0	103,6	60,4	168,2	101,2	60,8	1045,4
2006	120,1	12,5	47,5	145,6	21,1	97,2	10,0	6,0	97,6	114,0	116,0	138,1	925,6
2007	172,2	158,8	154,3	97,0	45,6	67,9	41,0	151,4	129,3	155,7	105,2	52,2	1330,6
2008	124,7	130,3	69,3	102,5	120,9	103,0	155,3	173,4	103,3	160,0	3,0	47,7	1293,4
2009	110,3	89,4	77,7	25,2	52,9	46,1	64,3	87,7	248,2	89,6	405,7	110,1	1407,2

Fonte: Agência Nacional de Águas (adaptado).

Obs: Meses em vermelho: preenchimento por meio de regressão linear com base nos dados de Uruguiana (RS).

4.1.1.4 Análises estatísticas para série Alegrete

4.1.1.4.1 Análise das tendências para a série Alegrete

A análise de uma longa série temporal de dados de precipitação, como no caso da série de Alegrete (1928-2009) com seus 82 anos, permite que se identifique e diferencie, além dos chamados “anos-padrão”, os “anos-anômalos”, os quais sofreram influência de fenômenos climáticos de grande escala como, por exemplo, o fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) em sua fase positiva (El Niño) e fase negativa (La Niña), eventos da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) etc. Da mesma forma, a longa série de dados, também, permite que se identifiquem possíveis tendências na dinâmica das precipitações no decorrer da série temporal (possível aumento, manutenção ou redução dos volumes precipitados).

Sendo assim, buscando identificar os possíveis “anos-padrão”, os “anos-anômalos” e seus mecanismos geradores, bem como, a tendência das precipitações de Alegrete, a série de dados foi submetida a análises dos seus totais anuais, a tendência dos trimestres e, também, as tendências mensais da série.

a) Análise dos totais anuais e da tendência

Com base nos dados da Tabela 6 os totais anuais da série Alegrete (1928-2009) foram plotados em gráfico de coluna para análise de sua dinâmica.

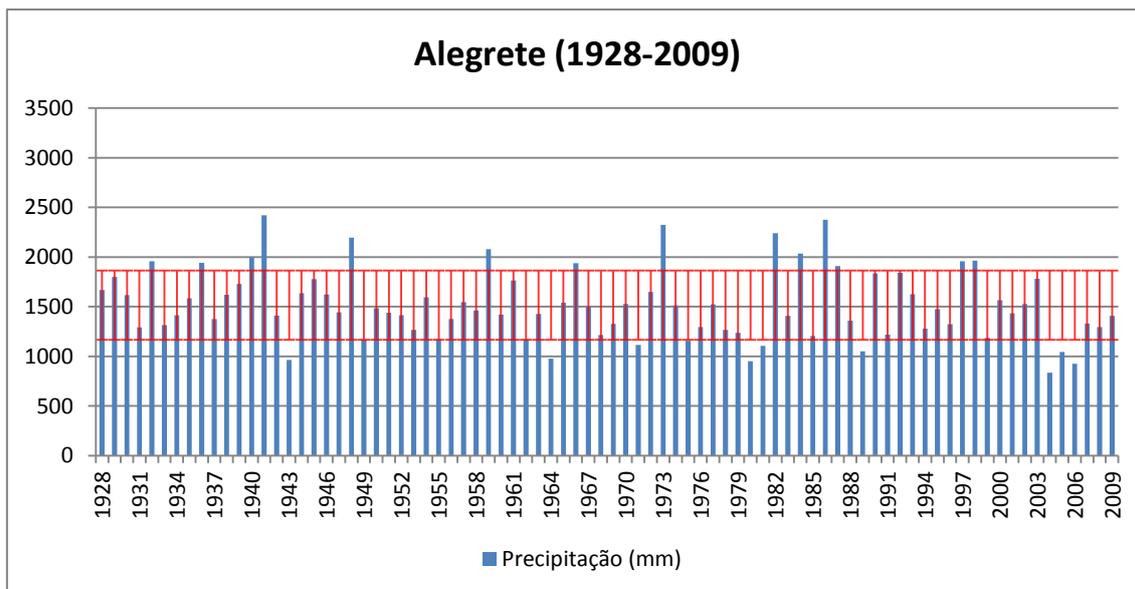


Figura 26. Totais anuais de precipitação da série temporal Alegrete (1928-2009) e desvio padrão da série.

O gráfico da Figura 26 permite observar e comparar os totais anuais de precipitação em Alegrete no período de 1928-2009, identificando os anos mais chuvosos (com volumes superiores a 1850 mm) e os anos menos chuvosos (com volumes inferiores a 1170 mm) com base nos limites superior e inferior do desvio padrão da série.

Dessa forma, os anos de 1932 (1956,7 mm), 1936 (1940,0 mm), 1940 (1997,2 mm), 1941 (2420,1 mm), 1948 (2196,4 mm), 1959 (2079,1 mm), 1966 (1937,1 mm), 1973 (2324,7 mm), 1982 (2240,6 mm), 1984 (2034,1 mm), 1986 (2376,5 mm), 1987 (1909,5 mm), 1997 (1957,8 mm) e 1998 (1961,9 mm) apresentam-se como os anos mais chuvosos da série.

A partir da adoção desses critérios, a relação dos anos chuvosos para a série Alegrete pode ser vista na Tabela 7, juntamente, com as informações relativas a influência do fenômeno ENOS, tanto positiva (El Niño) quanto negativa (La Niña) de acordo com CPTEC/INPE⁵ (2012).

Tabela 7: Relação dos anos considerados chuvosos para Alegrete e sua relação com o fenômeno ENOS.

Anos chuvosos	Total anual de precipitação superior a 1850 mm.	Classificação do ano segundo CPTEC/INPE
1932	1956,7 mm	El Niño moderado
1936	1940,0 mm	Sem classificação

⁵ A classificação dos anos sob efeito do fenômeno ENOS (fase positiva, fase negativa ou neutra) proposta pelo CPTEC/INPE está baseada nas informações da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), a qual monitora o fenômeno (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml).

1940	1997,2 mm	El Niño forte
1941	2420,1 mm	El Niño forte
1948	2196,4 mm	Sem classificação
1959	2079,1 mm	El Niño forte
1966	1937,1 mm	El Niño moderado
1973	2324,7 mm	El Niño forte
1982	2240,6 mm	El Niño forte
1984	2034,1 mm	La Niña fraco
1986	2376,5 mm	El Niño moderado
1987	1909,5 mm	El Niño moderado
1997	1957,8 mm	El Niño forte
1998	1961,9 mm	El Niño forte

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/>); CPTEC/INPE (<http://enos.cptec.inpe.br/>)

Os valores da Tabela 7 demonstram que a maior parte dos anos com precipitações elevadas estão associados à componente positiva do fenômeno ENOS (El Niño), segundo informações disponibilizadas no site do CPTEC/INPE (<http://enos.cptec.inpe.br/>).

Comparações entre os totais anuais de precipitação apresentados permitem observar que mesmo classificados como anos de *El Niño Moderado*, os anos de 1932, 1966, 1986 e 1987 foram anos chuvosos.

Outra condição pode ser observada nos anos de 1936 e 1948 onde, embora tenham sido considerados pelo CPTEC/INPE como os anos *Sem classificação*, seus totais anuais mostraram-se bem elevados (1940,0 mm e 2196,4 mm respectivamente) em relação aos demais anos da série.

Por outro lado, no mesmo gráfico na Figura 26, é possível se observar os anos de 1943 (962,2 mm), 1964 (976,2 mm), 1971 (1113,1 mm), 1975 (1155,1 mm), 1980 (950,6 mm), 1981 (1104,5 mm), 1989 (1051,7 mm), 2004 (833,8 mm), 2005 (1045,3 mm) e 2006 (925,6 mm) como os que apresentaram os menores volumes de precipitação segundo o desvio padrão da série.

Sendo assim, analisando a Tabela 8 é possível se observar a relação dos anos que apresentaram precipitações inferiores a 1170 mm e sua classificação quanto ao fenômeno ENOS em sua componente negativa (La Niña) ou neutra, de acordo com informações do CPTEC/INPE (2012).

Tabela 8: Relação dos anos considerados menos chuvosos para Alegrete e sua relação com o fenômeno ENOS.

Anos chuvosos	Total anual de precipitação inferior a 1170 mm.	Classificação do ano segundo CPTEC/INPE
1943	962,2 mm	Sem classificação
1949	1167,8 mm	La Niña forte

1955	1168,8 mm	La Niña forte
1962	1169,2 mm	Sem classificação
1971	1113,1 mm	La Niña moderado
1975	1155,1 mm	La Niña forte
1980	950,6 mm	El Niño fraco
1981	1104,5 mm	Sem classificação
1989	1051,7 mm	La Niña forte
2004	833,8 mm	El Niño fraco
2005	1045,3 mm	El Niño fraco
2006	925,6 mm	El Niño fraco

Fonte: Agência Nacional de Águas – ANA (<http://hidroweb.ana.gov.br/>); CPTEC/INPE (<http://enos.cptec.inpe.br/>)

Comparando-se os volumes anuais da série Alegrete com a classificação do fenômeno ENOS, segundo informações do CPTEC/INPE (2012), observa-se que do conjunto apresentado apenas os anos de 1980, 2004, 2005 e 2006 (4) foram considerados sob efeito do fenômeno El Niño (*fraco*).

Já os anos de 1943, 1962 e 1981 (3) foram considerados, por informações do mesmo instituto, como sendo anos *Sem classificação*, ou seja, anos que não estiveram sob a ação do fenômeno. Somente os anos de 1949, 1955, 1964, 1971, 1975 e 1989 (6) foram classificados como sob efeito do fenômeno La Niña (*moderado ou forte*).

Outra forma de verificação das precipitações anuais com as componentes positiva e negativa do fenômeno ENOS, é através da adoção do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) desenvolvido por Rooy (1965), adotado nos últimos anos por Azevedo e Silva (1994), Araújo *et. al.*, (2007), Araújo, Moraes Neto e Sousa (2009a), Silva, Sousa e Kayano (2009) e Mancuzzo, Melo e Rocha (2011).

Dessa forma, ao se aplicarem os valores da série Alegrete (1928-2009) a equação do IAC obteve-se o seguinte gráfico (Figura 27).

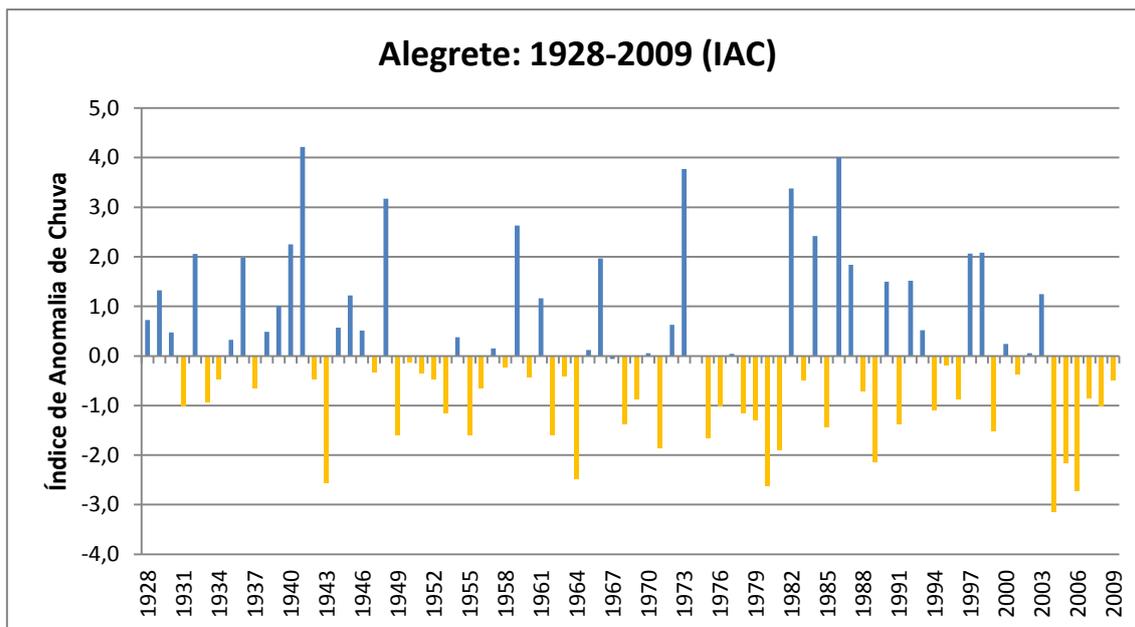


Figura 27. Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para a série temporal Alegrete (1928-2009).

Observa-se na Figura 27 que segundo o IAC apenas o ano de 1941 mostrou-se como “extremamente úmido”. Segundo CPTEC/INPE (2012) o ano de 1941 foi classificado como sob efeito El Niño (forte). Classificados como “muito úmido” os anos de 1932 (El Niño fraco), 1940 (El Niño forte), 1948 (sem classificação), 1959 (El Niño forte), 1966 (El Niño moderado), 1973 (El Niño forte), 1982 (El Niño forte), 1984 (La Niña fraco), 1986 (El Niño moderado), 1997 (El Niño forte) e 1998 (El Niño forte).

Considerando os anos secos, nenhum dos anos mostrou-se como “extremamente seco”. Já os anos de 1943 (sem classificação), 1964 (La Niña moderado), 1980 (sem classificação), 1989 (La Niña forte), 2004 (sem classificação), 2005 (sem classificação) e 2006 (sem classificação) foram classificados como “muito seco”.

Nos anos de 2004, 2005 e 2006, a dinâmica das precipitações não deveria ser de escassez, visto estarem sob a neutralidade do fenômeno ENOS. O fenômeno foi encontrado no trabalho de Streck *et al.*, (2009) que sugere a participação de outro fenômeno: a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Tal associação pode ser feita ao se comparar as informações da Figura 27 com as informações observadas na Figura 28, sendo possível encontrar uma correlação dos períodos das fases quente e fria da ODP.

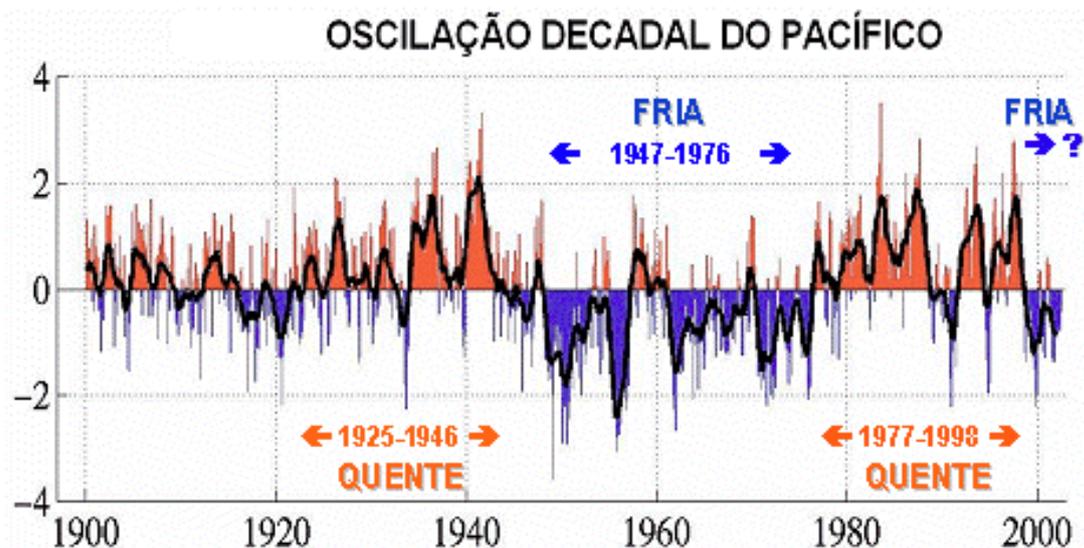


Figura 28. Série temporal do Índice da Oscilação Decadal do Pacífico.

Fonte: Molion (2005).

Comparando os gráficos das Figuras 27 e 28 é possível se observar no primeiro intervalo referente à fase quente (1925-1946), que ocorrem picos de eventos negativos (menos chuvosos). Esses picos negativos podem ser observados nos anos de 1931, 1933, 1934, 1937, 1942 e 1943 na série de dados de Alegrete.

Já na considerada fase fria (1947-1976) os picos positivos (chuvosos), também, são observados (Figura 27) nos anos de 1959, 1961, 1966 e 1973 na série.

Na sua última fase quente (1977-1998) os picos frios, também, são observados nos anos de 1983, 1985, 1988, 1989, 1991, 1994, 1996 e 1999 na série Alegrete.

Ao analisarem o comportamento da temperatura do ar em Santa Maria (RS) durante o século XX, Streck *et al.* (2011) verificaram que houve associação entre a variabilidade interdecadal das temperaturas mínimas e máximas diárias do ar com os ciclos quentes e frios da ODP. Quando comparados aos dados de precipitação encontrados em Streck *et al.* (2009), verificaram que durante a fase fria da ODP (1947-1977) os eventos La Niña em Santa Maria (RS) foram mais intensos e frequentes devido os eventos ODP e ENOS estarem na fase fria, onde a diminuição das chuvas contribuiu para a redução do vapor d'água na atmosfera, resultando na redução das temperaturas mínimas durante as noites.

Por outro lado, quando a ODP estava na fase quente (1977-1998), os eventos El Niño foram mais intensos e frequentes, contribuindo, no Rio Grande do Sul, para ocorrência de chuvas acima da normal no período e, conseqüentemente, maior teor de vapor d'água na atmosfera, causando menor abaixamento da temperatura noturna.

Sob outro ponto de vista, o trabalho de Pampuch e Ferraz (2012) procurou analisar a relação do modo de variabilidade denominado “Modo Sul” com a ocorrência de eventos extremos (secos e chuvosos) no Rio Grande do Sul entre os anos de 1982 e 2006. Na análise decenal, as autoras verificaram um aumento na quantidade desses eventos no decorrer do período analisado, sobretudo na década de 2000, levando-as a acreditar que estivessem associados mais a participação do “Modo Sul” do que a ODP.

Enfim, no último período do gráfico da ODP (Figura 28) surge uma questão a partir do ano de 1999. Estaríamos entrando numa nova fase fria do fenômeno?

Para Molion (2005) e Streck *et al.* (2009; 2011) o período ainda é muito curto para se caracterizar uma nova ODP. Entretanto, segundo os autores, há uma forte expectativa de que uma nova fase fria da ODP esteja se configurando para os próximos anos, sobretudo em função das Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) observadas no Oceano Pacífico nos últimos anos.

A Figura 29 reproduz a variação do Índice Multivariado de ENOS (IME) com o tempo do ano de 1950 até o presente. No caso, os números positivos representam a participação do fenômeno El Niño, enquanto que os números negativos correspondem à participação do fenômeno La Niña.

Novamente, observa-se que a partir do final dos anos da década de 1990 a atividade do fenômeno La Niña tem se mostrado mais significativa que a do fenômeno El Niño, indicando uma possível tendência de predomínio daquele fenômeno para os próximos anos.

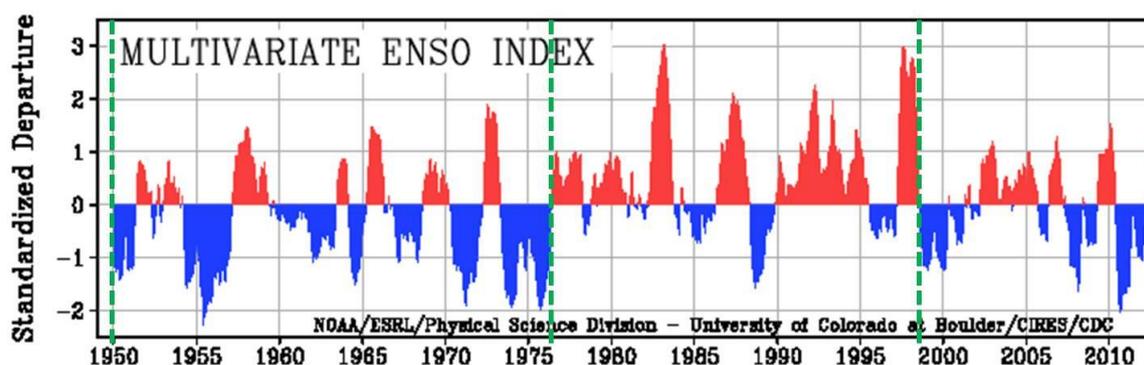


Figura 29. Serie temporal do Índice Multivariado de El Niño-Oscilação Sul.

Fonte: Adaptada de Wolter e Timlin, 1998.

<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei.html>

Em seu trabalho, Molion (2005) sugere que essa fase (predomínio do La Niña) possa permanecer até aproximadamente o ano de 2025, com conseqüente aumento da frequência de eventos La Niña e possível redução dos eventos El Niño.

Os trabalhos de Streck *et al.* (2009 e 2011), também, apontam para a ocorrência de uma possível fase negativa da ODP nas próximas duas décadas, uma vez que nos primeiros 10 anos (1999-2009) confirmou-se a tendência de redução média de $-0,45\text{ }^{\circ}\text{C}$ no primeiro semestre do ano por década nas temperaturas mínimas e, de aumento nas temperaturas máximas absolutas de $1,85\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década no segundo semestre.

O gráfico da Figura 27 parece corresponder as proposições feitas por Molion (2005) e por Streck *et al.* (2009 e 2011), pois os anos de 1999, 2001, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 da série Alegrete apontam para a ocorrência da fase negativa da ODP com um pico positivo no ano de 2003.

Em outra análise a que os totais anuais de precipitação da série Alegrete foram submetidos, foi verificada sua tendência linear ao longo do período. No gráfico da Figura 30 é possível se observar que a linha de tendência aponta para um leve declínio no decorrer da série.

A partir de sua equação linear é possível constatar que houve uma redução de 222,2 mm nas precipitações ao longo dos 82 anos da série.

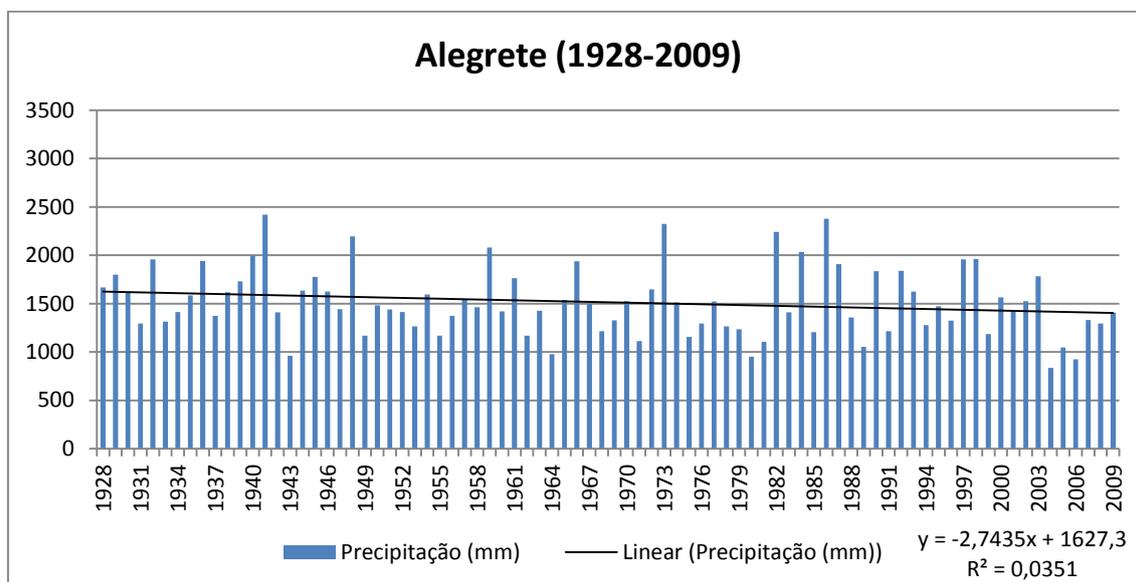


Figura 30. Totais anuais de precipitação da série temporal Alegrete (1928-2009) e respectiva linha de tendência.

No entanto, o quanto essa tendência linear negativa apresentada e a redução nos volumes pluviométricos seriam significativos em relação a possíveis mudanças no comportamento das precipitações?

A aplicação do Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975) procurou avaliar de maneira qualitativa a tendência negativa encontrada na série analisada (PAIVA e CLARKE, 1995; GROppo *et al.*, 2001; FOLHES e FISCH, 2006, BLAIN, 2010).

Tabela 9: Resultado da análise de tendência do com nível de confiança de 95%.

Variável analisada	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Precipitações Anuais	1,97	Negativa significativa

De acordo com Marengo e Alves (2005) e Folhes e Fisch (2006) ao considerarmos o nível de significância ($\alpha = 0,05$), a hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo estacionária a distribuição da chuva) dever ser rejeitada sempre que $-1,96 < MK < +1,96$. Dessa forma, em função do coeficiente encontrado (**MK = 1,97**) deve-se rejeitar a hipótese H_0 . Portanto, a pequena tendência negativa encontrada na série pode ser considerada como indício de modificação na dinâmica dos totais anuais de precipitação, muito embora o escore encontrado tenha sido próximo ao limite de significância para aceitação. Valores sazonais (trimestrais) e mensais, quando submetidos ao teste de Mann-Kendall, poderão demonstrar se as modificações na dinâmica das precipitações são significativas ou não.

b) Tendência dos totais trimestrais

A análise do somatório dos trimestres relativos às estações do ano, onde os meses de *dezembro, janeiro e fevereiro* correspondem ao **verão**, *março, abril e maio* ao **outono**, *junho, julho e agosto* ao **inverno** e, *setembro, outubro e novembro* a **primavera**, permitiu observar que no decorrer do período de 82 anos ocorreram mudanças na dinâmica das precipitações.

A Figura 31 apresenta um gráfico, onde foram plotados os totais trimestrais referentes ao verão (meses de dezembro, janeiro e fevereiro) para análise de sua dinâmica no decorrer da série.

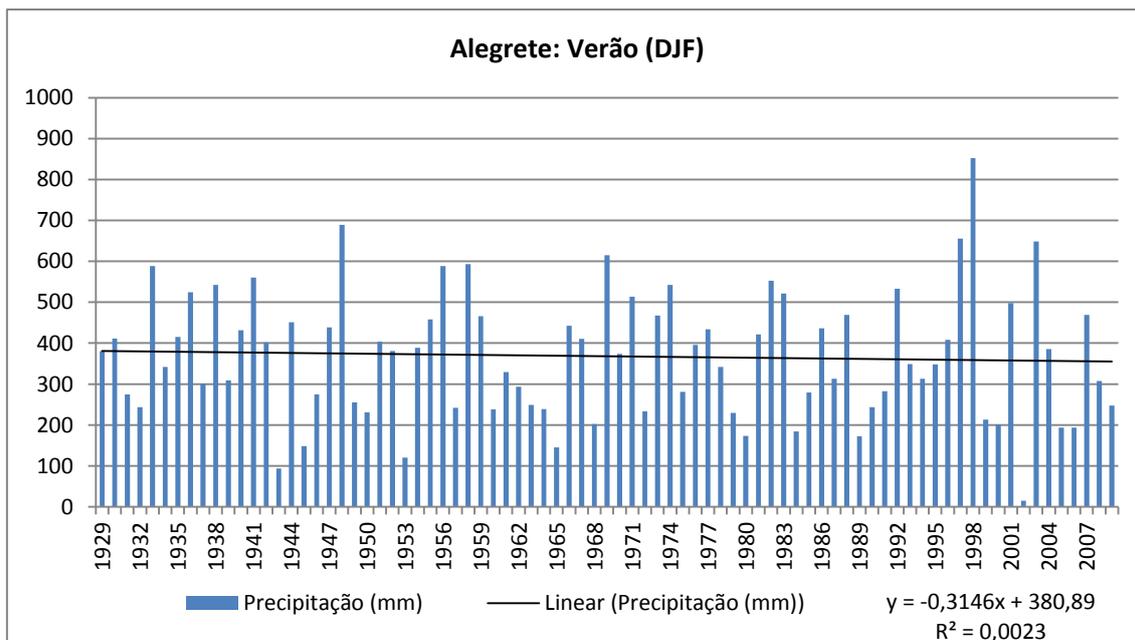


Figura 31. Precipitações trimestrais dos verões (dezembro-janeiro-fevereiro) da série temporal Alegrete (1929-2009) e respectiva linha de tendência.

Observa-se na Figura 31 que, embora existam cinco picos máximos de precipitação (superiores a 600 mm) nos verões de 1948, 1969, 1997, 1998 e 2003, e dez picos mínimos de precipitações (inferiores a 200 mm) nos verões de 1943, 1945, 1953, 1965, 1979, 1984, 1989, 2002, 2005 e 2006, a tendência linear da série praticamente não sofreu alteração, mantendo a estacionaridade no decorrer do período.

A Figura 32 mostra as informações referentes aos totais trimestrais dos meses de outono (março, abril e maio) para análise de sua dinâmica ao longo da série.

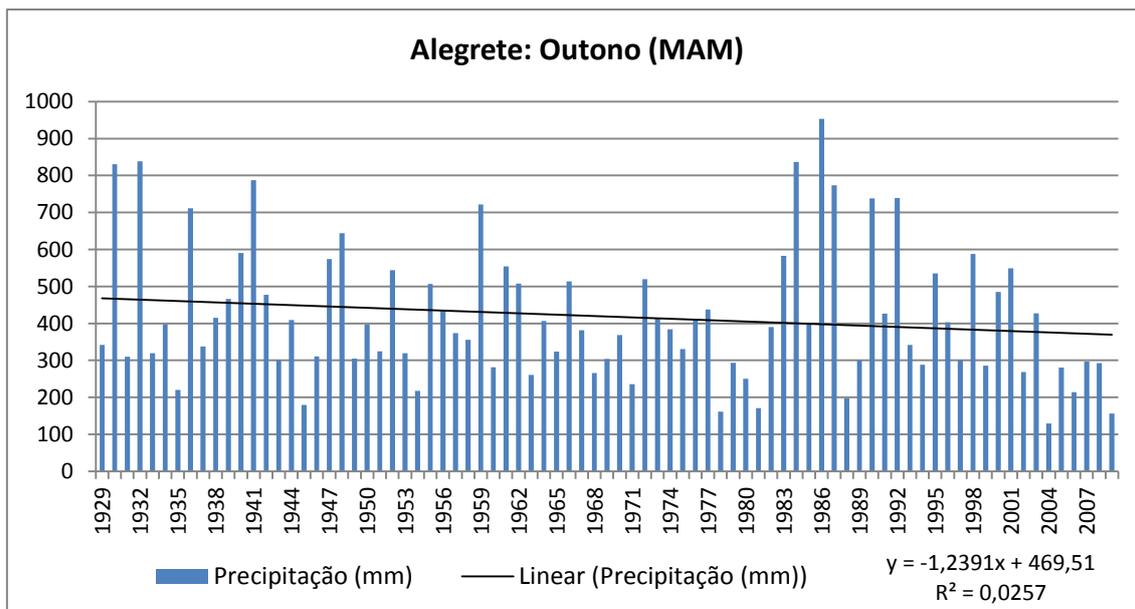


Figura 32. Precipitações trimestrais dos outonos (março-abril-maio) da série temporal Alegrete (1929-2009) e respectiva linha de tendência.

É possível observar na Figura 32 a ocorrência de onze picos máximos de precipitação (superiores a 600 mm) nos outonos de 1930, 1932, 1936, 1941, 1948, 1959, 1984, 1986, 1987, 1990 e 1992, com destaque para os anos de 1984 e 1986, onde os totais trimestrais foram superiores a 800 mm.

Já em relação aos picos mínimos de precipitação (inferiores a 200 mm), foram seis ocorrências manifestadas nos outonos de 1945, 1978, 1981, 1988, 2004 e 2009. Já a linha de tendência da série trimestral do outono apontou para tendência negativa passível de teste qualitativo.

Assim como nos casos anteriores, a Figura 33 apresenta um gráfico onde estão plotados os totais trimestrais referentes ao inverno (meses de junho, julho e agosto) da série para análise de sua dinâmica.

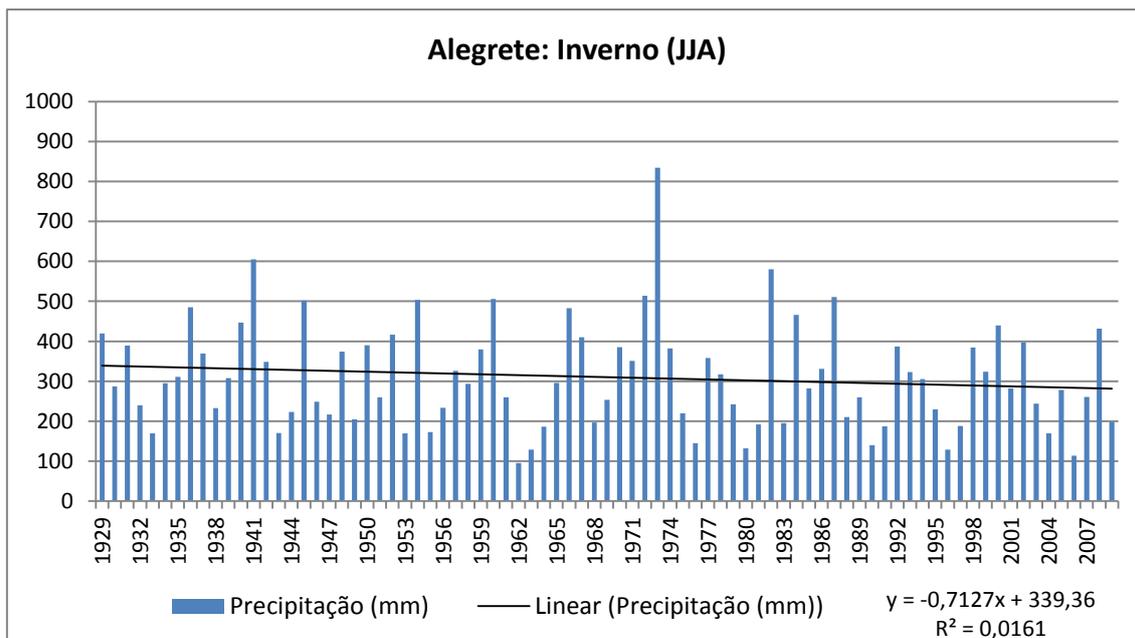


Figura 33. Precipitações trimestrais dos invernos (junho, julho e agosto) da série temporal Alegrete (1929-2009) e respectiva linha de tendência.

Observa-se nesse gráfico (Figura 33) que a ocorrência de picos máximos de precipitação (superiores a 600 mm) diminui em relação às estações anteriores. Foram apenas duas ocorrências nos anos de 1941 e 1973.

Por sua vez, em relação aos picos mínimos de precipitação (inferiores a 200 mm), o número de ocorrências aumentou para dezenove em relação às estações anteriores. As ocorrências se deram nos anos de 1933, 1943, 1953, 1955, 1962, 1963, 1964, 1968, 1976, 1980, 1981, 1983, 1990, 1991, 1996, 1997, 2003, 2006 e 2009.

Sobre a tendência linear da série referente à estação do inverno, a mesma mostrou uma leve tendência negativa, igualmente, passível de teste qualitativo.

Por fim, a Figura 34 apresenta um gráfico com os valores trimestrais referentes as primaveras (setembro, outubro e novembro) da série para análise de sua dinâmica.

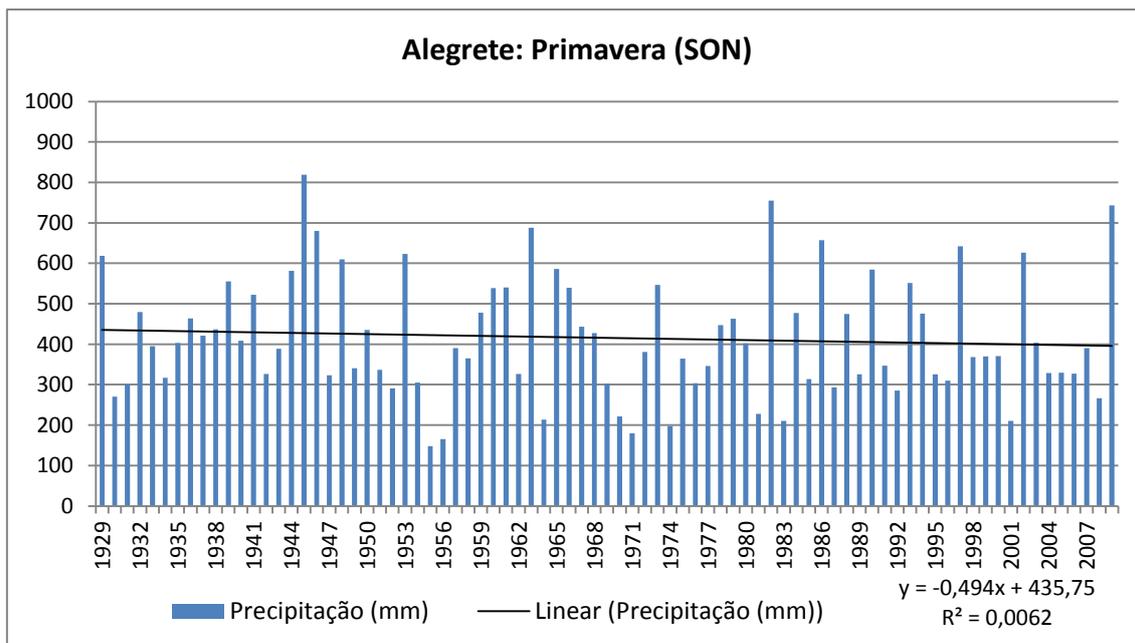


Figura 34. Precipitações trimestrais das primaveras (setembro, outubro e novembro) da série temporal Alegrete (1929-2009) e respectiva linha de tendência.

Na Figura 34 observa-se um aumento na quantidade de eventos máximos de precipitação (superiores a 600 mm) em relação a estação anterior (inverno). Foram onze picos que ocorreram nos anos de 1929, 1945, 1946, 1948, 1953, 1963, 1982, 1986, 1997, 2002 e 2009.

Em relação aos eventos de picos mínimos de precipitação (inferiores a 200 mm), o número de eventos reduziu-se para quatro no decorrer da série, reservando-se aos anos de 1955, 1956, 1971 e 1974.

Da mesma forma, como nas estações do outono e inverno, a análise da tendência linear apontou para uma leve tendência negativa no decorrer da série, igualmente, passível de teste qualitativo.

A Tabela 10 mostra o resultado da aplicação do Teste de Mann-Kendall para os totais trimestrais da série Alegrete.

Tabela 10: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Verão (DJF)	0,66	Negativa NS
Outono (MAM)	1,75	Negativa NS
Inverno (JJA)	1,17	Negativa NS
Primavera (SON)	0,75	Negativa NS

NS = tendência não significativa.

Igualmente, como fora proposto por Marengo e Alves (2005) e Folhes e Fisch (2006), ao considerarmos o nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$) deveríamos aceitar a

hipótese H_0 (que não há tendência na série, sendo está estacionária) sempre que $-1,96 < MK < +1,96$.

Dessa forma, em função dos coeficientes encontrados na Tabela 10 pode-se afirmar que as séries trimestrais analisadas não apresentam tendência nem positiva nem negativa, ou seja, confirmam a hipótese H_0 .

No caso as pequenas tendências negativas encontradas nas séries trimestrais não devem ser consideradas como indício de modificação da dinâmica das precipitações, podendo sim ser enquadradas meramente como consequência da aleatoriedade da série e não de um comportamento constante.

c) Tendência dos totais mensais

A análise da tendência temporal dos totais mensais permitiu observar que no decorrer do período de 82 anos ocorreram modificações na dinâmica das precipitações.

A Figura 35 apresenta um gráfico, onde foram plotados os totais mensais de janeiro para análise de sua dinâmica no decorrer da série.

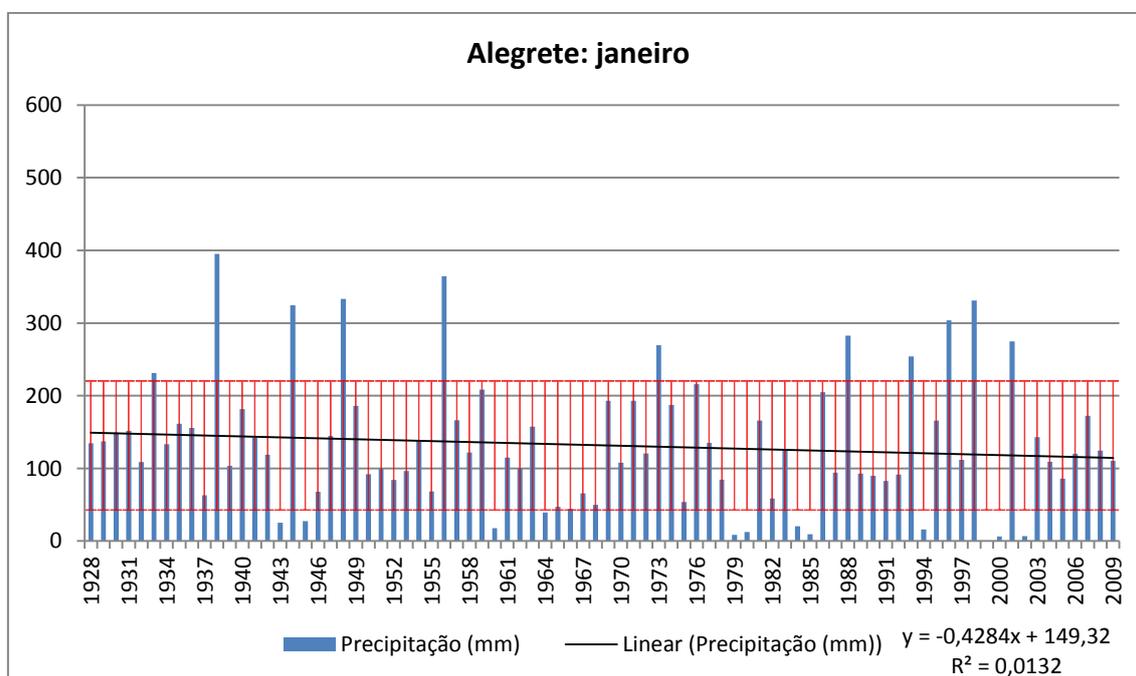


Figura 35. Totais mensais de precipitação dos meses de janeiro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

A Figura 35 permite observar os totais mensais de precipitação referentes aos meses de janeiro da série Alegrete (1928-2009) e sua respectiva tendência linear. Muito embora os valores encontrados apontem para uma grande variabilidade nos

totais mensais, os anos de 1933, 1938, 1944, 1948, 1956, 1973, 1988, 1993, 1996, 1998 e 2001 apresentaram precipitações maiores que o limite superior do desvio padrão da série.

Comparando esses episódios mensais com a ocorrência do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) na série, apenas nos anos de 1973 (forte), 1988 (moderado), 1993 (forte) e 1998 (forte) é que houve manifestação do fenômeno. As demais precipitações acentuadas não teriam relação direta com a fase positiva do fenômeno.

Já os anos de 1943, 1945, 1960, 1964, 1979, 1980, 1984, 1985, 1994, 1999, 2000 e 2002, apresentaram precipitações inferiores ao desvio padrão da série. Essa condição pode ser um indicativo de que outros mecanismos atmosféricos podem influenciar nos totais mensais elevando seus valores.

Da mesma forma, comparando-se esses anos com a ocorrência do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012) na série, apenas os anos de 1964 (moderado), 1984 (fraco), 1985 (fraco) e 2000 (moderado) é que coincidem com a manifestação do fenômeno. Sendo assim, as baixas precipitações ocorridas no mês de janeiro dos demais anos abaixo do desvio padrão, não possuem associação ao fenômeno ENOS na fase negativa.

A análise da tendência linear da série aponta para uma leve tendência negativa, implicando numa redução de 34,7 mm ao longo dos 82 anos da série.

Essa tendência negativa será testada qualitativamente por meio do Teste de Mann-Kendall mais adiante.

Na Figura 36 o gráfico mostra os totais mensais dos meses de fevereiro para análise de sua dinâmica no decorrer da série.

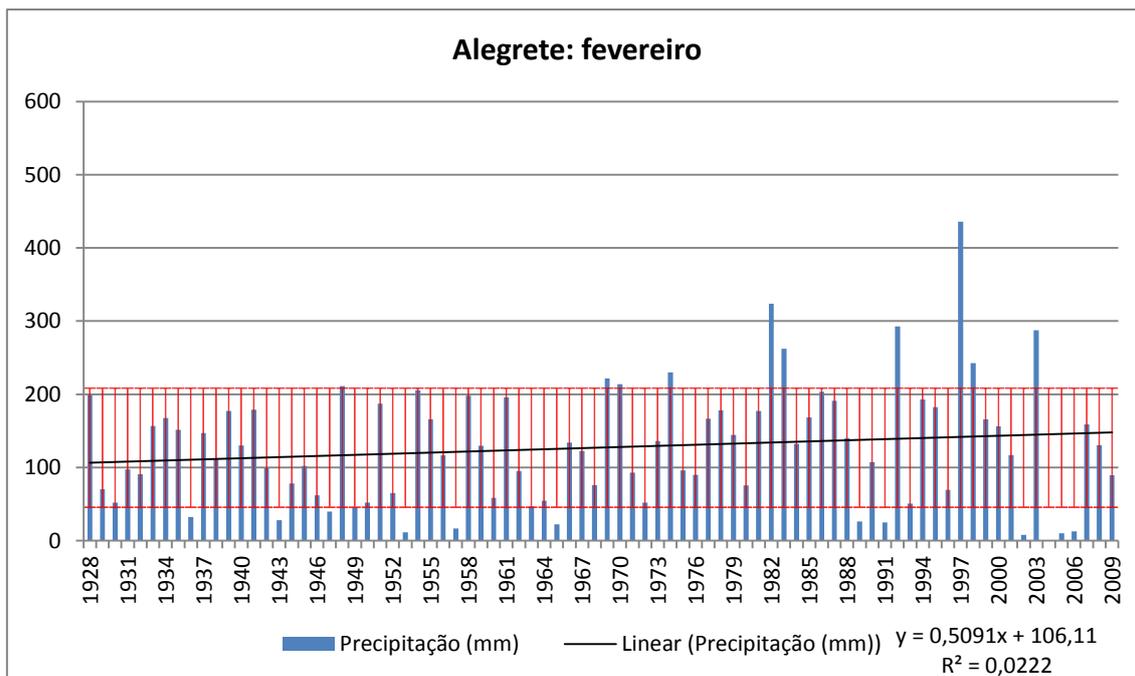


Figura 36. Totais mensais de precipitação dos meses de fevereiro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Na Figura 36 o gráfico permite observar a dinâmica dos totais mensais de precipitação dos meses de fevereiro para a série Alegrete (1928-2009) e sua tendência linear.

Diferentemente da série dos meses de janeiro, as informações referentes aos meses de fevereiro apontam para tendência positiva da série com um incremento nas precipitações da ordem de 41,2 mm em seus 82 anos. O teste de Mann-Kendall verificará qualitativamente se o comportamento positivo dessa série é significativo ou não.

Ao analisar os valores e seu enquadramento em relação ao desvio padrão da série, verifica-se que os anos de 1948, 1969, 1970, 1974, 1982, 1984, 1992, 1997, 1998 e 2003 apresentaram valores que extrapolaram seu limite superior. Comparando suas ocorrências aos eventos do fenômeno El Niño, os anos de 1969 (moderado), 1970 (forte), 1982 (forte), 1992 (forte), 1997 (forte), 1998 (forte) e 2003 (moderado) correspondem à ocorrência da componente positiva do fenômeno ENOS.

Dessa forma, para a série dos meses de fevereiro, fica evidente que os eventos de precipitações elevadas no final da série estão diretamente associados à participação do fenômeno El Niño.

Por sua vez, os anos de 1936, 1943, 1947, 1949, 1953, 1957, 1963, 1965, 1989, 1991, 2004, 2005 e 2006 apresentaram precipitações abaixo do limite inferior do desvio padrão da série.

Assim como no caso anterior, os eventos dessa série foram comparados aos anos de ocorrência do fenômeno La Niña, conforme informações disponíveis em CPTEC/INPE (2012), os quais demonstraram correlação apenas em 1949 (forte), 1965 (moderado) e 1989 (forte). Já no caso dos baixos valores nas precipitações nos anos finais da série analisada, pode-se constatar que não há relação com a participação do fenômeno La Niña.

Novamente, é possível considerar que a variabilidade das condições mensais de precipitação para a série Alegrete (1928-2009) não estão vinculadas somente a participação do fenômeno ENOS em suas componentes positiva e negativa. Assim como, na série dos meses de janeiro, outros mecanismos atmosféricos exercem influência na dinâmica das precipitações nos meses de fevereiro.

A Figura 37 apresenta as precipitações ocorridas nos meses de março no decorrer da série Alegrete (1928-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

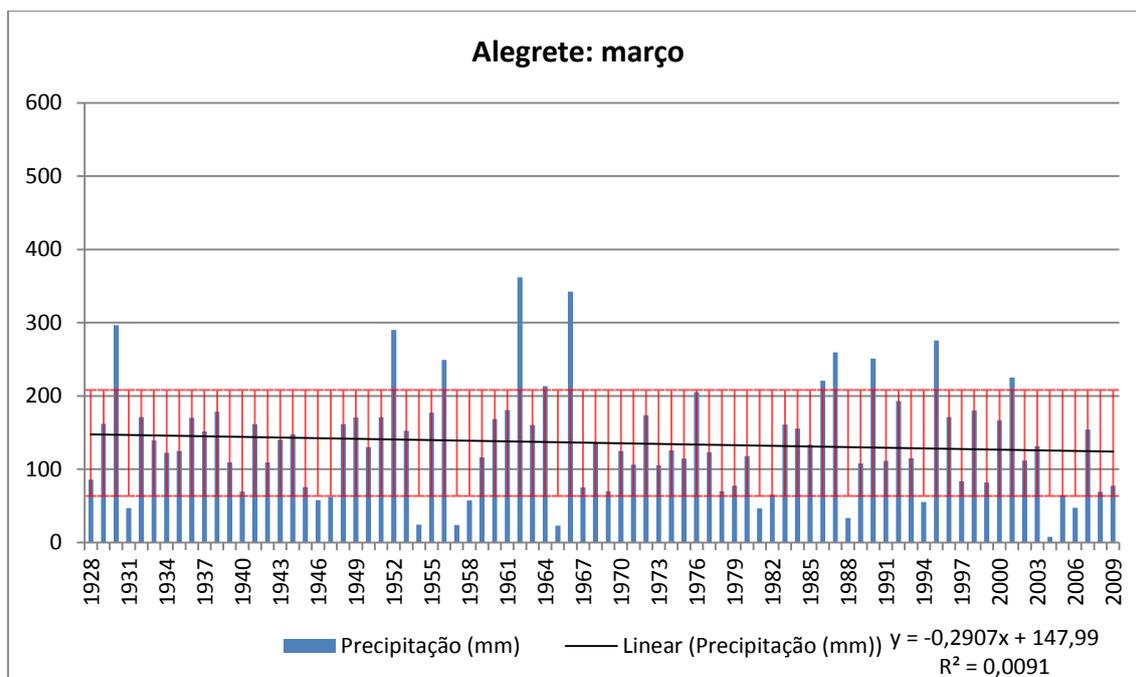


Figura 37. Totais mensais de precipitação dos meses de março da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

A análise do gráfico da Figura 37 permite observar os totais mensais de precipitação para os meses de março na série Alegrete (1928-2009) e sua tendência linear.

Assim como, na série referente aos meses de janeiro, os totais mensais de março apontam para uma tendência negativa da série implicando numa redução nos valores pluviométricos da ordem de 23,5 mm ao longo dos 82 anos da série. A

aplicação do Teste de Mann-Kendall permitirá que se verifique de maneira qualitativa (significativa ou não) a tendência negativa da série.

A análise dos valores e seu enquadramento em relação do seu desvio padrão permitem identificar os anos de 1930, 1952, 1956, 1962, 1964, 1966, 1986, 1987, 1990, 1995 e 2001 como os que apresentam valores que ultrapassam seu limite superior. A partir das comparações com os eventos El Niño (CPTEC/INPE, 2012) é possível identificar apenas os anos de 1966 (moderado), 1986 (moderado), 1987 (moderado), 1990 (forte) e 1995 (forte) como sendo aqueles em que o fenômeno ENOS se mostrou ativo.

Da mesma forma como nos meses anteriores, os eventos mínimos da série (que se apresentaram abaixo do limite do desvio padrão) foram comparados aos anos de ocorrência do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012). Os anos de 1931, 1946, 1947, 1954, 1957, 1958, 1965, 1981, 1982, 1988, 1994, 2004 e 2006 apresentaram-se como abaixo do limite mínimo do desvio padrão para a série, sendo que, apenas os anos de 1954 (forte), 1965 (moderado) e 1988 (forte) tiveram uma correspondência com os casos de La Niña na série.

Novamente é possível se constatar que as variações apresentadas nas precipitações mensais da série Alegrete (1928-2009) não são consequência, apenas da atuação do fenômeno ENOS (fases positiva ou negativa), mas também de outros mecanismos atmosféricos.

Na Figura 38 são apresentadas as precipitações ocorridas nos meses de abril ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

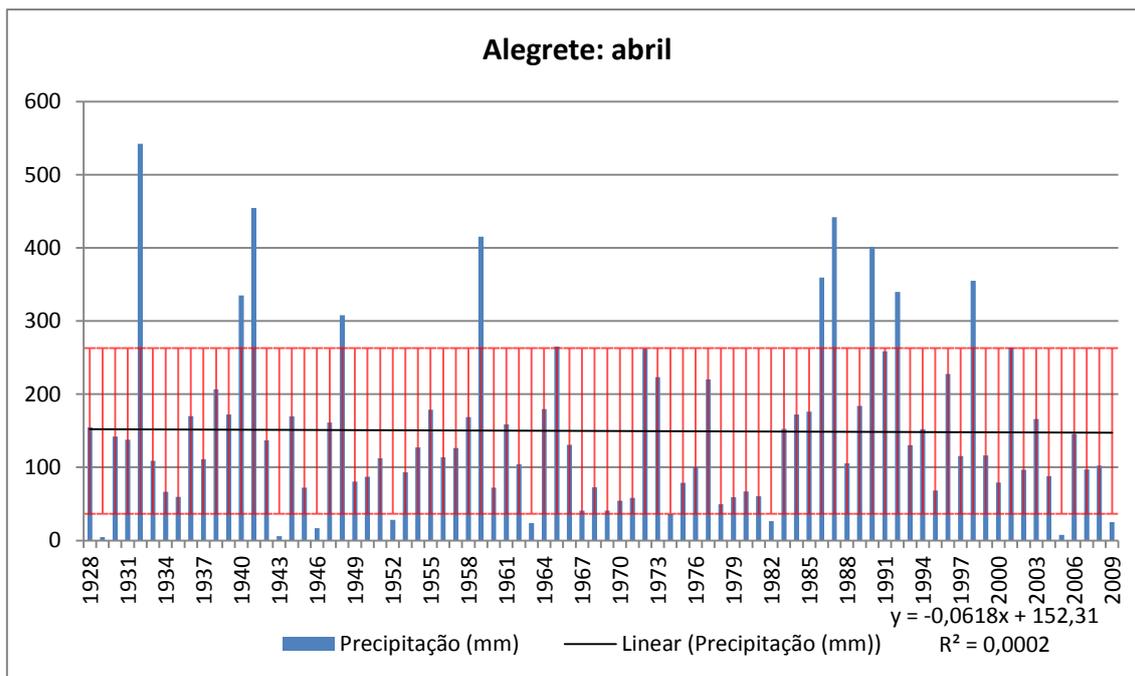


Figura 38. Totais mensais de precipitação dos meses de abril da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

O gráfico da Figura 38 permite que se observem os totais mensais de precipitação para os meses de abril na série Alegrete (1929-2009) e sua tendência linear.

A análise do gráfico possibilita identificar que, praticamente, não há mudança na linha de tendência ao longo da série (nem positiva, nem negativa), onde, com base na equação linear houve uma redução de apenas 5,0 mm nas precipitações no período. A aplicação do Teste de Mann-Kendall poderá confirmar a estacionaridade da série.

A dinâmica das precipitações em relação ao seu desvio padrão permite identificar os anos de 1932, 1940, 1941, 1942, 1948, 1959, 1986, 1987, 1988, 1990, 1992 e 1998 como os que apresentaram valores acima do seu limite superior. Ao compará-los com os eventos do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) é possível identificar que os anos de 1932 (moderado), 1940 (forte), 1941 (forte), 1959 (forte), 1986 (moderado), 1987 (moderado), 1998 (moderado), 1990 (forte), 1992 (forte) e 1998 (forte) sofreram influência do fenômeno na fase positiva.

Sobre os anos que apresentaram eventos com precipitações abaixo do limite mínimo do desvio padrão o gráfico da Figura 38 aponta para 1929, 1943, 1946, 1952, 1963, 1974, 1982, 2005 e 2009. Comparando-os com os anos sob influência do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012) apenas os anos de 1929 (fraco) e 1974 (forte) coincidem com a participação da componente negativa do fenômeno.

Dessa forma, pode-se considerar que a maior parte dos extremos de precipitação nos meses de abril sofreu influência do fenômeno El Niño no decorrer da série analisada, enquanto que a fase negativa do fenômeno ENOS pouco influenciou nas precipitações de abril da série.

Já a Figura 39 demonstra a dinâmica das precipitações ocorridas nos meses de maio ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

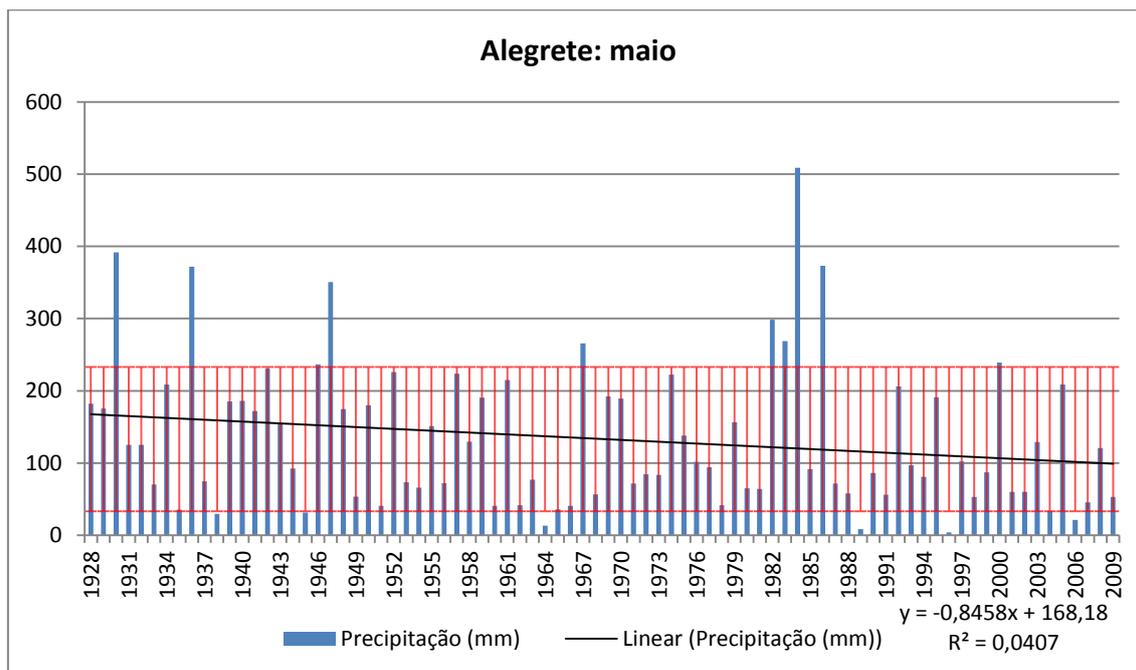


Figura 39. Totais mensais de precipitação dos meses de maio da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

O gráfico da Figura 39 mostra os totais mensais de precipitação referentes aos meses de maio da série Alegrete (1928-2009) e sua tendência linear negativa reduzindo os valores pluviométricos em 68,5 mm ao longo dos 82 anos analisados. A aplicação do Teste de Mann-Kendall verificará qualitativamente se a tendência negativa encontrada é significativa ou não.

Ao analisar os valores apresentados e seus enquadramentos em relação ao seu desvio padrão, é possível se observar os anos de 1930, 1936, 1947, 1967, 1982, 1983, 1984, 1986 e 2000 apresentaram valores que ultrapassaram seu limite superior. Ao comparar esses anos com aqueles sob a ação do fenômeno El Niño observa-se que apenas os anos de 1947 (moderado), 1982 (forte), 1983 (forte) e 1986 (moderado) da série correspondem aqueles sob efeito da fase positiva do fenômeno.

Por sua vez, ao analisar os eventos mínimos da série verifica-se que apenas os anos de 1938, 1964, 1989, 1996, 2004 e 2006 apresentaram totais mensais abaixo do

limite mínimo do desvio padrão da série. Comparando-se tais anos aos sob efeito do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012), verifica-se que há uma correspondência com os eventos nos anos de 1938 (forte), 1964 (moderado), 1989 (forte) e 1996 (fraco).

O gráfico da Figura 40 demonstra a dinâmica das precipitações ocorridas nos meses de junho ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

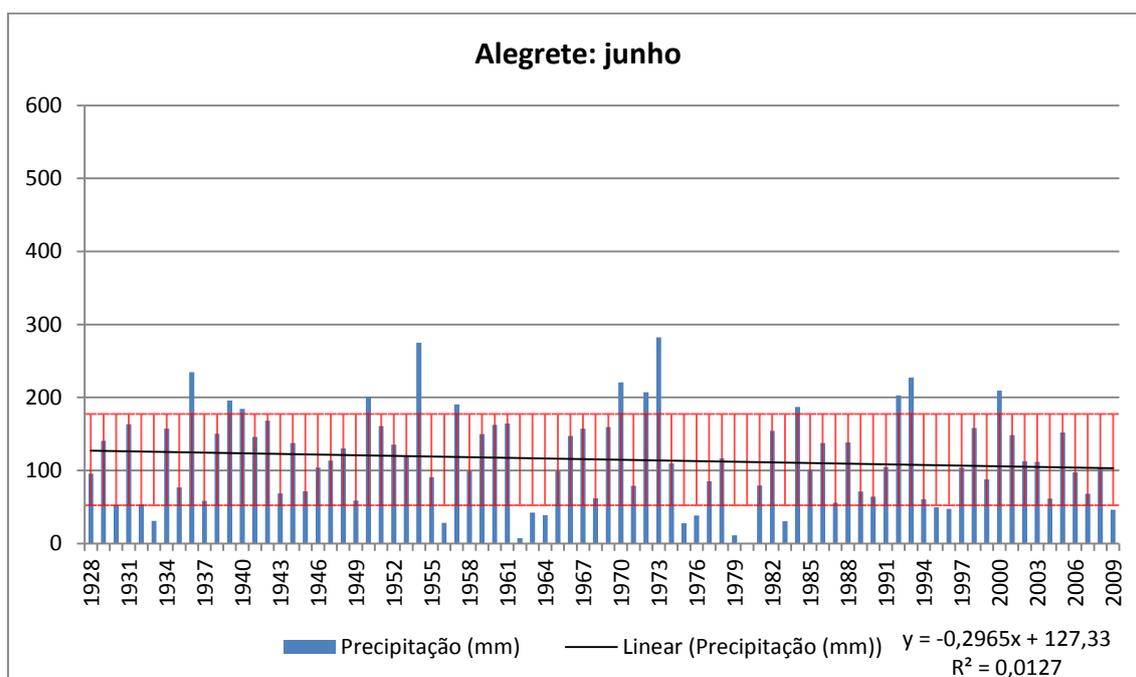


Figura 40. Totais mensais de precipitação dos meses de junho da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

O gráfico da Figura 40 permite que se analise a dinâmica das precipitações mensais referentes aos meses de junho na série Alegrete (1928-2009) acompanhado de sua tendência linear levemente negativa ao longo dos anos. Por meio de sua equação linear verifica-se que houve uma redução de 24,0 mm nas precipitações no decorrer dos 82 anos analisados da série. Já a aplicação do Teste de Mann-Kendall permitirá avaliar de forma qualitativa se a tendência negativa apresentada é significativa ou não.

A análise do gráfico, também, permite identificar os anos de 1936, 1939, 1940, 1950, 1954, 1957, 1970, 1972, 1973, 1984, 1992, 1993 e 2000 como os que apresentaram valores acima do limite superior do desvio padrão da série. Comparando-os com a classificação dos anos sob efeito do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) verifica-se que há uma correspondência entre os anos de 1939 (forte), 1940 (forte), 1957 (forte), 1970 (moderado), 1972 (forte), 1973 (forte) e 1992 (forte) com a componente positiva do fenômeno ENOS.

Já a análise dos eventos mínimos da série possibilita observar os anos de 1932, 1933, 1956, 1962, 1963, 1964, 1975, 1976, 1979, 1980, 1981, 1983, 1995, 1996 e 2009 como os que apresentaram valores abaixo do limite mínimo do desvio padrão. Sendo assim, ao se comparar esses anos com os anos sob efeito do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012) verificar que os anos de 1956 (forte), 1964 (moderado), 1975 (forte), 1976 (forte), 1983 (fraco), 1995 (fraco) e 1996 (fraco) apresentam correspondência com a componente negativa do fenômeno ENOS.

A Figura 41 traz para análise o gráfico que apresenta a dinâmica das precipitações ocorridas nos meses de julho ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

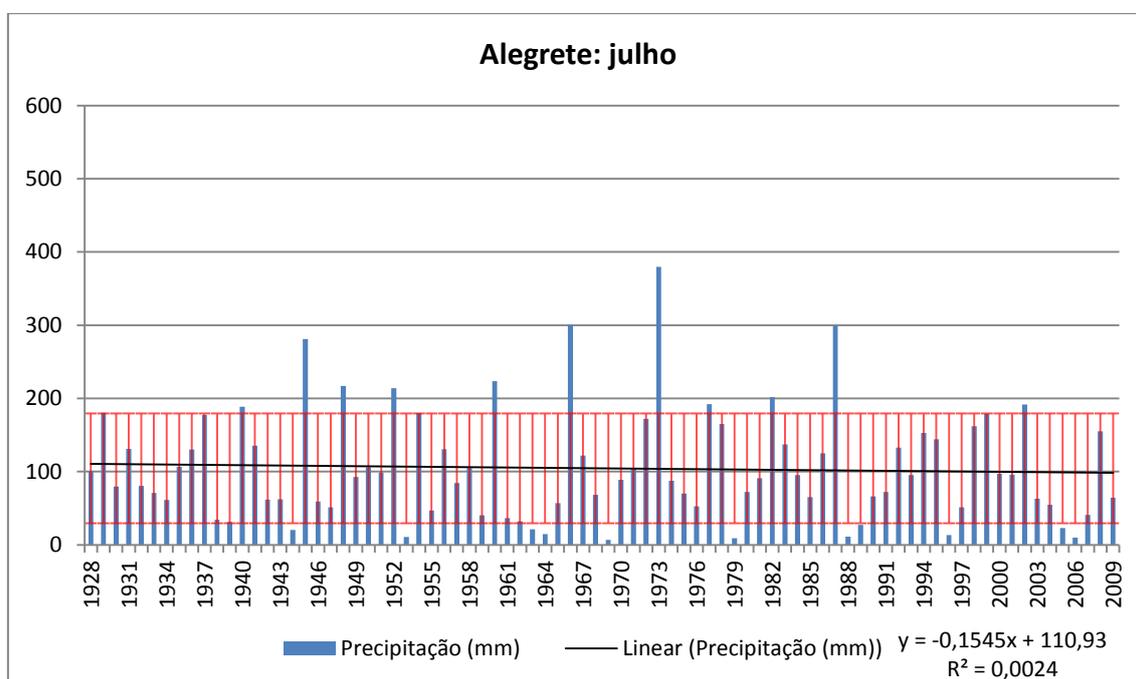


Figura 41. Totais mensais de precipitação dos meses de julho da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Na Figura 41 o gráfico permite analisar as precipitações mensais referentes aos meses de julho e sua tendência linear levemente negativa possibilitando, por meio de sua equação linear, que se calcule uma redução de 12,5 mm na série Alegrete (1928-2009). A avaliação qualitativa da tendência linear encontrada (se significativa ou não) será feita aplicando-se posteriormente o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados.

Ao se comparar os totais mensais com o desvio padrão da série verifica-se que os anos de 1929, 1937, 1940, 1945, 1948, 1952, 1954, 1960, 1966, 1973, 1977, 1982, 1987, 1999 e 2002 apresentaram valores que ultrapassaram o limite superior. Comparando-os aos anos classificados como sob efeito do fenômeno El Niño

(CPTEC/INPE, 2012) se vê que os anos de 1940 (forte), 1966 (moderado), 1973 (forte), 1977 (fraco), 1982 (forte), 1987 (moderado) e 2002 (moderado) correspondem a anos sob o efeito da componente positiva do fenômeno ENOS.

A análise dos eventos mínimos na série possibilita observar os anos de 1939, 1944, 1953, 1962, 1963, 1964, 1969, 1979, 1988, 1989, 1996, 2005 e 2006 apresentaram valores inferiores ao limite mínimo do desvio padrão da série. Comparando-os aos anos sob o efeito do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012) é possível verificar a correspondência dos anos de 1939 (forte), 1964 (moderado), 1988 (forte), 1989 (forte) e 1996 (fraco) com a componente negativa do fenômeno ENOS.

Novamente, observa-se que as componentes positiva e negativa do fenômeno ENOS influenciaram nos anos com precipitações intensas dos meses de julho da série Alegrete (1928-2009).

O gráfico da Figura 42 demonstra as precipitações ocorridas nos meses de agosto ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

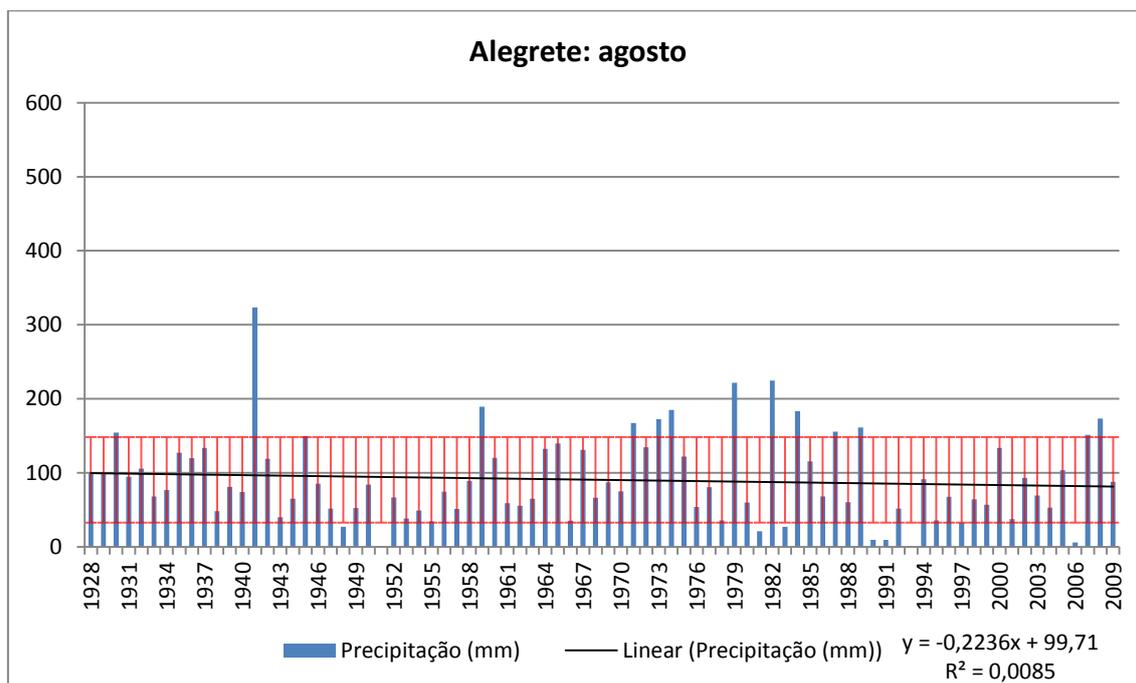


Figura 42. Totais mensais de precipitação dos meses de agosto da série Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

O gráfico da Figura 42 permite a análise das precipitações nos meses de agosto. Observa-se que o comportamento linear das chuvas tende para uma leve queda (tendência negativa) no decorrer da série implicando numa redução de 18,1 mm nos seus 82 anos.

A aplicação do Teste de Mann-Kendall permitirá avaliar de forma qualitativa se a tendência linear negativa encontrada é significativa ou não.

Aplicando-se o desvio padrão na série analisada é possível observar que os anos de 1930, 1941, 1959, 1971, 1973, 1974, 1979, 1982, 1984, 1987, 1989, 2007 e 2008 apresentaram dados que ultrapassaram seu limite superior. Destes, os anos de 1941 (forte), 1959 (forte), 1973 (forte), 1979 (moderado), 1982 (forte), 1987 (moderado) e 2007 (fraco) mostraram-se, de alguma maneira, sob a influência do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012), muito embora nessa época do ano a componente positiva do fenômeno ENOS pouco influencie nas precipitações (citação).

Analisado os valores mínimos encontrados e comparando-os ao limite inferior do desvio padrão, pode-se encontrar nos anos de 1948, 1951, 1981, 1983, 1990, 1991, 1993 e 2006 como os anos em que as precipitações atingiram os menores valores para o mês de agosto na série. No entanto, ao se comparar os valores encontrados com os anos sob a ação do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012), verifica-se que apenas os anos de 1951 (forte) e 1983 (fraco) mantiveram uma relação com a componente negativa do fenômeno ENOS.

Novamente, verifica-se que as flutuações entre os totais mensais de agosto encontram-se dentro do intervalo do desvio padrão da série analisada e que, os meses que apresentam os menores valores precipitados estiveram sob a ação da componente negativa do fenômeno ENOS.

Na Figura 43 o gráfico apresenta a dinâmica das precipitações ocorridas nos meses de setembro ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

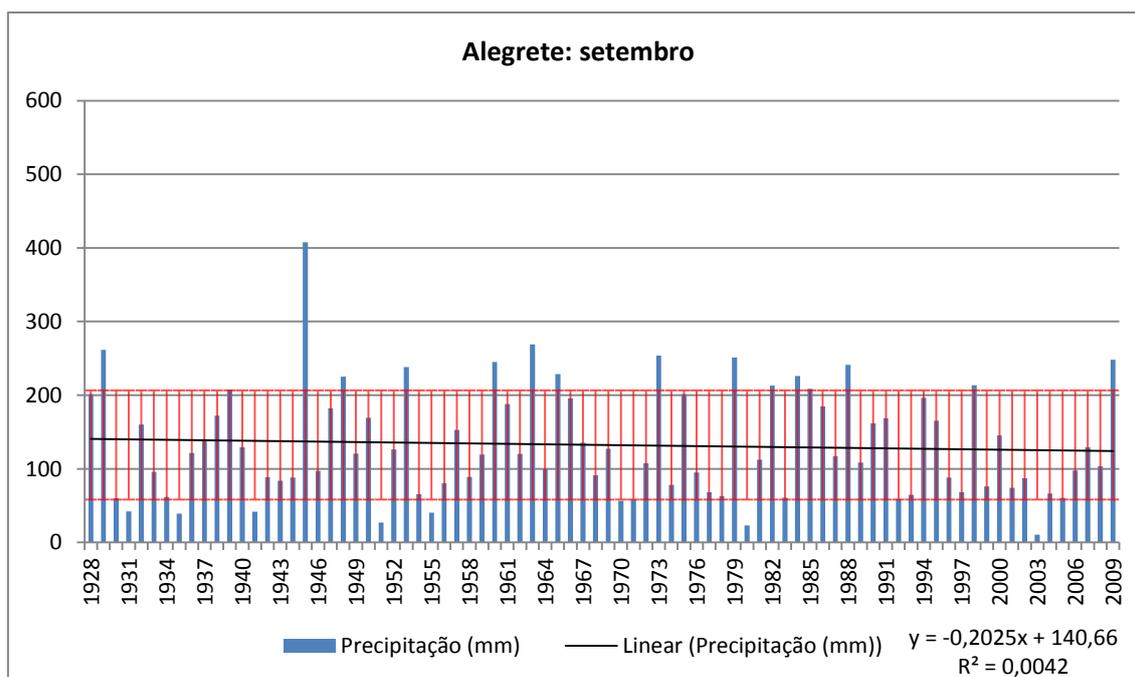


Figura 43. Totais mensais de precipitação dos meses de setembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

A Figura 43 mostra o gráfico que permite analisar as precipitações nos meses de setembro no decorrer dos 82 anos da série. É possível observar a tendência linear negativa da série promovendo a redução das precipitações em 16,4 mm para o conjunto de meses analisados. A aplicação do Teste de Mann-Kendall possibilitará se avaliar de forma significativa a qualidade da tendência negativa encontrada na série.

O gráfico, também, permite observar os anos em que os totais mensais de setembro apresentaram valores maiores ao limite do desvio padrão da série. Nos anos de 1929, 1939, 1945, 1948, 1953, 1960, 1963, 1965, 1973, 1979, 1982, 1984, 1985, 1988, 1998 e 2009 os valores mensais encontrados estiveram acima do limite superior do desvio padrão da série, sendo que, de acordo com CPTEC/INPE (2012) os anos de 1939 (forte), 1953 (fraco), 1963 (fraco), 1965 (moderado), 1973 (forte), 1979 (fraco), 1982 (forte), 1988 (moderado), 1998 (forte) e 2009 (fraco) estiveram sob a ação da componente positiva do fenômeno El Niño.

Já os anos de 1930, 1934, 1935, 1941, 1951, 1955, 1970, 1980, 1992 e 2003 por sua vez mostraram-se com valores abaixo do limite inferior do desvio padrão da série. Ao compará-los com os anos sob a ação do fenômeno La Niña, apenas os anos de 1951 (forte), 1955 (forte) e 1970 (moderado) estiveram sob a atuação da componente negativa do fenômeno ENOS.

Novamente, os baixos volumes mensais nos meses de setembro da série parecem ter mais relação com a própria variabilidade da série do que com a ação do fenômeno La Niña.

O gráfico da Figura 44 apresenta as precipitações ocorridas nos meses de outubro ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

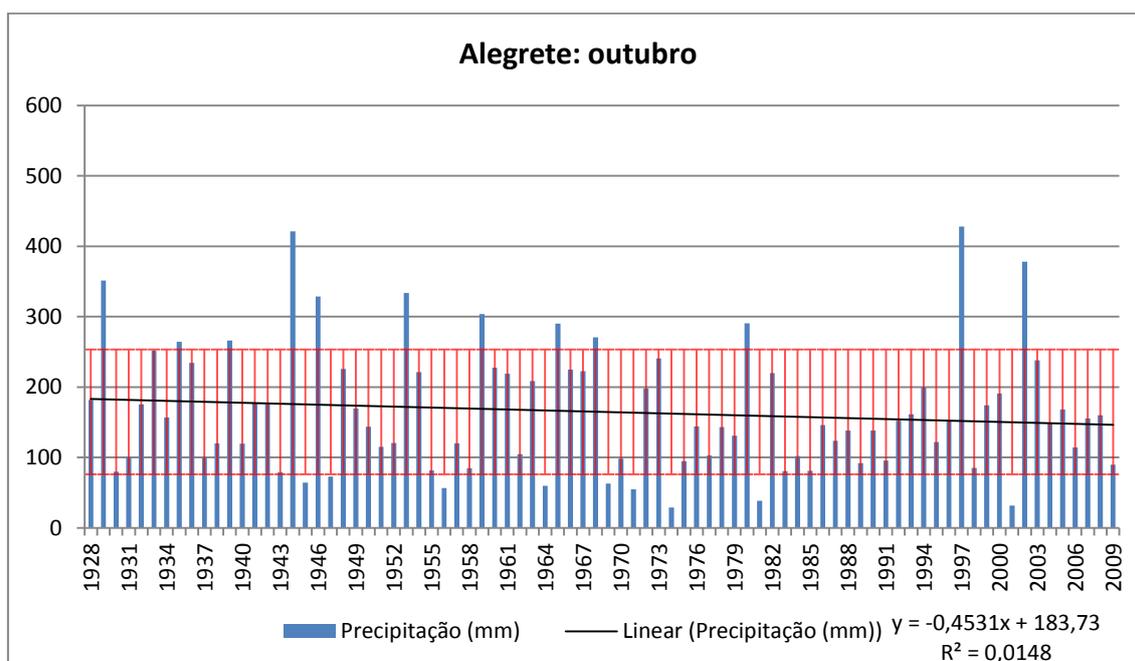


Figura 44. Totais mensais de precipitação dos meses de outubro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

O gráfico da Figura 44 possibilita a análise da dinâmica das precipitações nos meses de outubro permitindo se observar a tendência linear negativa da série. Essa tendência implica na redução de 36,7 mm nas precipitações ao longo dos 82 anos de dados. A aplicação do Teste de Mann-Kendall permitirá avaliar a tendência negativa encontrada, se ela é significativa ou não no conjunto de dados da série.

Comparando os valores máximos encontrados para os meses de outubro com o limite superior do desvio padrão da série é possível destacar os anos de 1929, 1935, 1939, 1944, 1946, 1953, 1959, 1965, 1968, 1980, 1997 e 2002 como os que tiveram outubro mais chuvoso. Ao se comparar esses anos com os sob a ação do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) observar-se que os anos de 1939 (forte), 1946 (moderado), 1953 (fraco), 1959 (forte), 1965 (moderado), 1968 (moderado), 1980 (fraco), 1997 (forte) e 2002 (moderado) mostraram-se sob o efeito da componente positiva do fenômeno ENOS.

A análise dos valores mínimos da série quando comparados ao limite inferior do desvio padrão permite se identificar os anos de 1945, 1947, 1955, 1956, 1964, 1969, 1971, 1974, 1981 e 2001 como os que apresentaram os meses de outubro mais secos da série. Ao se comparar os anos menos chuvosos com a componente negativa do fenômeno ENOS (CPTEC/INPE, 2012) têm-se a correspondência aos anos de 1955 (forte), 1956 (forte), 1964 (moderado), 1971 (moderado), 1974 (forte) e 2001 (moderado) com o fenômeno La Niña.

A Figura 45 mostra o gráfico com a série das precipitações ocorridas nos meses de novembro ao longo da série Alegrete (1929-2009), além da sua tendência e seu desvio padrão.

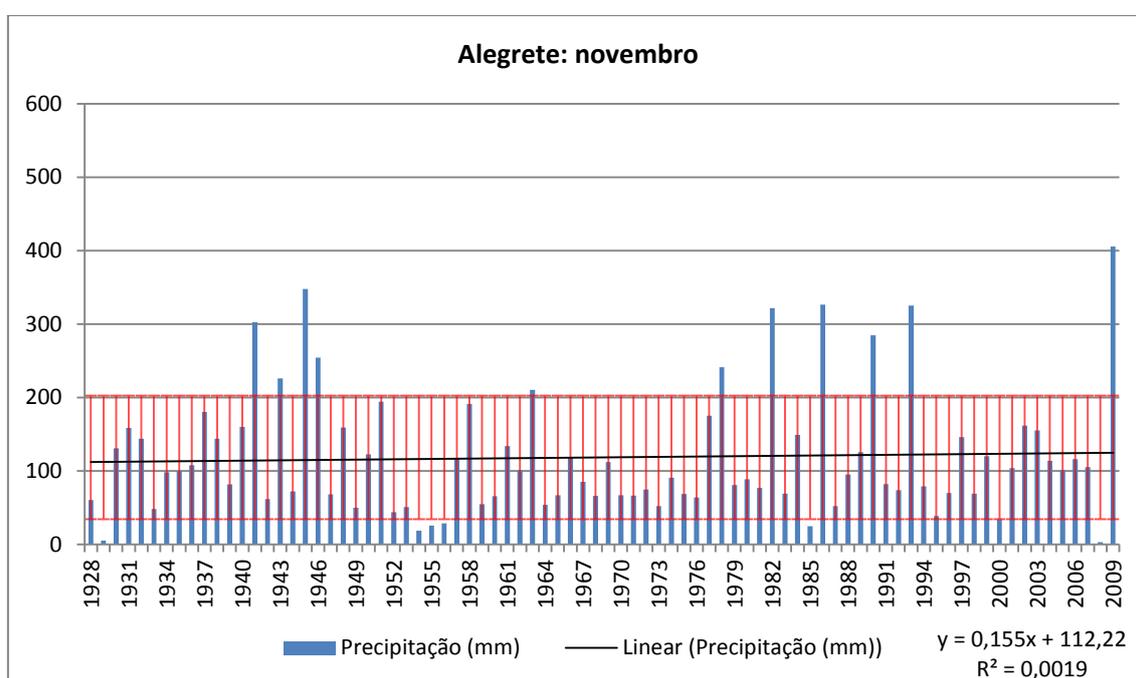


Figura 45. Totais mensais de precipitação dos meses de novembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

A Figura 45 apresenta o gráfico com a dinâmica das precipitações no decorrer dos meses de novembro na série Alegrete (1928-2009), onde, uma leve tendência linear positiva, promoveu um incremento de 12,6 mm nas precipitações no decorrer dos 82 anos da série. A avaliação qualitativa da tendência positiva encontrada será feita utilizando-se o Teste de Mann-Kendall.

A análise dos totais mensais, quando comparados ao limite superior do desvio padrão da série, permite reconhecer os anos em que ocorreram as maiores precipitações nos meses de novembro. Os meses de novembro dos anos de 1941, 1943, 1945, 1946, 1963, 1978, 1982, 1986, 1990, 1993 e 2009 foram marcados como sendo os que apresentaram os maiores volumes de precipitação na série.

Ao se comparar tais anos com aqueles sob ação do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) observa-se uma correspondência nos anos de 1941 (forte), 1946 (moderado), 1963 (moderado), 1978 (fraco), 1982 (forte), 1986 (moderado), 1990 (forte), 1993 (forte) e 2009 (fraco).

Por sua vez, ao analisar os eventos com os menores volumes mensais de precipitação para os meses de novembro e compará-los ao limite mínimo do desvio padrão têm-se os anos de 1929, 1954, 1955, 1956, 1985, 1995, 2000 e 2008. Comparando-os com os anos sob a ação da componente negativa do fenômeno ENOS se tem a correspondência de todos os anos encontrados, variando apenas a classificação de sua intensidade: 1929 (fraco), 1954 (forte), 1955 (forte), 1956 (forte), 1985 (fraco), 1995 (fraco), 2000 (moderado) e 2008 (forte) (CPTEC/INPE, 2012).

Dessa forma, verifica-se que nos meses de novembro da série analisada há influência do fenômeno ENOS (positiva e negativa) na ocorrência dos eventos máximos e mínimos de precipitação.

A Figura 46 mostra o gráfico com a série das precipitações ocorridas nos meses de dezembro ao longo da série Alegrete (1929-2009) além da sua tendência e seu desvio padrão.

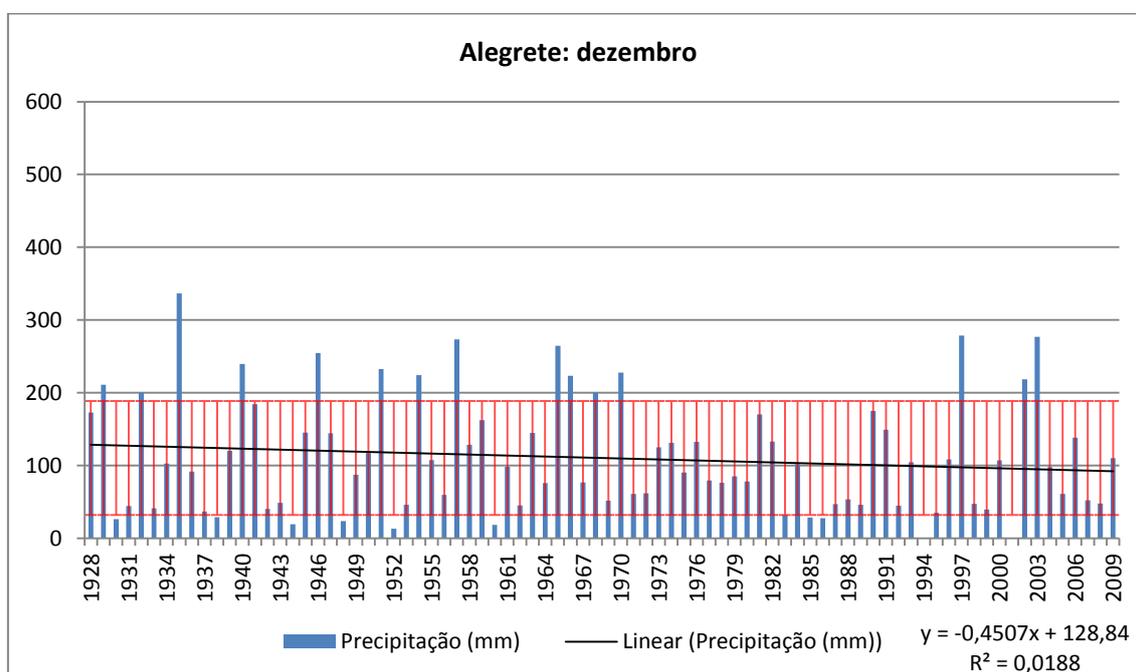


Figura 46. Totais mensais de precipitação dos meses de dezembro da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

A Figura 46 permite a análise da dinâmica das precipitações nos meses de dezembro identificando sua tendência linear negativa ao longo da série. Tal tendência encontrada implica na redução de 36,5 mm nas precipitações nos 82 anos da série. A

aplicação do Teste de Mann-Kendall irá avaliar qualitativamente se tal tendência negativa da série é significativa ou não.

Comparando-se os valores máximos encontrados com o limite superior do desvio padrão é possível destacar os anos de 1929, 1932, 1935, 1940, 1946, 1951, 1954, 1957, 1965, 1966, 1968, 1970, 1997, 2002 e 2003 como os que tiveram os meses de dezembro mais chuvosos. Ao se comparar os anos da série com os anos sob a ação do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) verifica-se a correspondência entre os anos de 1932 (moderado), 1940 (forte), 1946 (moderado), 1951 (fraco), 1957 (forte), 1965 (moderado), 1966 (moderado), 1968 (moderado), 1970 (moderado), 1997 (forte), 2002 (moderado) e 2003 (moderado).

Já quando analisados os valores mínimos da série e o limite inferior do desvio padrão é possível se destacar os anos de 1930, 1937, 1944, 1948, 1952, 1960, 1985, 1986, 1994, 1995 e 2001 como os anos que tiveram os menores valores para os meses de dezembro. Quando comparados com os anos sob a ação do fenômeno La Niña (CPTEC/INPE, 2012), observa-se a correspondência apenas com os anos de 1985 (fraco), 1995 (fraco) e 2001 (moderado).

Com relação às tendências lineares encontradas nas séries mensais analisadas, foram aplicados Testes de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975) como forma de se avaliar suas significâncias. Para o teste MK devemos aceitar a hipótese H_0 , de que a série é estacionária e que não há tendência nem positiva nem negativa em um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$), sempre que $-1,96 < MK < +1,96$ (MARENGO e ALVES, 2005; FOLHES e FISCH, 2006).

A Tabela 11 mostra os valores de MK encontrados após a aplicação do teste e a significância encontrada.

Tabela 11: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	1,25	Negativa NS
Fevereiro	0,84	Positiva NS
Março	0,93	Negativa NS
Abril	0,10	Negativa NS
Maiο	1,85	Negativa NS
Junho	1,00	Negativa NS
Julho	0,60	Negativa NS
Agosto	0,88	Negativa NS
Setembro	0,40	Negativa NS
Outubro	0,92	Negativa NS
Novembro	0,44	Positiva NS
Dezembro	0,87	Negativa NS

NS = tendência não significativa.

As informações na Tabela 11 permitem verificar que apenas as séries dos meses de fevereiro e novembro apresentaram tendência positiva. Já as demais séries demonstraram tendência negativa. No entanto, considerando o nível de significância proposto (95%) em todas as séries a hipótese H_0 foi aceita, ou seja, que as tendências encontradas não podem ser consideradas como significativas para mudanças de comportamento.

Dessa forma, em função dos coeficientes encontrados pode-se afirmar que as séries mensais analisadas não apresentam tendência nem positiva nem negativa, e que o comportamento anômalo das precipitações podem ser considerado como consequência da aleatoriedade da série e não de um comportamento constante.

4.1.1.4.2 Análise das frequências das precipitações diárias em Alegrete

A análise dos dias com precipitações $\geq 1, 10, 20, 30, 50, 80, 100$ mm, além dos dias secos (chuvas < 1 mm), maior período seco no mês e maior período seco no ano, permitem conhecer a dinâmica das chuvas de forma detalhada identificando sua ocorrência, frequência, além da tendência no período.

a) Precipitações ≥ 1 mm.

A análise dos dias com chuvas ≥ 1 mm pode ser feita no gráfico da Figura 47 Definido como o valor mínimo para se considerar como “dia com chuva”, o gráfico permite reconhecer a quantidade de dias com chuvas, ano a ano, para a série Alegrete (1928-2009).

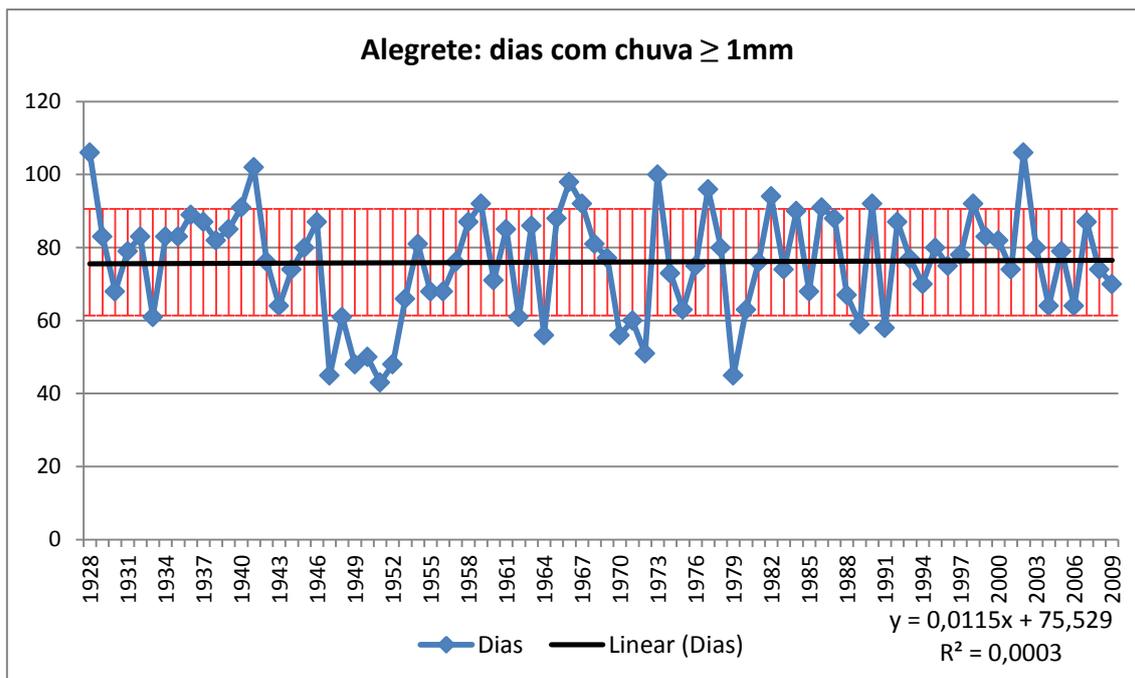


Figura 47. Total anual de dias com chuvas ≥ 1 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Observa-se no gráfico (Figura 47) que, embora no decorrer da série, os anos de 1929, 1941, 1959, 1966, 1967, 1973, 1977, 1982, 1986, 1990, 1998 e 2002 a quantidade de dias de chuva ≥ 1 mm tenha ficado acima de seu desvio padrão, eles praticamente coincidem com os anos sob efeito do fenômeno ENOS na fase positiva (El Niño), com exceção aos anos de 1929 e 1967 (CPTEC/INPE, 2012).

Da mesma maneira, ao se analisar os anos em que a quantidade de dias com chuvas ≥ 1 mm ficaram abaixo de seu desvio padrão, verifica-se que os anos de 1947, 1949, 1950, 1951, 1952, 1962, 1964, 1970, 1971, 1972, 1979, 1989 e 1991, igualmente, coincidem com os anos sob efeito do fenômeno ENOS na sua fase negativa (La Niña), com exceção aos anos de 1947, 1952, 1962, 1972, 1979 e 1991.

Observa-se que a maior parte do conjunto dos dados da série Alegrete (1928-2009) encontra-se dentro do intervalo de confiança de seu desvio padrão e que, sua irregularidade pode ser interpretada como uma variação normal, no conjunto dos dados.

A baixa inclinação da reta de regressão, também, pode ser considerada como um indicativo de que não há tendência a mudanças, reforçando a ideia de que o conjunto de dias com chuvas ≥ 1 mm não tenha sofrido modificações na sua frequência ao longo do período.

Ao aplicar-se o Teste de Mann-Kendall para se avaliar qualitativamente se a série apresentou indicativos de mudança (nível de confiança de 95%), verificou-se pelo valor de **MK= 0,03**, que os resultados se encontram dentro do intervalo de aceitação da hipótese H_0 (de que não há tendência de modificação na série), demonstrando que a tendência não é significativa.

A Figura 48 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 1 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque deve ser feito aos meses de:

- Janeiro de 1976 (16 dias com chuvas ≥ 1 mm);
- Abril de 1941 (16 dias com chuvas ≥ 1 mm), de 1956 (14 dias com chuvas ≥ 1 mm) e de 2002 (15 dias com chuvas ≥ 1 mm);
- Maio de 1984 (14 dias com chuvas ≥ 1 mm);
- Julho de 1973 (21 dias com chuvas ≥ 1 mm) e de 1977 (14 dias com chuvas ≥ 1 mm);
- Setembro de 1928 (14 dias com chuvas ≥ 1 mm) e;
- Outubro de 2002 (19 dias com chuvas ≥ 1 mm)

Esses meses, nos respectivos anos, apresentaram a maior quantidade de dias com chuvas ≥ 1 mm e, de acordo com informações de CPTEC (2012) apenas os episódios de setembro de 1928, abril de 1976 e maio de 1984 não teriam associação direta com a participação do fenômeno El Niño. Nos demais episódios, todos estariam sob efeito da componente positiva do fenômeno ENOS.

Os gráficos da Figura 48, ainda, permitem verificar as tendências lineares dos meses com chuvas ≥ 1 mm. Observa-se que os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados nos meses de fevereiro ($R^2=0,0113$) com leve tendência positiva da reta, abril ($R^2=0,0365$) com tendência positiva da reta e, junho ($R^2=0,0356$) com tendência negativa da reta de regressão.

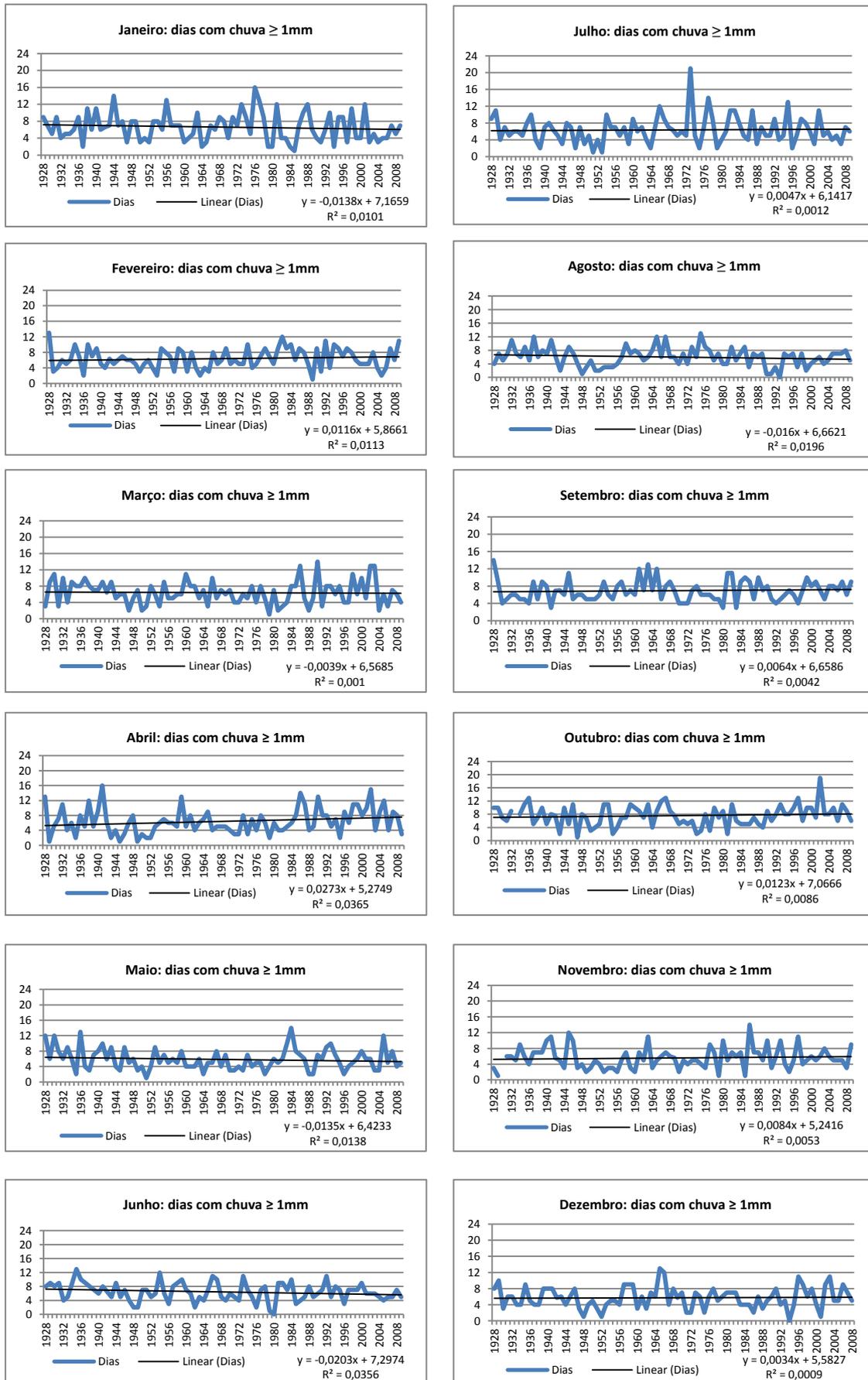


Figura 48. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 1 mm em Alegrete.

Ao aplicar-se o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 1 mm (Tabela 12), verificou-se que das tendências encontradas nos conjuntos mensais de dados, apenas a do mês de abril (**MK=2,08**) apresentou significativa mudança. Esses valores sugerem, com base estatística, que nos meses de abril, as chuvas fracas tornaram-se mais frequentes e com tendência de aumento, no decorrer do século XX.

Tabela 12: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 1 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 1 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,97	Negativa NS
Fevereiro	1,12	Positiva NS
Março	1,05	Negativa NS
Abril	2,08*	Positiva significativa
Maio	0,91	Negativa NS
Junho	1,87	Negativa NS
Julho	0,14	Positiva NS
Agosto	0,91	Negativa NS
Setembro	1,17	Positiva NS
Outubro	0,82	Positiva NS
Novembro	1,04	Positiva NS
Dezembro	0,08	Positiva NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.

NS = tendência não significativa.

b) Precipitações ≥ 10 mm.

O gráfico da Figura 49 permite que se analise a frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 10 mm.

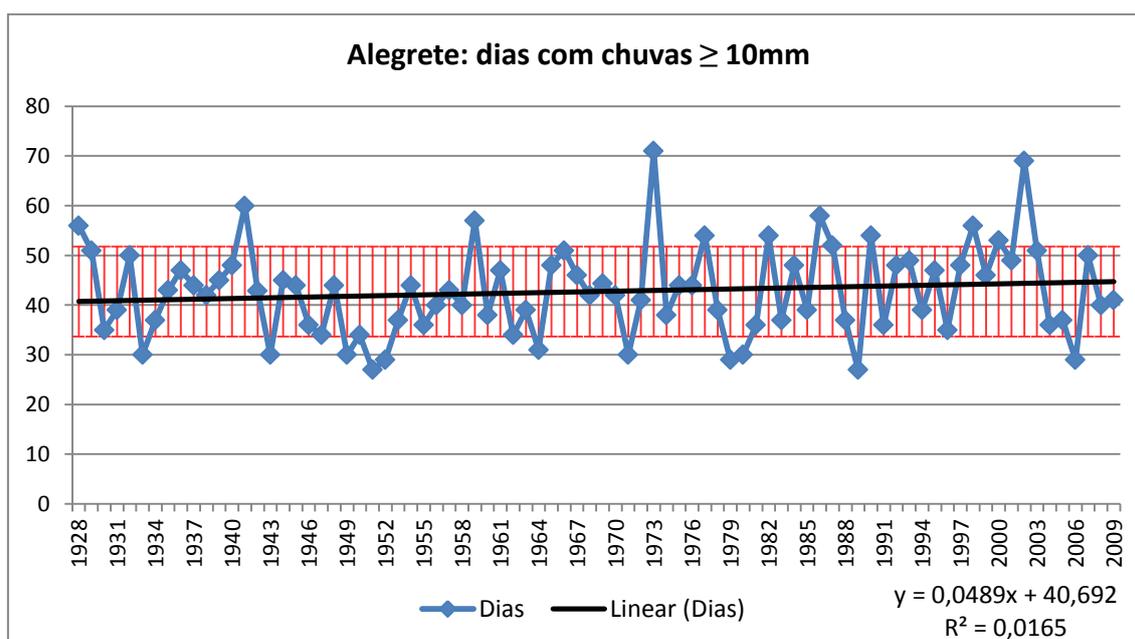


Figura 49. Total anual de dias com chuvas ≥ 10 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

É possível se observar no gráfico da Figura 49 que no decorrer da série de dados os anos de 1928, 1941, 1959, 1973, 1977, 1982, 1986, 1990, 1998, 2000 e 2002 apresentaram quantidade de dias com chuvas ≥ 10 mm acima do seu desvio padrão. De acordo com as informações do CPTEC/INPE (2012), desses anos, apenas os de 1928 e 2000 não estavam sob a ação do fenômeno El Niño.

Já em relação aos anos de 1933, 1943, 1949, 1951, 1952, 1964, 1971, 1979, 1980, 1989 e 2006, que apresentaram valores abaixo do desvio padrão da série, o CPTEC/INPE (2012) confirma que apenas os anos de 1949, 1951, 1964, 1971 e 1989 estiveram sob o efeito do fenômeno La Niña.

Embora se tenha encontrado uma tendência positiva para o conjunto de dados, verifica-se que a irregularidade encontrada nos dados enquadra-se dentro de um intervalo normal de variabilidade da própria série.

Quando avaliada a tendência positiva encontrada na série por meio do Teste de Mann-Kendall num nível de confiança de 95% os resultados mostraram um **MK=0,93**, que determina a aceitação da hipótese H_0 , ou seja, de que não houve modificação significativa nos dados da série.

Já a Figura 50 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 10 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque deve ser dado aos meses de:

- Janeiro de 1956 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm) e 1998 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Abril de 1941 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm), de 1986 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm), de 1987 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm), 1990 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm) e de 1998 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Maio de 1984 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Junho de 1973 (15 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Setembro de 1945 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Outubro de 2002 (13 dias com chuvas ≥ 10 mm);
- Novembro de 1986 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm) e;
- Dezembro de 1965 (10 dias com chuvas ≥ 10 mm).

Esses meses, nos respectivos anos, apresentaram a maior quantidade de dias com chuvas ≥ 10 mm e, segundo informações do CPTEC/INPE (2012), apenas os episódios de setembro de 1945, janeiro de 1956 e maio de 1984 não teriam associação direta com a participação do fenômeno El Niño. Nos demais, todos estariam sob o efeito da componente positiva do fenômeno ENOS.

Os gráficos da Figura 50 permitem ainda verificar as tendências lineares dos meses com chuvas ≥ 10 mm. Observa-se que os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados nos meses de fevereiro ($R^2=0,0332$) com tendência positiva da reta, abril ($R^2=0,0531$) com tendência positiva da reta e, maio ($R^2=0,0265$) com tendência negativa da reta de regressão.

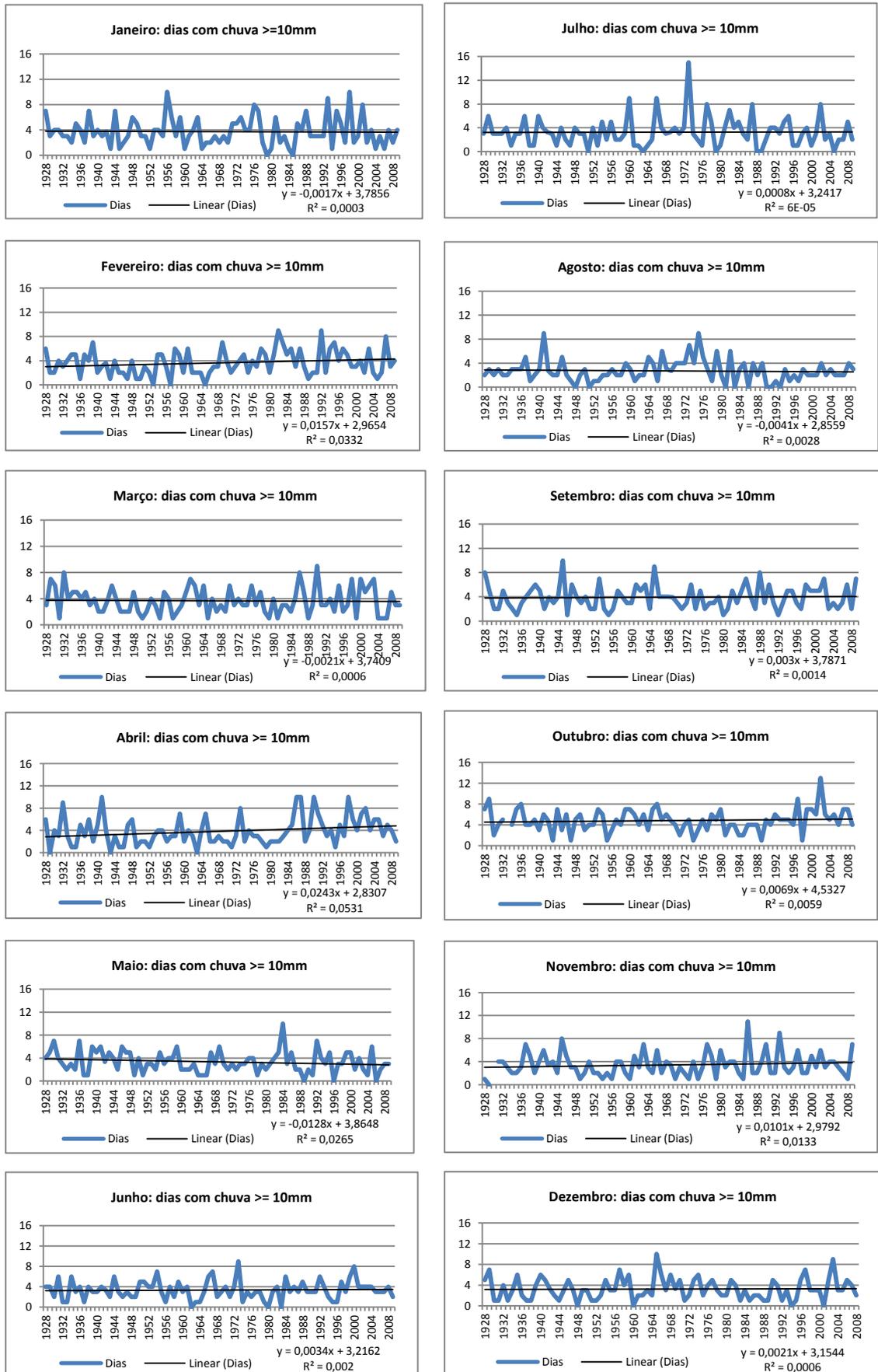


Figura 50. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 10 mm em Alegrete.

Ao aplicar-se o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 10 mm (Tabela 13) verificou-se que das tendências encontradas nos conjuntos mensais de dados apenas o mês de abril (**MK=2,38**) apresentou valores com mudança significativa. Da mesma forma, como no caso anterior, os meses de abril demonstraram terem ficado mais úmidos graças às chuvas de baixa intensidade.

Tabela 13: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 10 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 10 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,64	Negativa NS
Fevereiro	1,48	Positiva NS
Março	0,57	Negativa NS
Abril	2,38*	Positiva significativa
Maio	1,68	Negativa NS
Junho	0,40	Positiva NS
Julho	0,26	Positiva NS
Agosto	0,21	Negativa NS
Setembro	0,56	Positiva NS
Outubro	0,47	Positiva NS
Novembro	0,76	Positiva NS
Dezembro	0,13	Positiva NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

c) Precipitações ≥ 20 mm.

O gráfico da Figura 51 permite que se analise a frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 20 mm.

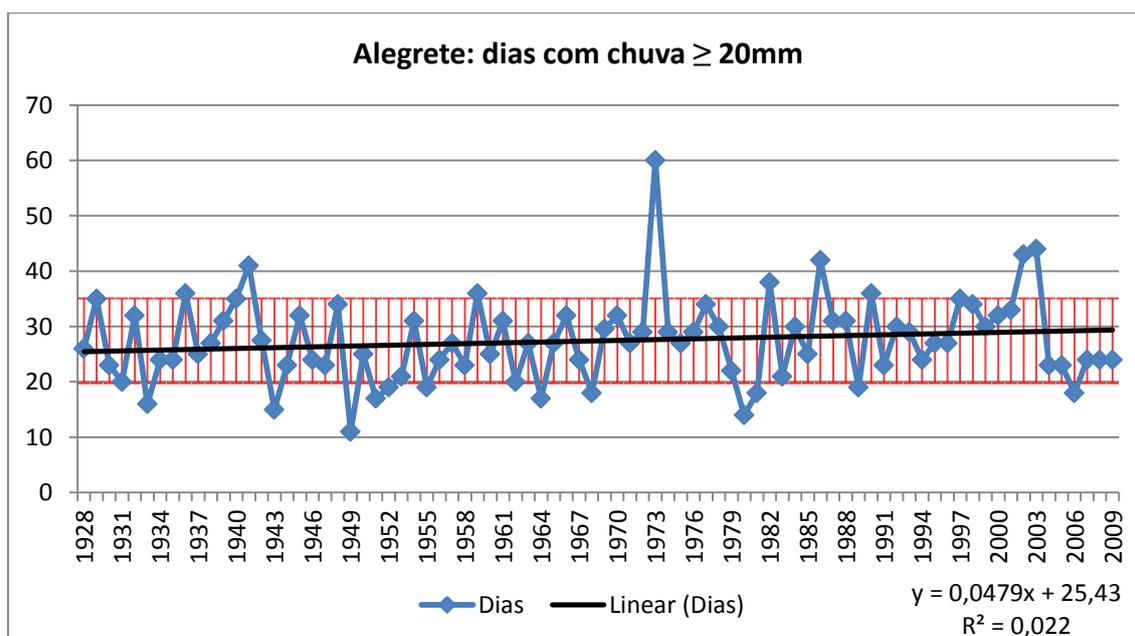


Figura 51. Total anual de dias com chuvas ≥ 20 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Verifica-se no gráfico da Figura 51 que ao longo da série de dados os anos de 1941, 1959, 1973, 1982, 1986, 1990, 2002 e 2003 apresentaram quantidade de dias com chuvas ≥ 20 mm acima do limite superior de seu desvio padrão. Informações do CPTEC/INPE (2012) descrevem que esses anos estiveram diretamente sob o efeito da componente positiva do fenômeno ENOS (El Niño).

Já em relação aos anos de 1933, 1943, 1949, 1951, 1952, 1964, 1968, 1980, 1981, 1989 e 2006, que apresentaram valores abaixo do limite inferior do desvio padrão da série e, segundo o CPTEC/INPE (2012), apenas os anos de 1949, 1951, 1964 e 1989 estiveram sob o efeito da componente negativa do fenômeno ENOS (La Niña).

Mesmo tendo sido encontrada uma tendência positiva para o conjunto de dados, verifica-se que a irregularidade existente na série enquadra-se dentro de um intervalo de variabilidade aceitável. No entanto, quando avaliada a tendência positiva encontrado na série por meio do Teste de Mann-Kendall (nível de confiança de 95%) os resultados mostraram um **MK=1,19**, que determina a aceitação da hipótese H_0 (sem modificação no comportamento dos dados da série).

A Figura 52 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 20 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque deve ser dado aos meses de:

- Janeiro de 1956 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm) e 1993 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Abril de 1986 (10 dias com chuvas ≥ 20 mm), de 1990 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm) e de 1998 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Junho de 1973 (oito dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Julho de 1973 (10 dias com chuvas ≥ 20 mm) e 1987 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Setembro de 1945 (nove dias com chuvas ≥ 20 mm) e 1988 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Outubro de 1929 (nove dias com chuvas ≥ 20 mm), 1997 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm) e 2002 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm);
- Novembro de 1945 (oito dias com chuvas ≥ 20 mm) e;
- Dezembro de 1997 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm) e 2003 (sete dias com chuvas ≥ 20 mm).

Esses meses, nos respectivos anos, apresentaram a maior quantidade de dias com chuvas ≥ 20 mm e, de acordo com informações do CPTEC/INPE (2012), apenas os episódios de outubro de 1929, setembro de 1945, novembro de 1945 e janeiro de 1956 não teriam associação direta com a participação do fenômeno El Niño. Os demais estariam sob o efeito da componente positiva do fenômeno ENOS.

Os gráficos da Figura 52 permitem ainda verificar as tendências lineares dos meses com chuvas ≥ 20 mm. Observa-se que os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados nos meses de fevereiro ($R^2=0,0472$) com tendência positiva da reta, abril ($R^2=0,0288$) com tendência positiva da reta, maio ($R^2=0,0129$) com tendência negativa da reta e outubro ($R^2=0,0157$) com tendência positiva da reta de regressão.

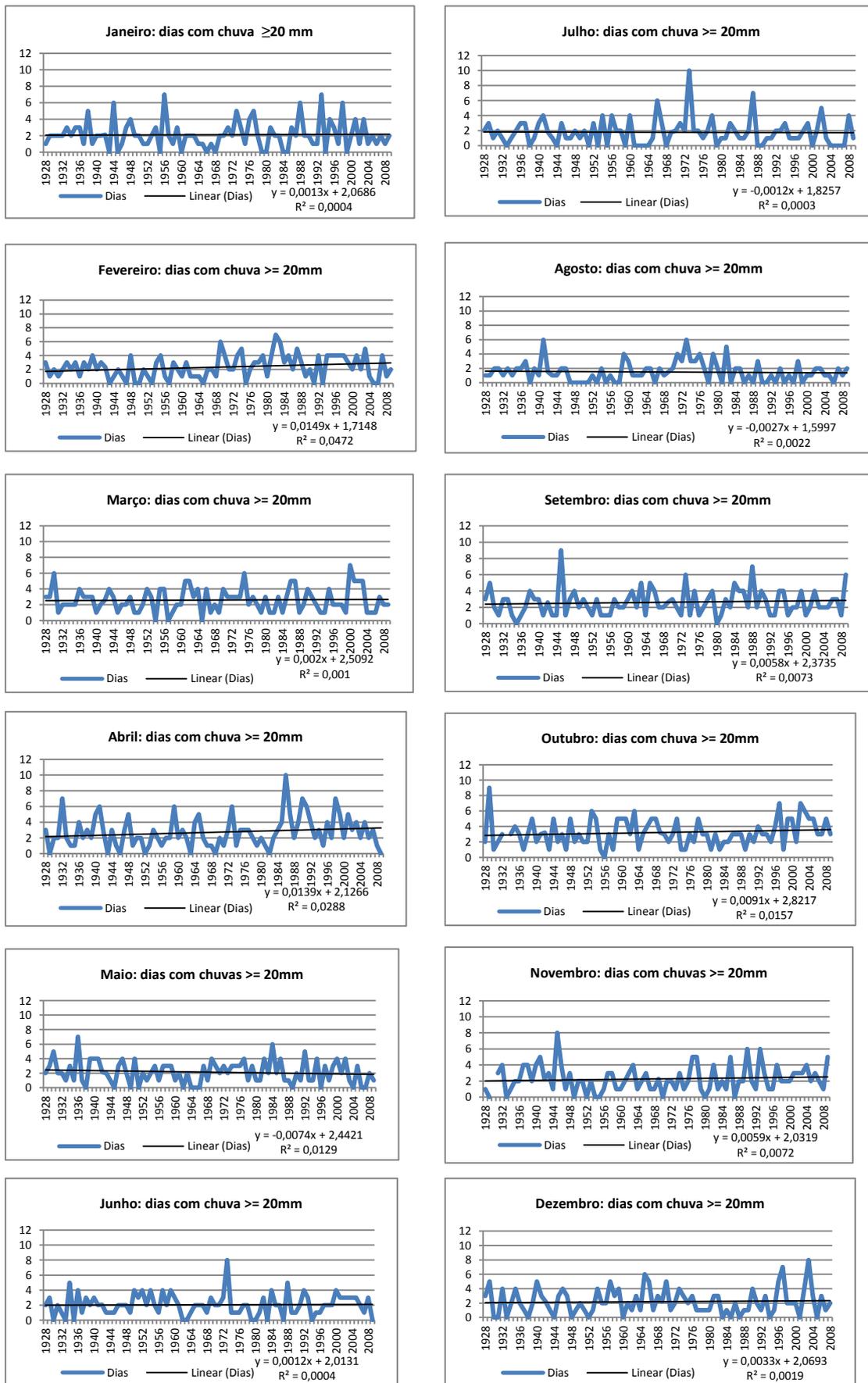


Figura 52. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 20 mm em Alegrete.

Ao aplicar-se o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 20 mm (Tabela 14) verificou-se que apenas o mês fevereiro apresentou tendência significativa (**MK=1,99**) para mudança.

Tabela 14: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 20 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 20 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,22	Positiva NS
Fevereiro	1,99*	Positiva significativa
Março	0,15	Positiva NS
Abril	1,64	Positiva NS
Mai	1,01	Negativa NS
Junho	0,30	Positiva NS
Julho	0,77	Negativa NS
Agosto	0,37	Negativa NS
Setembro	1,01	Positiva NS
Outubro	1,52	Positiva NS
Novembro	1,08	Positiva NS
Dezembro	0,04	Positiva NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

d) Precipitações ≥ 30 mm.

O gráfico da Figura 53 permite que se analise a frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 30 mm.

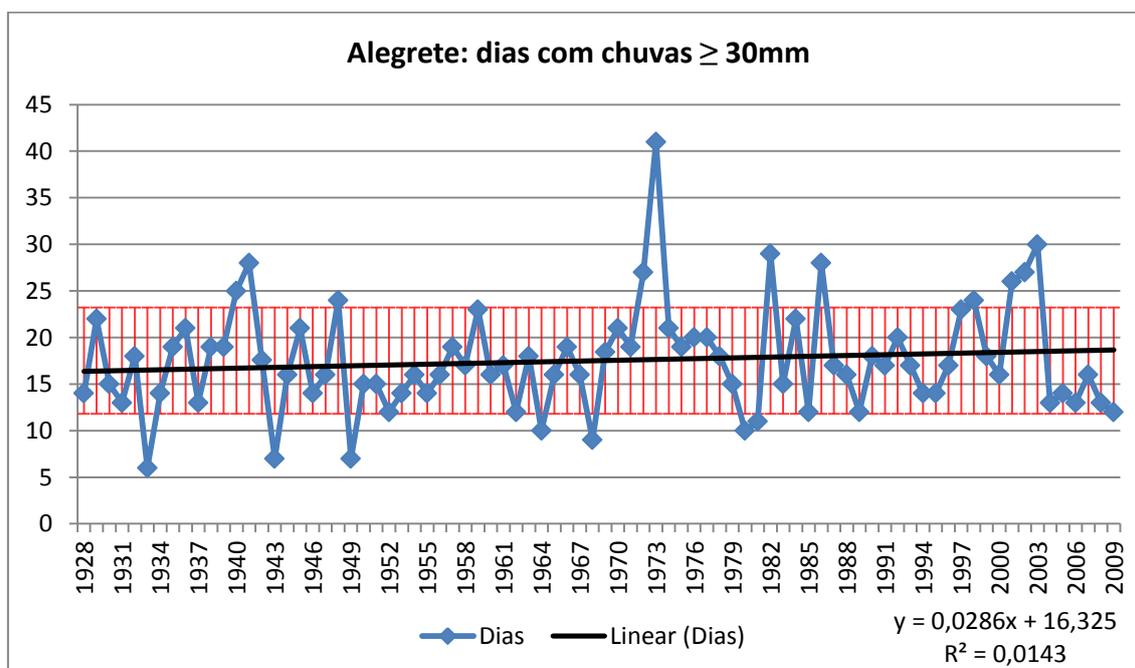


Figura 53. Total anual de dias com chuvas ≥ 30 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

É possível observar no gráfico da Figura 53 que os anos de 1940, 1941, 1948, 1973, 1982, 1986, 1998, 2001, 2002 e 2003 apresentaram quantidade de dias com chuvas ≥ 30 mm acima do limite superior de seu desvio padrão e, de acordo com informações disponíveis em CPTEC/INPE (2012), apenas os anos de 1948 e de 2001 não estiveram sob a ação direta do fenômeno ENOS em sua fase positiva.

Por sua vez, já os anos de 1933, 1943, 1949, 1964, 1980 e 1981 mostraram valores que ficaram abaixo do limite inferior do desvio padrão e, de acordo com CPTEC/INPE (2012), apenas os anos de 1933, 1943 e 1968 estiveram sob ação do fenômeno La Niña.

Embora tenha se encontrado tendência positiva para o conjunto de dados (dias com chuvas ≥ 30 mm), a maior parte encontra-se no intervalo de confiança do desvio padrão caracterizando uma variabilidade própria da série.

Avaliada a tendência positiva encontrada na série por meio do Teste de Mann-Kendall a um nível de significância de 95%, os resultados mostraram um **MK=0,64** o qual confirma a aceitação da hipótese H_0 (sem modificação significativa dos dados).

A Figura 54 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 30 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque deve ser dado aos meses de:

- Janeiro de 1956 (sete dias com chuvas ≥ 30 mm);
- Março de 1975 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm) e 2000 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm);
- Abril de 1986 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm) e 1998 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm);
- Maio de 1936 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm);
- Julho de 1973 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm);
- Setembro de 1945 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm) e,
- Novembro de 1945 (seis dias com chuvas ≥ 30 mm) e;

Esses meses, nos respectivos anos, apresentaram a maior quantidade de dias com chuvas ≥ 30 mm e, de acordo com informações do CPTEC/INPE (2012), apenas os episódios de abril de 1986 e 1998 é que teriam associação direta com a

participação do fenômeno El Niño. Os demais eventos não estariam sob ação da componente positiva do fenômeno ENOS.

Os gráficos da Figura 54 ainda permitem verificar as tendências lineares dos meses com chuvas ≥ 30 mm. Observa-se que os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados nos meses de fevereiro ($R^2=0,0283$) com tendência positiva da reta, março ($R^2=0,0203$) com tendência positiva da reta, abril ($R^2=0,022$) com tendência positiva da reta e maio ($R^2=0,0138$) com tendência negativa da reta de regressão.

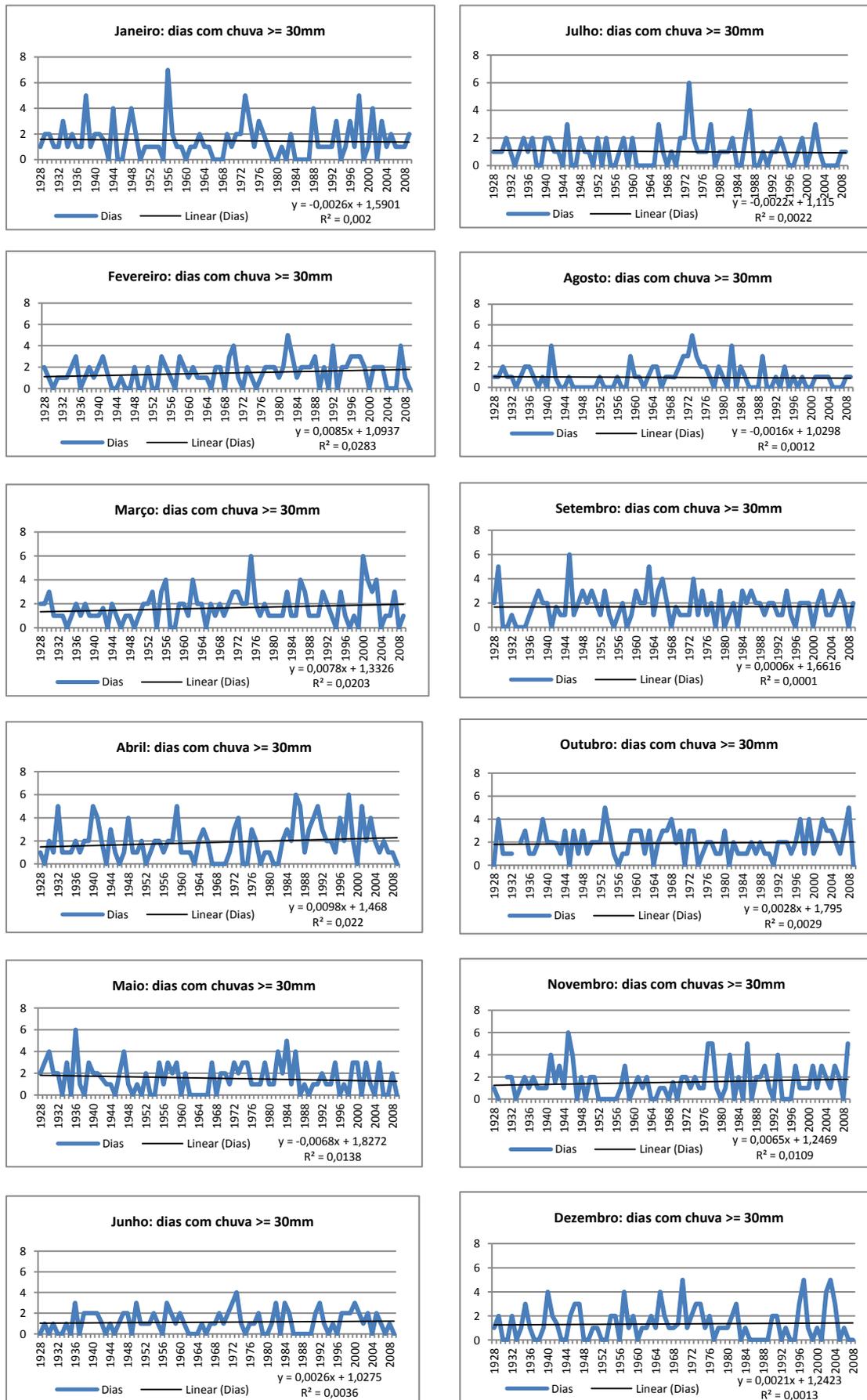


Figura 54. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 30 mm em Alegrete.

Ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 30 mm (Tabela 15) verificou-se, igualmente, que nenhuma das tendências encontradas nos conjuntos mensais de dados apresentou significativa de mudança.

Embora não tenha se observado nenhum resultado significativo para mudanças de comportamento, os meses de fevereiro, março, abril, junho, setembro, outubro, novembro e dezembro sugerem tendências de aumento no decorrer do século XX.

Tabela 15: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 30 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 30 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,62	Negativa NS
Fevereiro	1,64	Positiva NS
Março	0,71	Positiva NS
Abril	1,24	Positiva NS
Mai	1,12	Negativa NS
Junho	0,53	Positiva NS
Julho	0,87	Negativa NS
Agosto	0,46	Negativa NS
Setembro	0,69	Positiva NS
Outubro	0,43	Positiva NS
Novembro	0,88	Positiva NS
Dezembro	0,22	Positiva NS

NS = tendência não significativa.

e) Precipitações ≥ 50 mm.

O gráfico da Figura 55 permite que se analise a frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 50 mm.

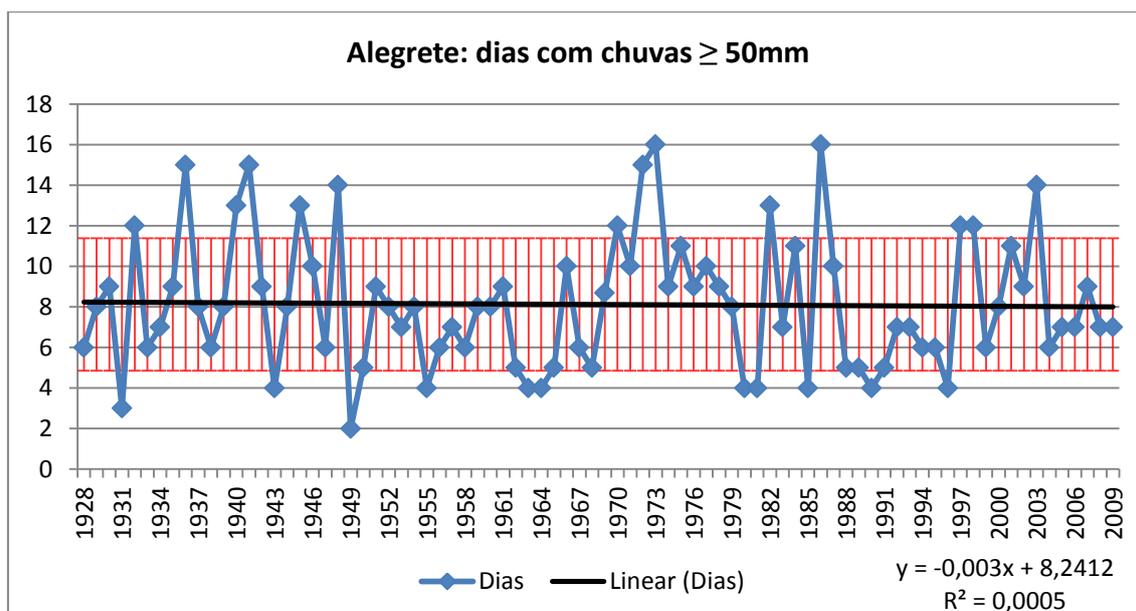


Figura 55. Total anual de dias com chuvas ≥ 50 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Observa-se no gráfico (Figura 55) que os anos de 1932, 1936, 1940, 1941, 1945, 1948, 1970, 1972, 1973, 1982, 1986, 1997, 1998 e 2003 apresentaram quantidade de dias com chuvas ≥ 50 mm acima do limite superior do desvio padrão da série e, segundo CPTEC/INPE (2012), apenas os anos de 1936, 1945 e 1948 não estiveram sob a ação direta da componente positiva do fenômeno ENOS.

Já os anos de 1931, 1943, 1949, 1955, 1963, 1964, 1980, 1981, 1985, 1990 e 1996 mostraram valores que ficaram abaixo do limite inferior do desvio padrão da série e, segundo CPTEC/INPE (2012), apenas os anos de 1949, 1955, 1964, 1985 e 1996 estiveram sob a ação do fenômeno La Niña.

A pequena tendência negativa, representada pelo um baixo coeficiente de determinação ($R^2=0,0005$) permite constatar que a dinâmica apresentada pela série é produto de sua própria variabilidade.

A fim de se constatar isso foi aplicado na série o Teste de Mann-Kendall num nível de significância de 95%, onde o resultado (**MK=0,15**) confirmou a aceitação da hipótese H_0 .

A Figura 56 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 50 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque para os meses de:

- Março de 1975 (quatro dias com chuvas ≥ 50 mm) e 2000 (cinco dias com chuvas ≥ 50 mm);
- Abril de 1932 (cinco dias com chuvas ≥ 50 mm), 1940 (quatro dias com chuvas ≥ 50 mm) e 1998 (seis dias com chuvas ≥ 50 mm);
- Maio de 1936 (quatro dias com chuvas ≥ 50 mm) e 1986 (cinco dias com chuvas ≥ 50 mm) e,
- Novembro de 1978 (quatro dias com chuvas ≥ 50 mm) e 2009 (cinco dias com chuvas ≥ 50 mm).

Tais meses, em seus respectivos anos, apresentaram a maior quantidade de dias com chuvas ≥ 50 mm e, ao se compararem com as informações do CPTEC/INPE (2012), apenas os episódios de maio de 1936 e março de 2000 não teriam associação direta com a participação do fenômeno El Niño.

Os gráficos da Figura 56 ainda possibilitam verificar as tendências lineares dos meses com chuvas ≥ 50 mm. Observa-se que os maiores coeficientes de determinação (R^2) foram encontrados nos meses de janeiro ($R^2=0,0478$) com tendência negativa da reta, março ($R^2=0,0403$) com tendência positiva da reta e novembro ($R^2=0,0237$) com tendência positiva da reta de regressão.

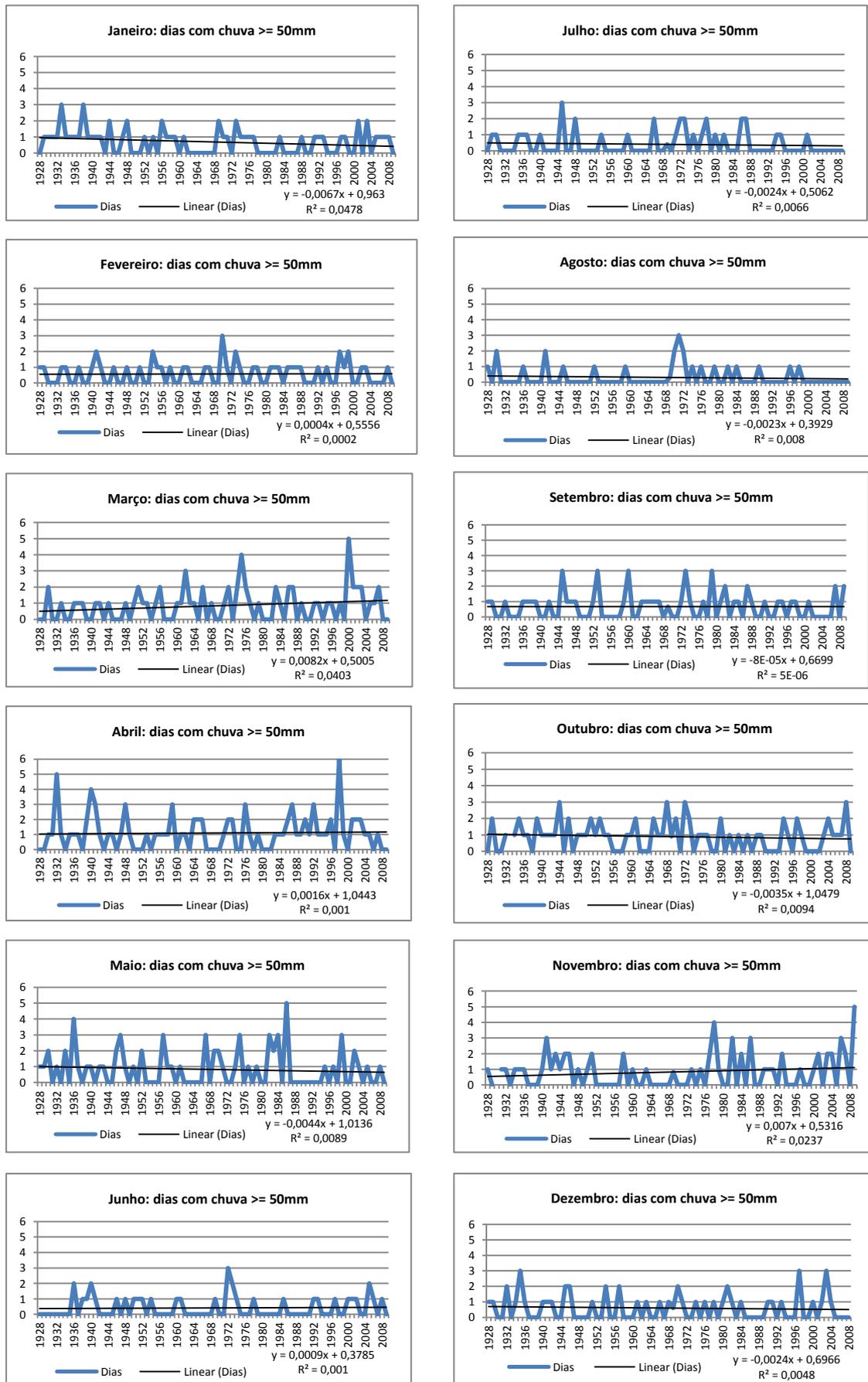


Figura 56. Tendências mensais de dias com chuvas \geq 50 mm em Alegrete.

Ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 50 mm (Tabela 16) verificou-se que apenas os meses de janeiro (**MK=2,12**) demonstraram tendência negativa significativa para mudança.

Tabela 16: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 50 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 50 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	2,12*	Negativa significativa
Fevereiro	0,05	Positiva NS
Março	1,82	Positiva NS
Abril	0,66	Positiva NS
Mai	1,51	Negativa NS
Junho	0,49	Positiva NS
Julho	1,01	Negativa NS
Agosto	0,85	Negativa NS
Setembro	0,17	Neutra
Outubro	1,23	Negativa NS
Novembro	0,49	Positiva NS
Dezembro	0,72	Negativa NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

f) Precipitações ≥ 80 mm.

O gráfico da Figura 57 permite a análise da frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 80 mm.

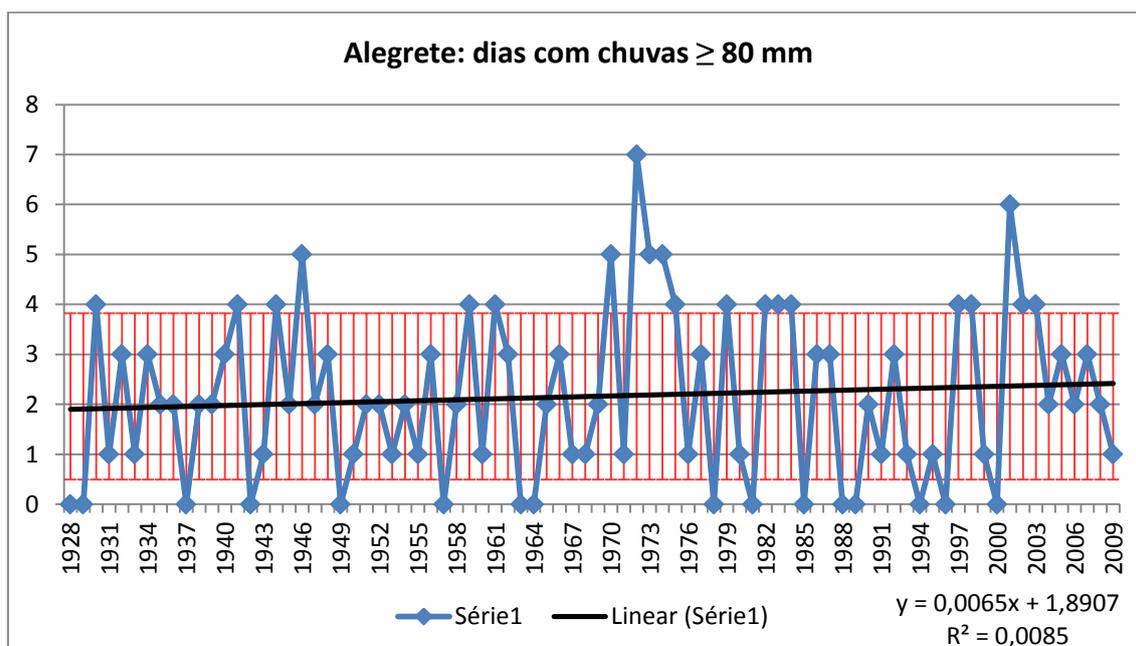


Figura 57. Total anual de dias com chuvas ≥ 80 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Pode-se observar no gráfico da Figura 57 que os anos de 1930, 1941, 1944, 1946, 1959, 1961, 1970, 1972, 1973, 1979, 1982, 1983, 1984, 1997, 1998, 2001, 2002 e 2003 apresentaram quantidades de dias com chuvas ≥ 80 mm acima do limite superior do desvio padrão da série. Ao comparar os eventos com informações disponíveis em CPTEC/INPE (2012) verifica-se que apenas os anos de 1930, 1944, 1961, 1984 e 2001 não estiveram sob a ação direta do fenômeno El Niño.

Verifica-se na série analisada que a excepcionalidade diária das chuvas (superiores a 80 mm) apresenta uma forte associação às atividades da componente positiva do fenômeno ENOS.

Já os anos de 1929, 1937, 1942, 1949, 1957, 1963, 1964, 1978, 1981, 1985, 1988, 1989, 1994, 1996 e 2000 demonstraram valores abaixo do limite inferior do desvio padrão e, de acordo com informações do CPTEC/INPE (2012), os anos de 1929, 1949, 1964, 1985, 1988, 1989, 1996 e 2000 correspondem aos sob a ação da componente negativa do fenômeno ENOS (La Niña).

Embora tenha se encontrado uma tendência positiva no decorrer da série, ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall (nível de significância de 95%) os resultados confirmaram a hipótese H_0 com um **MK=0,68**, ou seja, de que não há tendência de mudança ao longo do período. Sendo assim, a irregularidade dos dias com chuvas ≥ 80 mm ao longo da série pode ser considerada como produto de sua própria variabilidade.

A Figura 58 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 80 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque pode ser feito para os meses de:

- Março de 1962 (três dias com chuvas ≥ 80 mm);
- Maio de 1975 (três dias com chuvas ≥ 80 mm) e
- Outubro de 1944 (três dias com chuvas ≥ 80 mm).

Ao se comparar os eventos encontrados com as ocorrências do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) verifica-se que nenhum dos episódios possui relação com a componente positiva do fenômeno ENOS.

Por sua vez, os gráficos da Figura 58 permitem verificar as tendências encontradas nas séries mensais. Destaque deve ser dado à série do mês de fevereiro

que apresentou uma tendência positiva na série ($R^2=0,012$), demonstrando um aumento da frequência de eventos a partir dos anos 1970.

Já a série do mês de março demonstrou que nos anos 1960 houve um conjunto maior de ocorrência de eventos de chuvas ≥ 80 mm e a partir da década de 1980, o aumento se deu em razão da frequência. De uma forma geral, os dados a série apresentaram tendência positiva no decorrer do período ($R^2=0,0158$).

Condição de destaque também deve ser dada a série referente ao mês de novembro, pois se verificou um aumento na frequência dos eventos entre os anos 1970/1980 e a partir do ano 2000 caracterizando a tendência positiva da série ($R^2=0,0329$).

Resultados similares foram observados nos trabalhos de Viana, Aquino e Matzenauer (2006), Viana *et al.*, (2009), Viana, Aquino e Munhoz (2009) e Santos (2012) para as precipitações no Rio Grande do Sul. O aumento na frequência desses eventos - eventos extremos - são interpretados pelos autores como associados a participação dos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM).

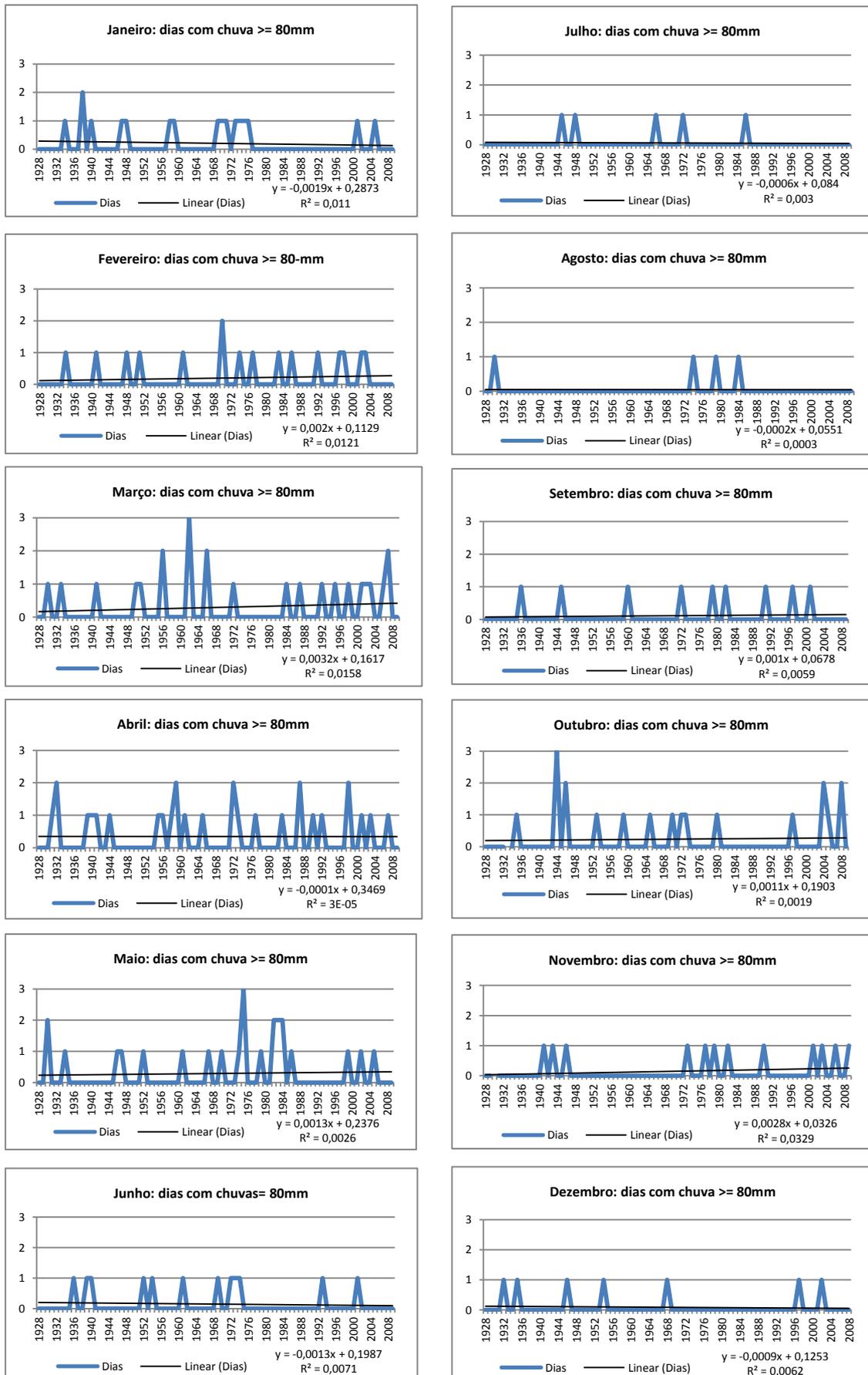


Figura 58. Tendências mensais de dias com chuvas \geq 80 mm em Alegrete.

Ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 80 mm (Tabela 17) verificou-se que apenas a tendência positiva dos meses de novembro (**MK=2,04**) mostrou-se significativa a mudança.

Tabela 17: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 80 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 80 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,91	Negativa NS
Fevereiro	1,27	Positiva NS
Março	1,74	Positiva NS
Abril	0,12	Negativa NS
Mai	0,59	Positiva NS
Junho	0,92	Negativa NS
Julho	0,60	Negativa NS
Agosto	0,18	Negativa NS
Setembro	0,84	Positiva NS
Outubro	0,75	Positiva NS
Novembro	2,04*	Positiva significativa
Dezembro	0,92	Negativa NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

g) Precipitações ≥ 100 mm.

O gráfico da Figura 59 permite a análise da frequência dos totais anuais de dias com chuvas ≥ 100 mm.

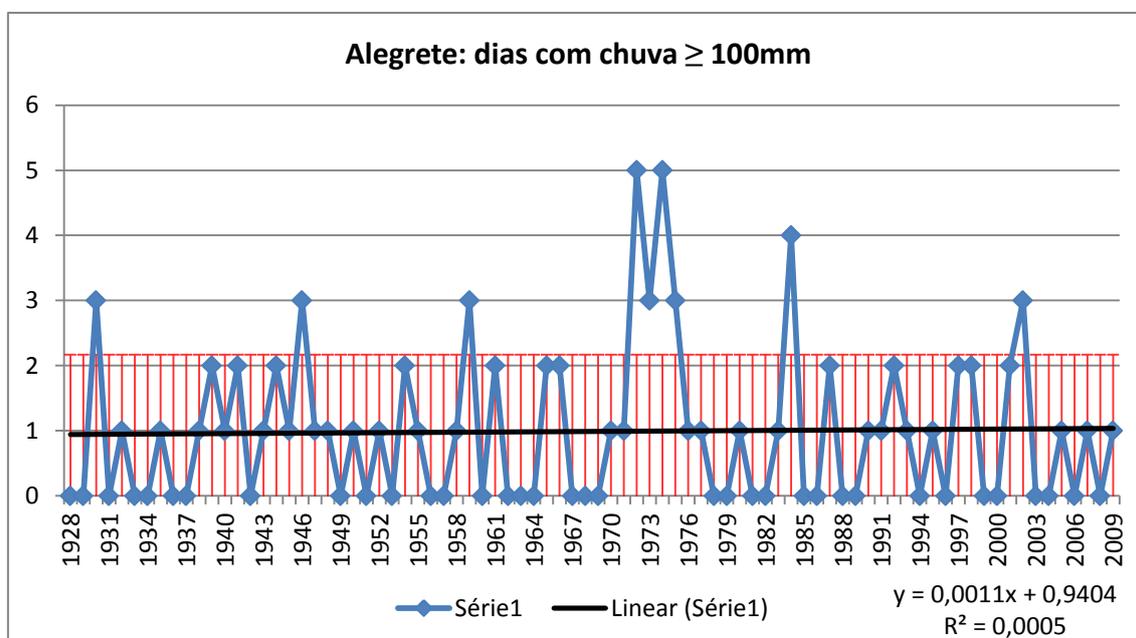


Figura 59. Total anual de dias com chuvas ≥ 100 mm da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Observa-se no gráfico da Figura 59 que os anos de 1930, 1946, 1959, 1972, 1973, 1974, 1984 e 2002 apresentaram quantidades de dias com chuvas ≥ 100 mm acima do limite superior do desvio padrão da série.

Comparando-se os eventos encontrados com as informações disponíveis em CPTEC/INPE (2012), verifica-se que apenas os anos de 1930, 1974 e 1984 não estiveram sob a ação direta da componente positiva do fenômeno ENOS. Dessa forma, pode-se associar a ocorrência desses eventos excepcionais (chuvas ≥ 100 mm) a participação do fenômeno no decorrer da série analisada.

Por sua vez, ao se analisar a linha de tendência dos eventos é possível se constatar que a ocorrência desses episódios de chuvas (maiores que 100 mm) não apresentou modificações no decorrer da série.

A aplicação do Teste de Mann-Kendall (nível de significância de 95%) confirmou a aceitação da hipótese H_0 (não houve tendência de mudança) por meio do **MK=0,14**.

Sendo assim, a irregularidade dos dias com chuvas ≥ 100 mm ao longo da série pode ser considerada como decorrente da própria variabilidade da série.

Já a Figura 60 mostra o conjunto de gráficos mensais com chuvas ≥ 100 mm e suas respectivas tendências lineares.

Destaque pode ser feito para os meses de:

- Março de 1966 (dois dias com chuvas ≥ 100 mm);
- Abril de 1972 (dois dias com chuvas ≥ 100 mm);
- Maio de 1930 (dois dias com chuvas ≥ 100 mm), 1975 (três dias com chuvas ≥ 100 mm) e 1984 (dois dias com chuvas ≥ 100 mm) e,
- Outubro de 1944 (dois dias com chuvas ≥ 100 mm);

Ao se comparar os eventos encontrados com as ocorrências do fenômeno El Niño (CPTEC/INPE, 2012) verifica-se que apenas os episódios de março de 1976 e abril de 1972 possuem relação com a componente positiva do fenômeno ENOS.

Os gráficos da Figura 60 permitem também verificar as tendências encontradas nas séries mensais com chuvas ≥ 100 mm. Destaque deve ser dado à série do mês de fevereiro que apresentou uma tendência positiva na série ($R^2=0,037$), demonstrando um aumento da frequência no decorrer do período analisado.

A série do mês de março demonstrou que a frequência dos eventos aumentou entre os anos de 1984 e 2001, possivelmente em decorrência da fase positiva da ODP levando a uma maior ocorrência de fenômenos El Niño.

Igualmente, o mês de novembro ($R^2=0,0271$) se destaca pelo aumento da frequência dos eventos nas três últimas décadas da série demonstrando uma pequena tendência positiva.

Muito embora apenas a tendência dos dias com chuvas ≥ 100 mm para o mês de fevereiro tenha sido considerada significativa pelo Teste de Mann-Kendall (Tabela 19), as tendências positivas observadas nos meses de março e novembro sugerem, assim como nos dias com chuvas ≥ 80 mm, que os eventos de CCM tenham se tornados mais frequentes.

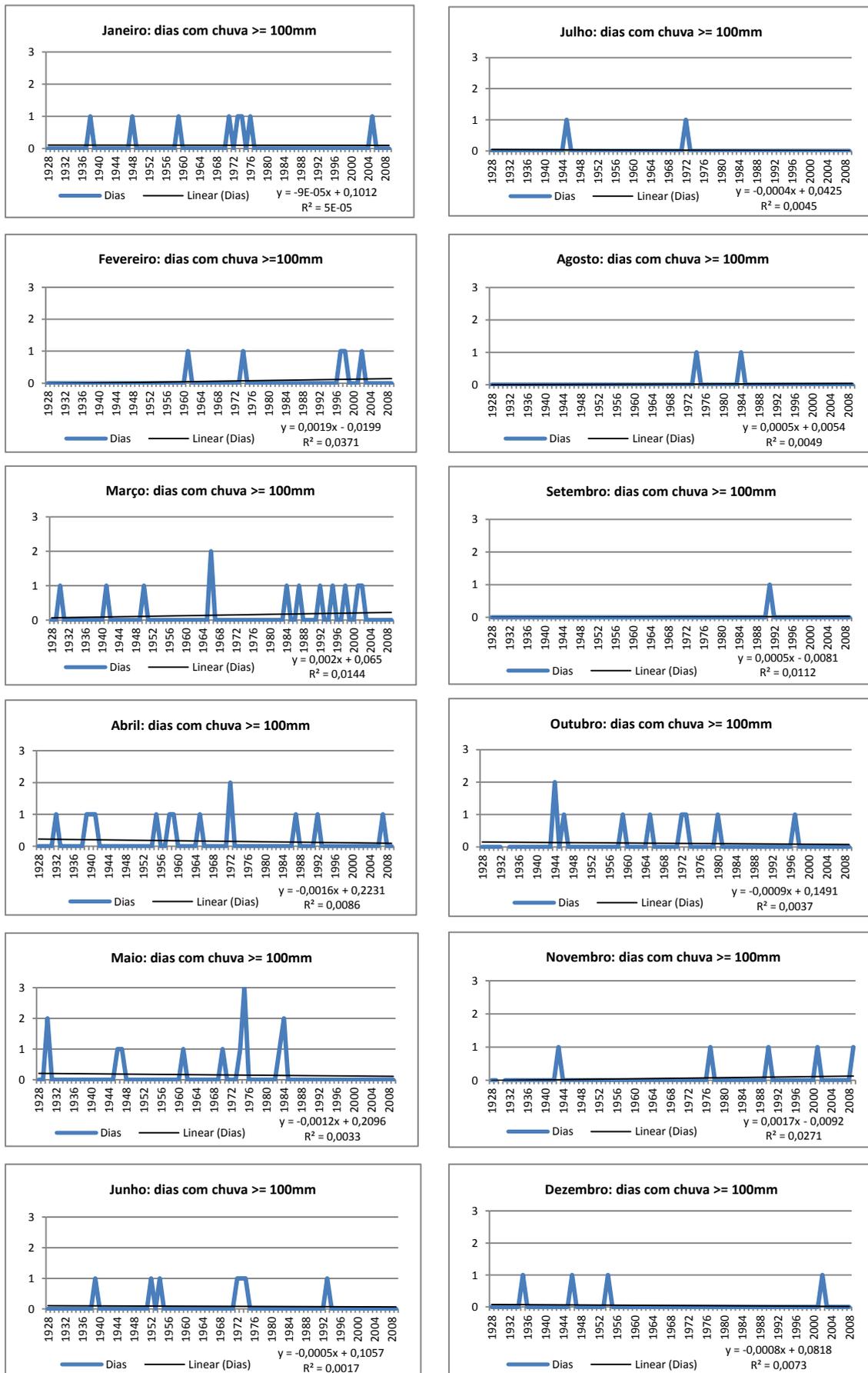


Figura 60. Tendências mensais de dias com chuvas ≥ 100 mm em Alegrete.

Por fim, ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall no conjunto de dados de dias com chuvas ≥ 100 mm (Tabela 18) verificou-se que apenas o mês de fevereiro apresentou tendência positiva significativa (**MK=2,11**) para mudança.

Tabela 18: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas ≥ 100 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva ≥ 100 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,08	Neutra
Fevereiro	2,11*	Positiva significativa
Março	1,49	Positiva NS
Abril	1,15	Negativa NS
Mai	0,79	Negativa NS
Junho	0,45	Negativa NS
Julho	0,73	Negativa NS
Agosto	0,77	Positiva NS
Setembro	1,15	Positiva NS
Outubro	0,29	Negativa NS
Novembro	1,82	Positiva NS
Dezembro	0,97	Negativa NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

h) Índice Simples de Precipitação Diária (SDII).

Na Figura 61 o gráfico permite se observar o Índice Simples de Precipitação Diária (SDII) para os anos da série Alegrete (1928-2009). O SDII consiste na relação entre o volume total anual precipitado com a quantidade de dias com chuvas ≥ 1 mm.

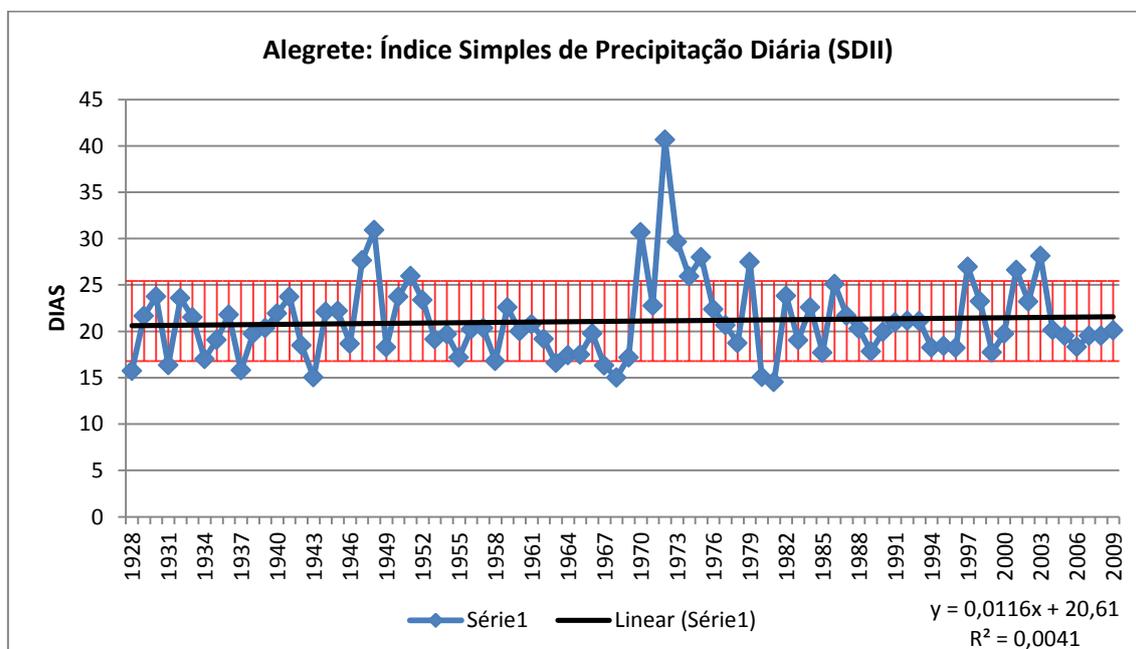


Figura 61. Índice Simples de Precipitação Diária (SDII) dos anos da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Analisando o gráfico da Figura 61 verifica-se que os anos de 1947, 1948, 1951, 1970, 1972, 1973, 1974, 1975, 1979, 1997, 2001 e 2003 apresentaram maiores valores dos Índices Simples de Precipitação Diária (SDII) que ultrapassaram o limite superior do desvio padrão da série. Ao se comparar tais índices com as informações sobre a ocorrência de eventos El Niño disponíveis em CPTEC/INPE (2012), verifica-se que os anos de 1951 e 1979 foram anos de El Niño fraco, 1947, 1970 e 2003 foram de El Niño moderado e os anos de 1972, 1973 e 1997 foram de El Niño forte.

Por outro lado, dos anos que apresentaram os menores SDII (1928, 1931, 1937, 1943, 1968, 1980 e 1981) apenas 1928 apresentou relação com o fenômeno La Niña, sendo ainda considerado fraco (CPTEC/INPE, 2012).

Sendo assim, parece que os índices mais elevados de SDII da série Alegrete (1928-2009) possuem forte relação com a componente positiva do fenômeno ENOS.

Ao se analisar a dinâmica da série, observa-se uma tendência positiva que, quando avaliada pelo Teste de Mann-Kendall ao nível de significância de 95%, apresenta um **MK=0,38**, no qual se aceita que a série não sofreu modificação significativa ao longo dos anos analisados, confirmando-se a hipótese H_0 . Dessa forma, o comportamento irregular, e às vezes anômalo, encontrado na série pode ser considerado como próprio de sua variabilidade.

i) Maior período seco no ano (CDD)

O gráfico da Figura 62 permite a análise da frequência do maior período seco (chuvas inferiores a 1 mm) ao ano no decorrer da série.

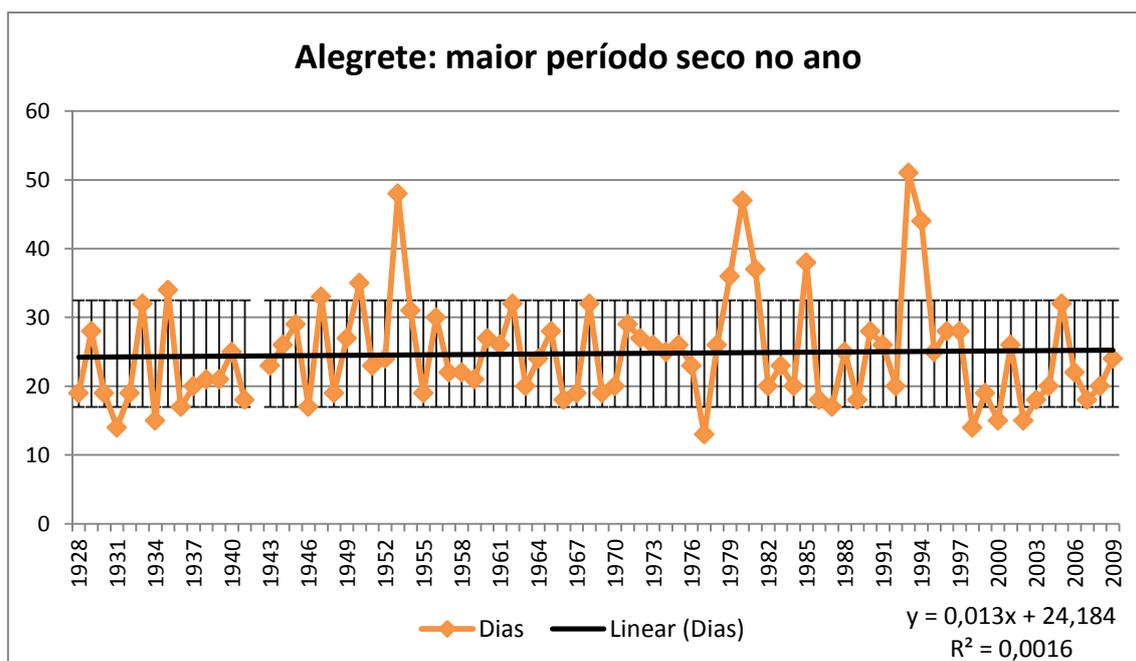


Figura 62: Maior período seco (chuvas inferiores a 1 mm) no ano da série temporal Alegrete (1928-2009), seu desvio padrão e linha de tendência.

Analisando o gráfico da Figura 62 é possível verificar que os anos de 1935, 1947, 1950, 1953, 1980, 1985, 1993 e 1994 apresentaram maiores períodos secos no ano (CDD) que ultrapassaram o limite superior do desvio padrão da série.

Ao se comparar os eventos encontrados com as informações, sobre a ocorrência de eventos La Niña disponíveis em CPTEC/INPE (2012), observa-se que os anos de 1950 (forte) e 1985 (fraco) estiveram sob ação do fenômeno.

A tendência linear encontrada não demonstrou que a série tenha sofrido variação ao longo do período, fato que pode ser confirmado pela aplicação do Teste de Mann-Kendall. O valor de **MK=0,10** permite que se aceite a hipótese H_0 (de que não há tendência de mudança de comportamento) e, dessa forma, a irregularidade dos dados na série pode ser considerada como própria de sua variabilidade normal.

j) Dias secos no mês (CDDmês).

A análise dos dias secos mensais permite verificar se no decorrer da série constatou-se algum tipo de tendência de aumento, de diminuição ou manutenção dos dias com precipitações inferiores a 1 mm e, se tal dinâmica se caracteriza uma possível modificação (ou não) das condições de seca. A Tabela 19 apresenta o conjunto de estatística básica dos dias secos para os meses da série Alegrete (1932-2009).

Tabela 19: Estatística básica dos dias secos mensais para a série temporal Alegrete (1932-2009).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Med	24	22	25	24	25	24	25	25	23	23	24	25	288
DP	3,3	2,7	2,9	3,4	2,7	2,5	3,3	2,7	2,4	3,2	2,7	2,7	15,1
Max	30	27	30	29	30	30	30	31	27	30	29	31	322
Min	15	16	17	14	17	17	10	18	16	12	16	18	260
CV	13,5	12,3	11,8	14,3	10,9	10,7	13,2	10,8	10,3	13,5	11,2	10,5	5,2

Med: Média; **DP:** Desvio padrão; **Max:** valor máximo da série; **Min:** valor mínimo da série; **CV:** coeficiente de variação (%)

Observa-se na Tabela 19 que a série do mês de abril apresentou o maior coeficiente de variação (14,3%) seguido pela série dos meses de janeiro e outubro (ambos com 13,5%) e, julho (13,2%). No entanto, dado ao baixo percentual de variação encontrado, pode-se inferir a ideia de que a dinâmica dos dias secos mensais não sofreu modificações no decorrer do período. As tendências lineares dos dias secos mensais podem ser verificadas na Figura 63.

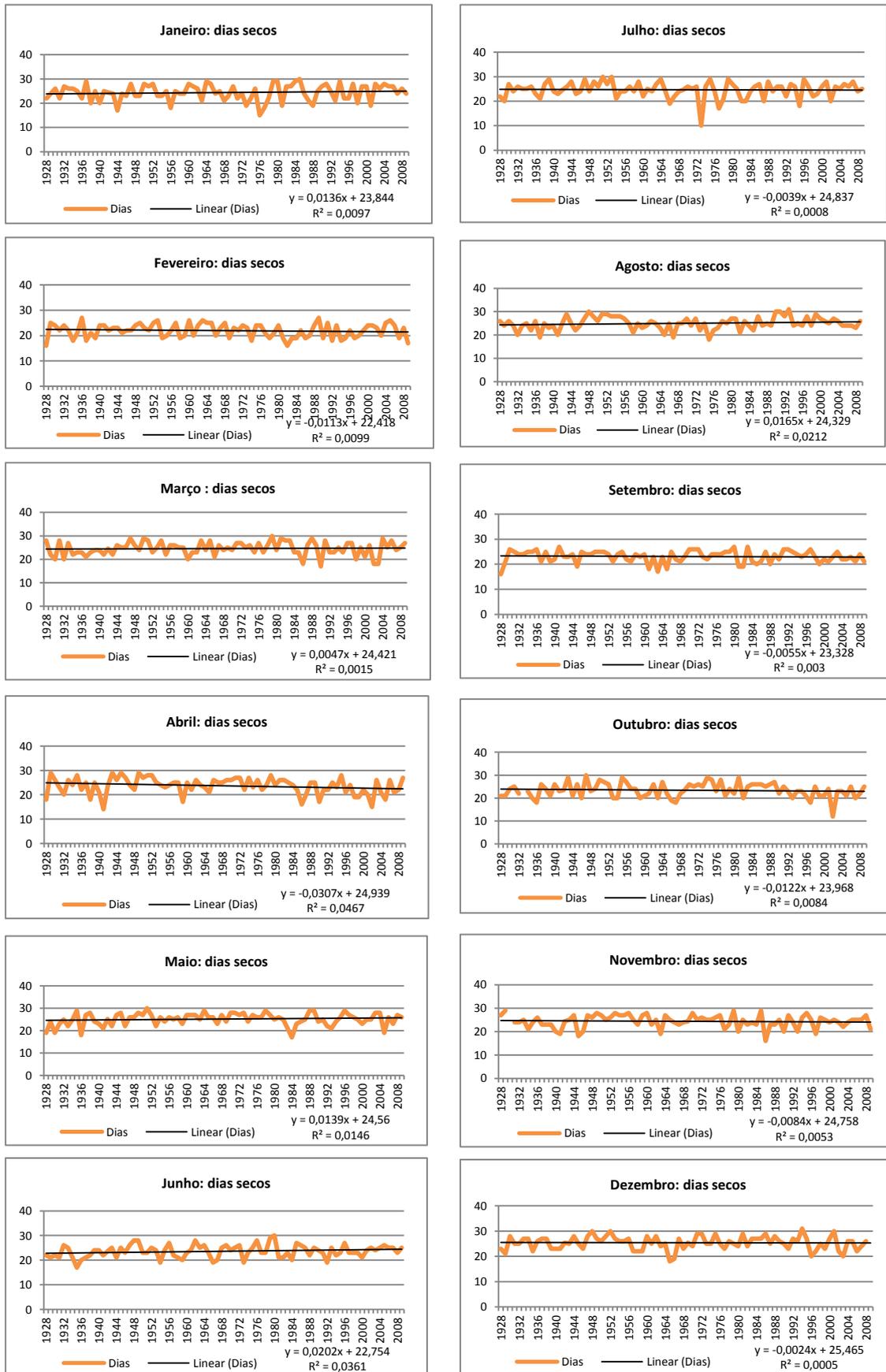


Figura 63. Tendências mensais de dias secos (com chuvas inferiores a 1 mm) em Alegrete.

Os gráficos da Figura 63 permitem que se observem as tendências lineares nas séries mensais de dias secos. A aplicação do Teste de Mann-Kendall nos valores verificou que o mês de abril (**MK=2,30**) apresentou tendência negativa significativa de mudança em relação aos dias secos, ou seja, rejeitando a hipótese H_0 (Tabela 20). Tais resultados corroboram com os observados em relação ao aumento dos dias com precipitações ≥ 1 mm para os meses de abril.

Tabela 20: Resultado da análise de tendência dos dias com chuvas menores que 1 mm da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com dias com chuva menores que 1 mm.	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,98	Positiva NS
Fevereiro	0,94	Negativa NS
Março	1,04	Positiva NS
Abril	2,30*	Negativa significativa
Maio	0,92	Positiva NS
Junho	1,83	Positiva NS
Julho	0,24	Negativa NS
Agosto	0,96	Positiva NS
Setembro	1,06	Negativa NS
Outubro	0,52	Negativa NS
Novembro	0,65	Negativa NS
Dezembro	0,22	Negativa NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

k) Maior período seco no mês

A análise do maior período seco no mês permite verificar se no decorrer da série ocorreu alguma evidência de aumento, diminuição ou manutenção dos dias consecutivos sem precipitações (chuvas inferiores a 1 mm) e, se tal comportamento pode ser caracterizado como uma possível modificação (ou não) das condições de seca.

Sendo assim, os gráficos da Figura 64 permitem verificar as tendências lineares dos maiores períodos secos nos meses. Os casos mais significativos foram encontrados nos meses de abril ($R^2=0,0377$) com tendência negativa, reduzindo a quantidade de dias secos sequenciais, agosto ($R^2=0,0122$) com tendência positiva ao aumento do período seco mensal e novembro ($R^2=0,0153$) que apresentou uma diminuição no maior período seco mensal a partir dos anos 1980.

A série do mês de dezembro merece atenção, pois ela apresentou, no final do período (1994 e 2001), dois picos de dias sequenciais secos, muito embora sua tendência positiva possa ser considerada baixa.

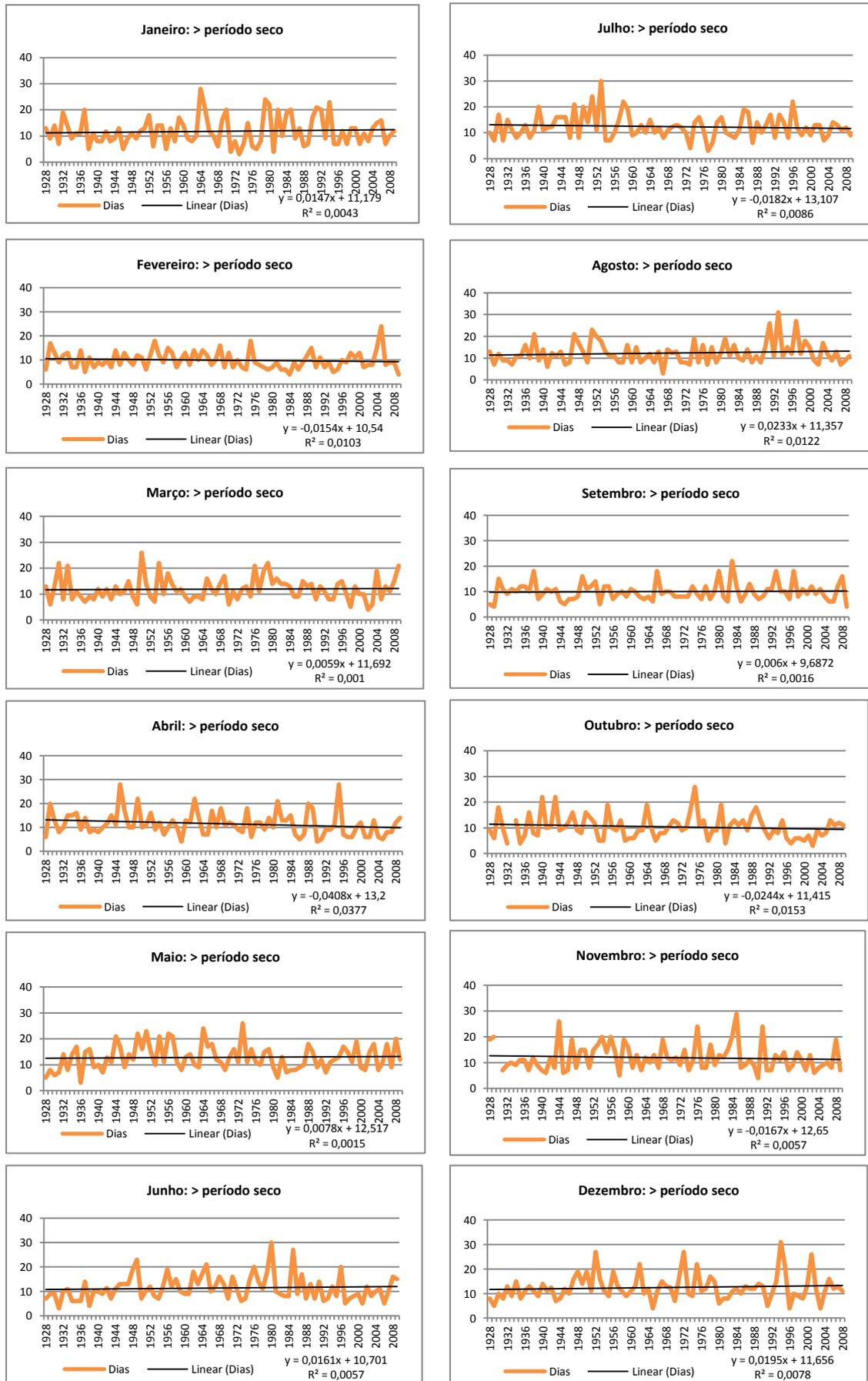


Figura 64. Tendências mensais dos maiores períodos secos no mês em Alegrete.

Por fim, ao se aplicar o Teste de Mann-Kendall (nível de significância de 95%) foi possível verificar que apenas o mês de abril (**MK=2,07**) apresentou tendência negativa significativa para mudança. Dessa forma, é possível inferir a ideia de que além dos meses de abril terem apresentado tendência de umidificação no decorrer do século XX, essa umidificação ocorreu em relação ao aumento sequencial dos dias com chuvas.

Tabela 21: Resultado da análise de tendência do maior período seco no mês da série temporal Alegrete com nível de confiança de 95%.

Meses analisados com Teste de Mann-Kendall maior período secos no mês.	(MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,36	Positiva NS
Fevereiro	1,38	Negativa NS
Março	0,87	Positiva NS
Abril	2,07*	Negativa significativa
Maio	0,50	Positiva NS
Junho	0,56	Positiva NS
Julho	0,36	Negativa NS
Agosto	0,72	Positiva NS
Setembro	0,04	Positiva NS
Outubro	0,79	Negativa NS
Novembro	0,88	Negativa NS
Dezembro	0,91	Positiva NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

4.2 O PROCESSO DE ARENIZAÇÃO E AS PRECIPITAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS

A tese de Suertegaray (1987) pode ser considerada como o primeiro trabalho acadêmico-científico, desenvolvido de maneira sistemática, o qual procurou analisar os areais do sudoeste do Rio Grande do Sul, especificamente em Quaraí. A autora os descaracterizou como sendo deserto e/ou decorrente de processos de desertificação e qualificou-os como produtos do fenômeno de *arenização*, já conceituado neste trabalho.

Dentre os vários aspectos apontados pela autora para descaracterizar os areais de qualquer associação ao de um ambiente desértico e de qualquer fenômeno associado a ele, a autora destacou os volumes pluviométricos anuais. Na região em questão, eles são em torno de 1400 mm, “distribuídos quase que de forma equânime ao longo do ano, onde a maior parte dos meses apresentava valores superiores a 100 mm”.

Para tal, a autora se baseou nos trabalhos ora existentes de Hasenack (1982) apud Suertegaray (1987; 1998) e de Nimer (1979), os quais caracterizam as precipitações para o Rio Grande do Sul, sobretudo, para a região sudoeste do estado. A tese de Suertegaray (1987) procurou detalhar as condições pluviométricas anuais da região por meio dos dados das estações meteorológicas de Quaraí, São Borja, Uruguaiana e Júlio de Castilhos (localizado fora da abrangência do fenômeno dos areais).

Os resultados obtidos por Suertegaray (*ibidem*) sobre a dinâmica da pluviosidade para os postos da região confirmaram as informações dos trabalhos anteriormente citados (HASENACK, 1982; NIMER, 1979), os quais apontaram para valores anuais de pluviosidade da ordem de 1400 mm. A análise dos totais mensais desenvolvida revelou, também, que na maior parte dos meses, sobretudo nos meses de maio e junho, os valores mensais estocásticos apresentaram-se superiores a 100 mm.

Tais informações sobre a pluviosidade na região, aliada a outros aspectos apresentados em sua tese, permitiram a Suertegaray (*ibidem*), descaracterizar o fenômeno local como decorrente da existência de deserto e de processos de desertificação. Contrariamente, nesse caso, a chuva, agiria como um dos responsáveis pelos processos de arenização, caracterizado assim, pelo “retrabalhamento dos depósitos areníticos pouco ou mal consolidados, ativados sob o clima úmido”. Dessa forma, parte da dinâmica dos areais estaria associada à intensificação do escoamento superficial concentrado, sob condições de clima úmido (SUERTEGARAY, 1998).

Outro trabalho que, também, abordou o papel das precipitações na dinâmica dos areais gaúchos é a tese de Verdum (1997) na qual, o autor procurou, entre outros aspectos, analisar a fragilidade estrutural do potencial ecológico e sua relação com a dinâmica hidrológica, associada aos processos erosivos na bacia do arroio Miracatu, nos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana.

Para Verdum (*ibidem*), a dinâmica dos areais e dos processos de ravinamentos e voçorocamentos na região, não poderiam ser compreendidos apenas por meio do estudo das médias mensais pluviométricas, visto que, tais valores mascarariam a dinâmica dos verdadeiros responsáveis pela sua gênese: **as precipitações intensas**, em tempos curtos (horas e dias).

Em sua tese, o autor aprofundou a conexão entre as condições climáticas, sobretudo, as dinâmicas pluviométricas e os processos erosivos, utilizando-se de dados diários e mensais da estação Ponte do Miracatu, no município de São Francisco de Assis, entre os anos de 1971 e 1992. Para o autor, a compreensão dos processos

erosivos, sob a perspectiva da geomorfologia dinâmica, só seria possível por meio de dados horários e diários de precipitação. Dessa forma, suas análises permitiram identificar as seguintes estações (hidrológicas) e suas características:

O **verão hidrológico**: constitui-se por um período de seca atmosférica, a qual promove um esvaziamento contínuo das reservas hídricas profundas, sendo responsável, assim, por estiagens que secam completamente alguns cursos d'água.

O **outono hidrológico**: se caracteriza pelo período de chuvas que são capazes de umedecer o solo, entretanto, sem recarregar as reservas hídricas profundas.

O **inverno hidrológico**: inicia quando as chuvas umedecem e saturam os solos, alternando períodos de cheias/vazantes durante os eventos de precipitação intensa. Nesse caso, ocorre a superação do limite de saturação dos solos levando ao escoamento superficial direto.

Já a **primavera hidrológica** se configura quando os níveis de evapotranspiração tendem a superar os de precipitação. Cada período chuvoso dá início a um novo ciclo de cheia/vazante, a qual recarrega os aquíferos, diminuindo o ressecamento.

Decorrentes dessa dinâmica hidrológica, Verdum (1997 e 2004b) traz as principais feições morfogenéticas atuantes, em parte da bacia do arroio Miracatu:

Superfícies rochosas caracterizadas por blocos e lençóis de detritos: onde o escoamento torrencial se instala na diaclases ou entre os blocos da vertente. Os escoamentos difusos e concentrados geram desequilíbrios ao longo da vertente;

Ravinamentos no pé da vertente rochosa: resulta da ação do escoamento direto concentrado oriundo das superfícies rochosas da alta vertente e que entralham glaciais arenosos;

Acumulações de cones de areia: correspondem a depósitos que se formam a cada fase de escoamento direto. Tais materiais descem das encostas e se acumulam no fundo dos vales a cada episódio de fluxo intenso. O acúmulo dessas areias recobre, gradualmente, a cobertura herbácea em resposta a processos de deflação, caracterizando uma das formas de arenização;

Ações eólicas entre as crises de escoamento: ação morfogenética que não está associada diretamente ao sistema hidrológico, mas sim ao eólico. Atuam nos longos intervalos de tempo entre os fluxos hídricos intensos;

Ravinamentos acelerados do fundo dos valões e dos vales: gerado pelo escoamento superficial concentrado e pelo afloramento do freático sobre a estrutura friável. O encaixamento dos canais é decorrente dos outros processos descritos que levaram aos ravinamentos;

Ravinamentos regressivo à montante das vertentes arenosas: decorrente da mudança do nível de base da rede hidrográfica promovendo ação erosiva remontante.

Assim, Verdum (2004) destaca que:

“(...) os processos morfogenéticos mostram que o escoamento direto, gerador das cheias neste setor de estudo, remodela os glaciais no pé das superfícies rochosas dos relevos tabulares e das coxilhas. (...) O escoamento concentrado é identificado pelo encaixamento generalizado da rede hidrográfica. A erosão regressiva ligada a este encaixamento e a incisão dos valões das coxilhas, provocam o entalhamento atual destes relevos, desfossilizando os antigos modelados cobertos pelas formações superficiais arenosas.” (VERDUM, 2004b, p.55).

De acordo com os trabalhos de Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001) e Verdum (*op. cit*), por exemplo, para o período entre julho de 1970 e junho de 1971, considerado como deficitário do ponto de vista pluviométrico (Figura 65), a variabilidade pluviométrica inicia pela denominada **primavera hidrológica**, no mês de agosto, quando os valores de evapotranspiração superam os da precipitação. Já o **verão hidrológico** tem início com o fim do inverno cósmico que ocorre no final do mês de agosto. Nesse período de seca, ocorrem chuvas fortes em setembro e novembro as quais são responsáveis por promover o escoamento direto no solo mantendo assim, os aquíferos subterrâneos. As chuvas no mês de dezembro são responsáveis pelo relançamento dos débitos, os quais dificultam a caracterização do chamado outono hidrológico. A partir do final de dezembro, a alta pluviometria caracteriza o chamado **inverno hidrológico**, atípico para este mês, considerando a série histórica que o caracteriza como sendo deficitário em relação ao balanço hídrico precipitação-evapotranspiração. As chuvas intensas e sucessivas são as responsáveis pela saturação dos solos, o que dá início a fase de escoamento superficial, uma vez que os terrenos profundos já foram recarregados. A partir de meados de fevereiro tem início uma nova fase de seca atmosférica caracterizando uma **primavera hidrológica** muito curta. O **verão hidrológico** perdura entre abril e junho, alternando fortes precipitações e períodos de seca. O **outono hidrológico**, com fortes chuvas, inicia-se num curto período de tempo, ao final de junho, com respostas hidrológicas diferentes das que ocorrerem nos meses de abril e maio. Por fim, após esse curto período (outono hidrológico), tem início mais um período de **inverno hidrológico** (mês de julho).

Sendo assim, a Figura 65 demonstra a dinâmica hidrológica proposta por Verdum (1997) na qual é possível se identificar as estações (hidrológicas) do ano no decorrer dos anos cósmicos.

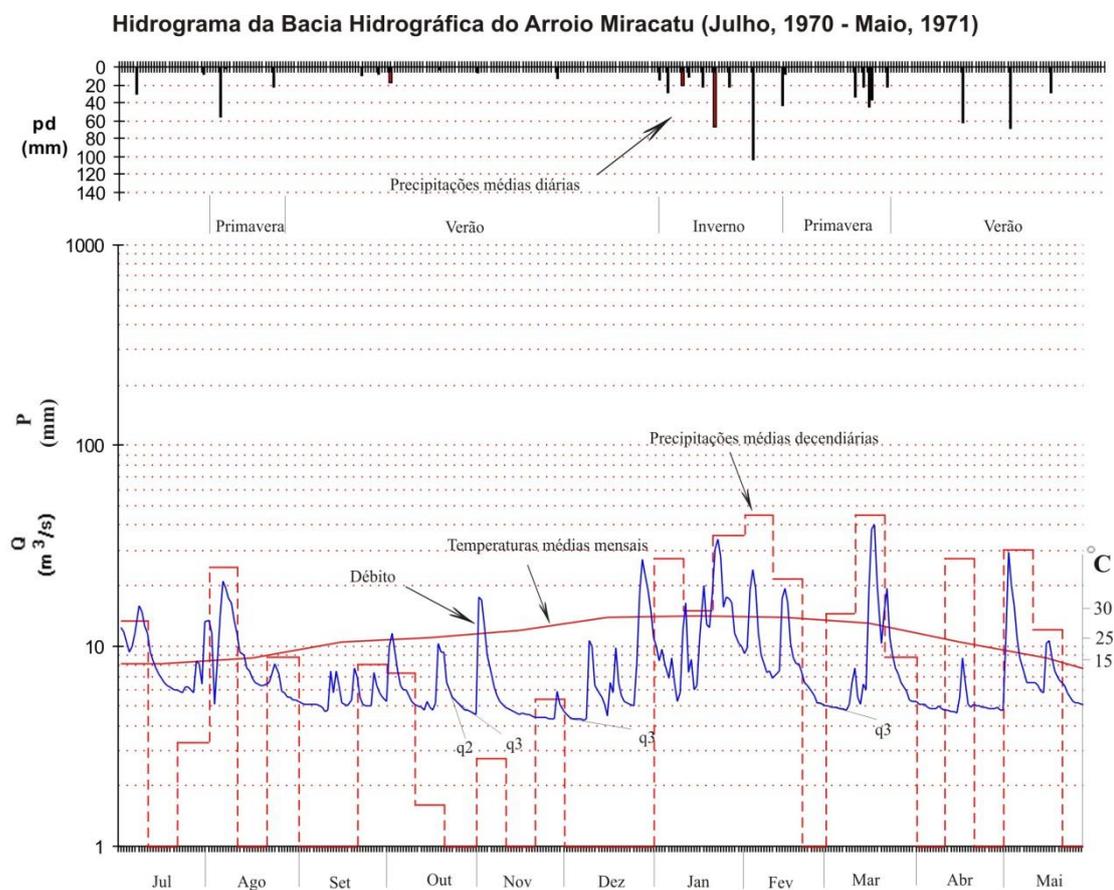


Figura 65. Hidrograma da bacia do arroio Miracatu para os anos de 1970-1971.

Fonte: Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001).

Da mesma forma, a Figura 66 procura demonstrar a compreensão do sistema hidrológico desenvolvido por Verdum (1997), no qual os eventos pluviométricos de forte intensidade ocorrem, sobretudo, entre os meses setembro e novembro e entre março e junho, sendo estes responsáveis pela recarga rápida dos aquíferos e do sistema fluvial como um todo. Nesses casos, com os reservatórios subterrâneos e os solos saturados pela recarga hídrica, a continuidade dos eventos de precipitação intensa promove escoamentos superficiais concentrados, bruscos e de grande potencial cinético. Tais fenômenos, combinados às fragilidades lito-pedológicas, desencadeiam processos erosivos associados aos areais (VERDUM, 1997, 2004b, 2012).

Nesses episódios de elevadas precipitações, geralmente, com valores superiores a 100 mm/dia, a atividade do escoamento superficial se manifesta de forma brusca e intensa sendo, portanto, capaz de promover processos morfogenéticos já descritos nos trabalhos de Suertegaray (1987; 1998; 2000; 2012), Suertegaray,

Guasselli e Verdum (2001), Suertegaray *et al.*, (2005) Verdum (1997; 2004b; 2012), Verdum e Soares (2010) Verdum e Suertegaray (2012).

Hidrograma da Bacia Hidrográfica do Arroio Miracatu (Julho, 1982 - Junho, 1983)

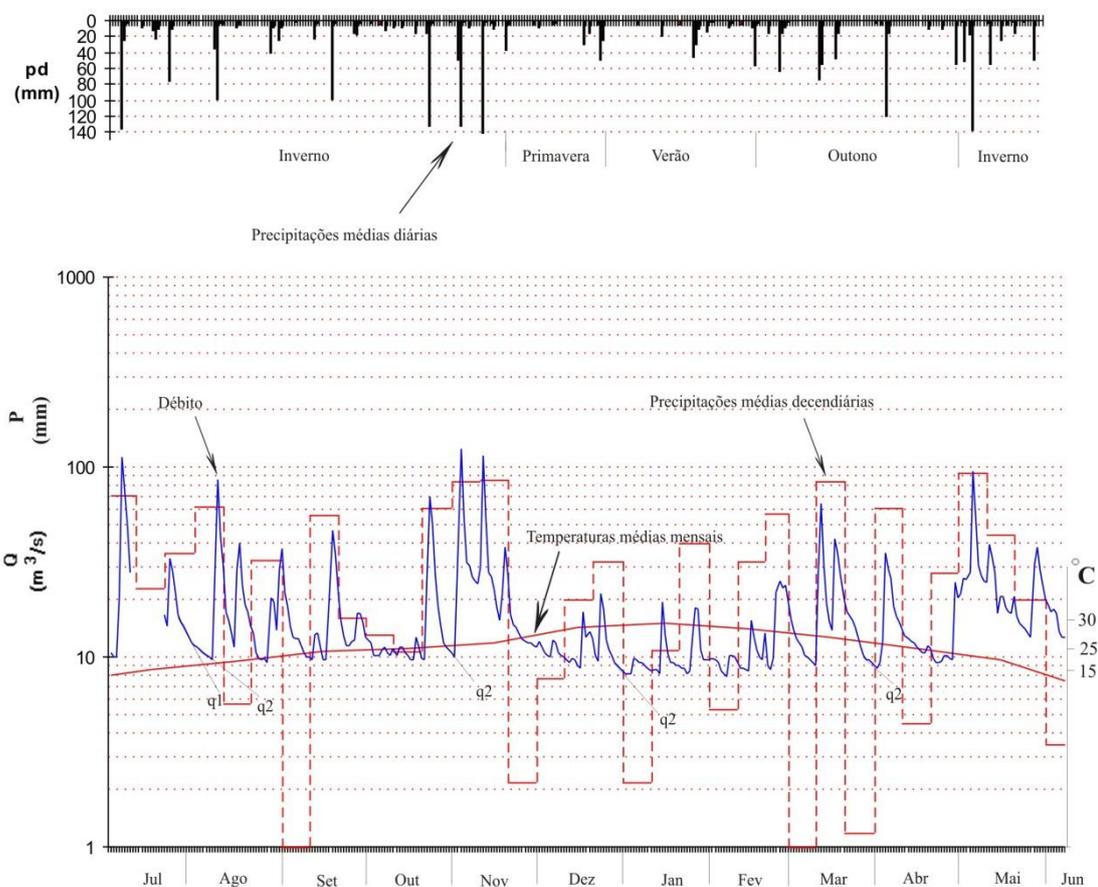


Figura 66: Hidrograma da bacia do arroio Miracatu para os anos de 1982-1983.
Fonte: Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001).

4.2.1 OS EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO SÉCULO XX E O PROCESSO DE ARENIZAÇÃO

O estudo de uma longa série temporal de precipitação como a de Alegrete (1928-2009) permite que sejam analisadas, além de suas variabilidades, tendências e padrões, a frequência com que os eventos, sobretudo, os de forte intensidade, ocorreram no decorrer do período de estudo.

Através do gráfico da Figura 67 é possível se observar os dias com precipitações na série Alegrete (1928-2009) e seus volumes diários. Numa leitura preliminar, observa-se que os eventos pluviométricos acima de 50 mm são comuns de se encontrar no conjunto de dados analisados. Claramente, também, se observam valores pluviométricos extremos que são superiores a 100 mm, no decorrer de toda a

série de dados. Entretanto, uma análise mais sistemática permite que se calcule a quantidade de eventos de precipitação extrema (f), sua frequência relativa (fr) e seu tempo de retorno (T).

O conhecimento desses parâmetros permite relacionar e compreender a participação de tais eventos de pluviosidade extrema, com os processos morfogenéticos responsáveis pela dinâmica da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul.

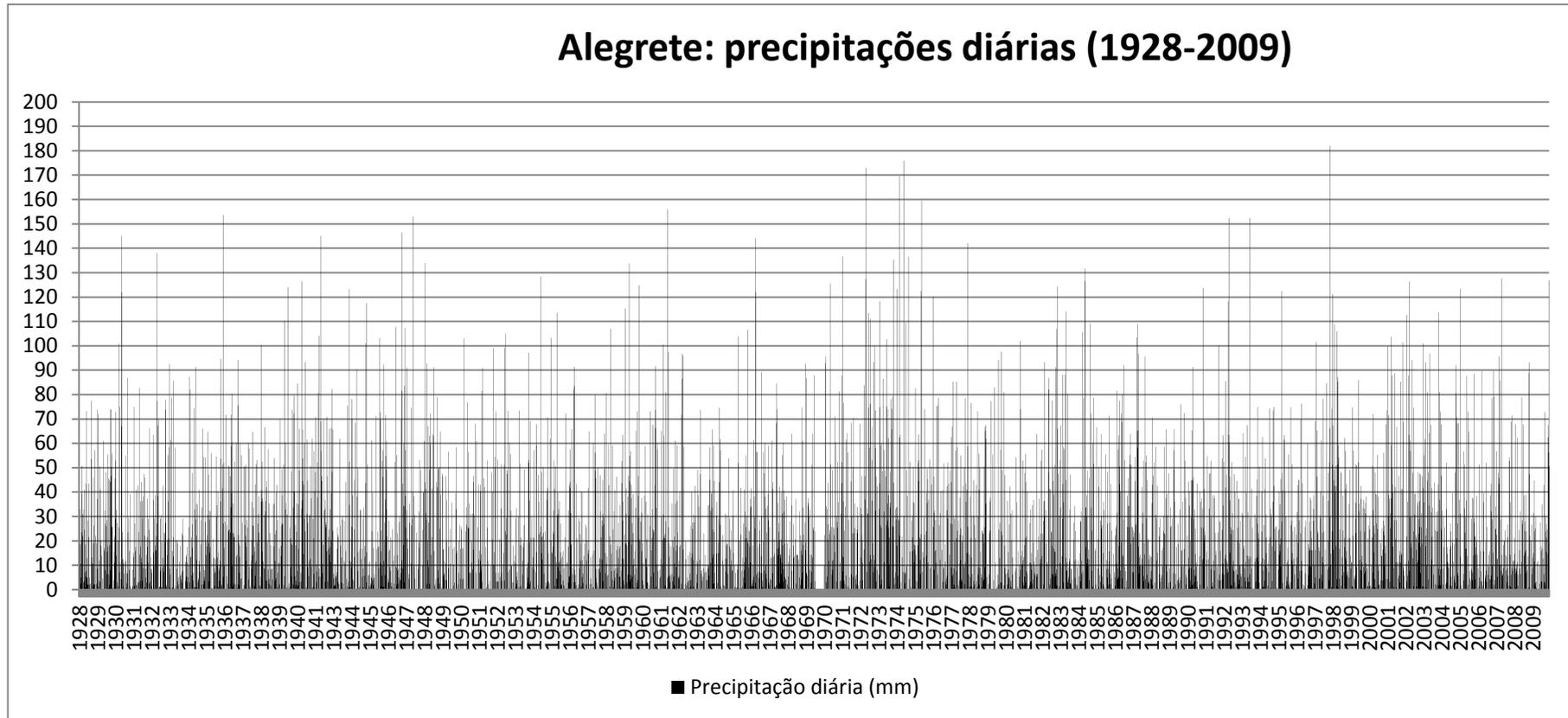


Figura 67. Gráfico com as precipitações diárias da série Alegrete (1928-2009).

A organização dos dados pluviométricos diários permitiu que fosse observada a quantidade (frequência) de eventos de chuva ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, ≥ 150 mm, ≥ 160 mm, ≥ 170 mm e ≥ 180 mm na série Alegrete (1928-2009), bem como, determinar a frequência relativa (fr) e o tempo de retorno (T) dos mesmos (Tabela 22). Observa-se, por meio da Tabela 22 que existe 790% de probabilidade de ocorrer eventos de chuva diária ≥ 50 mm a cada ano, ou seja, cerca de oito dias por ano com precipitações dessa intensidade. Os dias com chuvas diárias ≥ 80 mm apresentam 223% de probabilidade de ocorrer ao ano, pouco mais de dois dias por ano com precipitações nessa intensidade.

Em relação aos valores diários ≥ 100 mm, foram encontrados 84 eventos em toda a série analisada. Dessa forma, a probabilidade de ocorrer eventos dessa intensidade é de 102%, ou seja, ao menos um evento a cada ano, como aponta o cálculo do seu tempo de retorno.

Já eventos de maior intensidade, também, foram observados nos 82 anos da série. Precipitações ≥ 150 mm, ≥ 160 mm, ≥ 170 mm e ≥ 180 mm tiveram seu tempo de retorno calculado em função da sua probabilidade sendo eles, respectivamente, de 8, 21, 27 e 82 anos.

Tabela 22: Cálculo da Frequência, Frequência Relativa e do Tempo de Retorno dos eventos intensos de precipitação para a série Alegrete (1928-2009).

Eventos	Frequência (Quant. eventos)	Frequência relativa (Quant. eventos/ano)	Tempo de retorno (anos)
≥ 50 mm	648	7,90	0,12 (7,9 dias/ano)
≥ 80 mm	183	2,23	0,44 (2,3 dias/ano)
≥ 100 mm	84	1,02	1
≥ 150 mm	10	0,12	8
≥ 160 mm	4	0,05	21
≥ 170 mm	3	0,04	27
≥ 180 mm	1	0,01	82

Dessa forma, uma vez que as precipitações extremas são as responsáveis por processos de ravinamentos e voçorocamentos na dinâmica da arenização, observa-se, com base nas informações da Tabela 22, que tais eventos, sobretudo os ≥ 100 mm ao ano, foram comuns anualmente, durante praticamente todo o século XX.

Na submissão da frequência dos dias com precipitações ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, dias secos (< 1 mm) e CCD/mês (maior período seco no mês), para avaliação das tendências por meio do Teste de Mann-Kendall (capítulo anterior), os dados demonstraram que não foram somente os eventos intensos que apresentaram tendências significativa de aumento (ou diminuição) no século XX, mas também as chuvas de menor intensidade (Tabela 23).

Por meio dos dados da Tabela 23 é possível verificar que no mês de abril as tendências de aumento significativo na quantidade de dias com precipitações de menor intensidade (≥ 1 mm e ≥ 10 mm) correspondem ao que Verdum (1997) e Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001) denominaram de início do **verão hidrológico**. Esse dado, também, é confirmado com a redução na quantidade de dias com precipitações < 1 mm e CCD/mês. Dessa forma, os dados apontam que os meses de abril tenderam a ficarem mais úmidos.

Com relação ao **inverno hidrológico** identificado por Verdum (1997), o aumento significativo de dias com precipitações ≥ 20 mm em fevereiro contrabalanceou com a tendência negativa significativa observada para os meses de janeiro. Provavelmente, esse fenômeno esteja associado a melhor distribuição dos dias com precipitações durante o período (**inverno hidrológico**) concentrando a época das chuvas. Outro fato que corrobora com essa ideia, refere-se ao aumento dos dias com precipitações intensas (≥ 100 mm) nos meses de fevereiro. Esses episódios de intensa pluviosidade, nessa época do ano, estão associados a processos convectivos, CCM (VIANA *et al.*, 2009; VIANA, AQUINO e MUNOZ, 2009; SANTOS, 2012), possivelmente, decorrentes do maior aquecimento da superfície, da passagem dos sistemas frontais e muitas vezes das chuvas associadas à componente positiva do fenômeno ENOS.

Considerando a dinâmica das massas de ar Rossato (2012) acredita que, nessa época do ano, quando ocorre a entrada da Frente Polar Atlântica (FPA) pelo oeste do estado do Rio Grande do Sul, na região de Uruguaiiana, o contraste térmico formado entre o ar quente (sobre a região) e o ar polar que se aproxima, promove a formação de grandes nuvens, provavelmente do tipo *Cumulunimbus (Cb)*, as quais, acredita-se, que sejam também as responsáveis pelas chuvas intensas e de curta duração.

Já a tendência positiva significativa de dias com precipitações ≥ 80 mm, observada nos meses de novembro, corroboram ao que Verdum (1997) e Suertegaray, Guasselli e Verdum (2001) denominaram de **verão hidrológico**. O aumento dos dias com tais volumes de precipitação, também associados a passagens de sistemas frontais, sobretudo em anos de El Niño, com a formação de CCM e forte aquecimento basal, contribui para episódios intensos de precipitação. Estes estão diretamente associados à gênese dos processos de ravinamentos e voçorocamentos, já descritos como os responsáveis pela dinâmica dos areais. Essa tendência de aumento dos eventos extremos confirma os resultados encontrados na bibliografia que tratam das precipitações para o sudeste da América do Sul, como, por exemplo, em

Chou, Nunes e Cavalcante (2000), Alexander *et al.*, (2006), Ambrizzi *et al.*, (2007) e Marengo e Valverde (2007) e Marengo *et al.* (2007).

Tabela 23: Tendências consideradas significativas pelo Teste de Mann-Kendall para os dias com precipitações ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm, dias secos (< 1 mm) e CCD/mês.

Precipitações	Mês	Tendência	MK (conf.95%)
≥ 1 mm	Abril	Positiva	2,08
≥ 10 mm	Abril	Positiva	2,38
≥ 20 mm	Fevereiro	Positiva	1,99
≥ 30 mm	-----	-----	-----
≥ 50 mm	Janeiro	Negativa	2,12
≥ 80 mm	Novembro	Positiva	2,04
≥ 100 mm	Fevereiro	Positiva	2,11
Dias secos (< 1 mm)	Abril	Negativa	2,30
CCD/mês*	Abril	Negativa	2,07

*CCD/mês: corresponde ao maior comprimento de dias secos em um mês

Dessa forma, a análise das precipitações ≥ 1 mm, ≥ 10 mm, ≥ 20 mm, ≥ 30 mm, ≥ 50 mm, ≥ 80 mm, ≥ 100 mm demonstra estreita relação com os mecanismos morfogenéticos, que são responsáveis pelos processos de ravinamentos e voçorocamentos, decorrentes do escoamento superficial concentrado nos areais do Rio Grande do Sul, como demonstraram os trabalhos de Verdum (1997 e 2004).

A avaliação das tendências das precipitações mostra que, ao longo do século XX, intensificaram-se os eventos de precipitação extrema nos períodos considerados por Verdum (1997) como **inverno** e **verão hidrológicos**. Em ambos os períodos, o escoamento superficial assume uma posição de destaque na dinâmica erosiva da arenização. Ressalta-se, por sua vez, que as tendências positivas encontradas no decorrer do século XX, para esses períodos, sugerem com base estatística, que sejam evidências significativas de mudanças na dinâmica da variável pluviométrica.

Dessa forma, face às evidências encontradas no objeto de estudo deste trabalho, assim como as mudanças nas condições climáticas observadas em diversas partes do mundo, sobretudo no Brasil e, mediante os trabalhos já abordados ao longo desta tese, cabe o desenvolvimento de um estudo sobre a possível dinâmica das precipitações para o século XXI utilizando-se dados provenientes de simulação climática de Modelos Climáticos Globais.

4.3 ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS PROPOSTOS PELO MODELO ETA/CPTEC PARA MANOEL VIANA.

Nesta fase os dados de projetados pelo modelo Eta/CPTEC do *time slice* 1961-1990 são comparados com os dados originalmente observados na série Alegrete (1928-2009) para o mesmo período, como forma de avaliação dos dados do modelo para o desenvolvimento das projeções para os demais *time slices* (2011-2040; 2041-2070 e 2071-2099).

4.3.1 Verificação da homogeneidade dos dados (1961-1990): fase de calibração do modelo

Como descrito na metodologia do trabalho, os dados diários de precipitação gerados pelo Modelo Regional Eta/CPTEC 40 km, para o *time-slice* 1961-1990, foram agrupados em totais mensais para, posteriormente, serem comparados com os totais mensais observados nos dados da ANA.

Na primeira etapa da comparação de ambos os conjuntos de dados, aplicou-se o Teste de Correlação Linear para verificação de seus coeficientes de determinação (R^2) e de correlação (r).

Observa-se na Figura 68 que o Teste de Correlação, entre os dados do *time-slice* 1961-1990, apresentou um elevado Coeficiente de Determinação ($R^2=0,99$) demonstrando que ambas as séries apresentam um alto grau de relação.

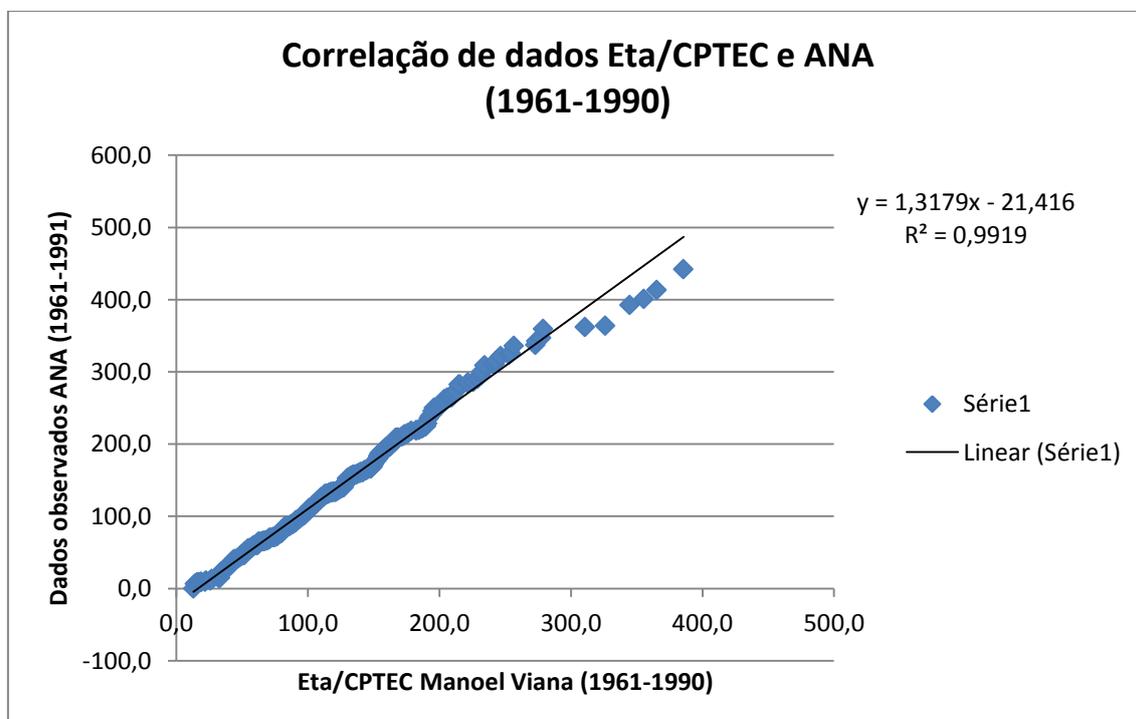


Figura 68. Correlação linear de dados entre os dados da ANA e os dados do Modelo Regional Eta/CPTEC (1961-1990).

O passo seguinte consistiu em verificar a homogeneidade estatística dos dados, por meio da aplicação do Teste *t* de *Student*. Da mesma forma, assim como descrito na metodologia, para a aceitação da hipótese nula (H_0), os valores obtidos (z) por meio do teste *t* deveriam ser $-1,96 \leq z \leq 1,96$.

A Tabela 24 traz os resultados da estatística z após a aplicação do Teste *t* de *Student* e, de acordo com suas informações, nenhum resultado apresentou erro do Tipo I, ou seja, todos os conjuntos de dados mensais demonstraram-se estatisticamente homogêneos.

Tabela 24: Estatística (z) do Teste *t* de *Student* para os dados Eta/CPTEC e ANA no período de 1961-1990.

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,26	0,06	0,11	0,63	0,71	0,56	0,11	0,06	0,03	0,38	0,54	0,44

Dessa forma, com base nos resultados obtidos, por meio da aplicação do teste de correlação e da aplicação do Teste *t*, podemos considerar que os dados gerados pelo Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana para o *time-slice* 1961-1990 são, ao menos estatisticamente, homogêneos aos observados nos postos da ANA para Alegrete.

Por fim, procurou-se analisar o resíduo entre a série observada (ANA) e a série projetada (Eta/CPTEC), para o período de 1961-1990, como forma de avaliação da qualidade dos dados projetados pelo modelo.

Por meio da Figura 69 verifica-se que o modelo Eta/CPTEC apresentou certa dificuldade em representar o comportamento do fenômeno ENOS (fases positiva e negativas) no período de 1961-1990, sobretudo em relação aos eventos considerados, pelo CPTEC/INPE (2012), como mais intensos.

Já, em relação às precipitações consideradas normais, o modelo demonstrou ter capturado a dinâmica das chuvas, o que pode ser confirmado devido a maior parte dos dados (mensais) encontrarem-se do intervalo do desvio padrão da série.

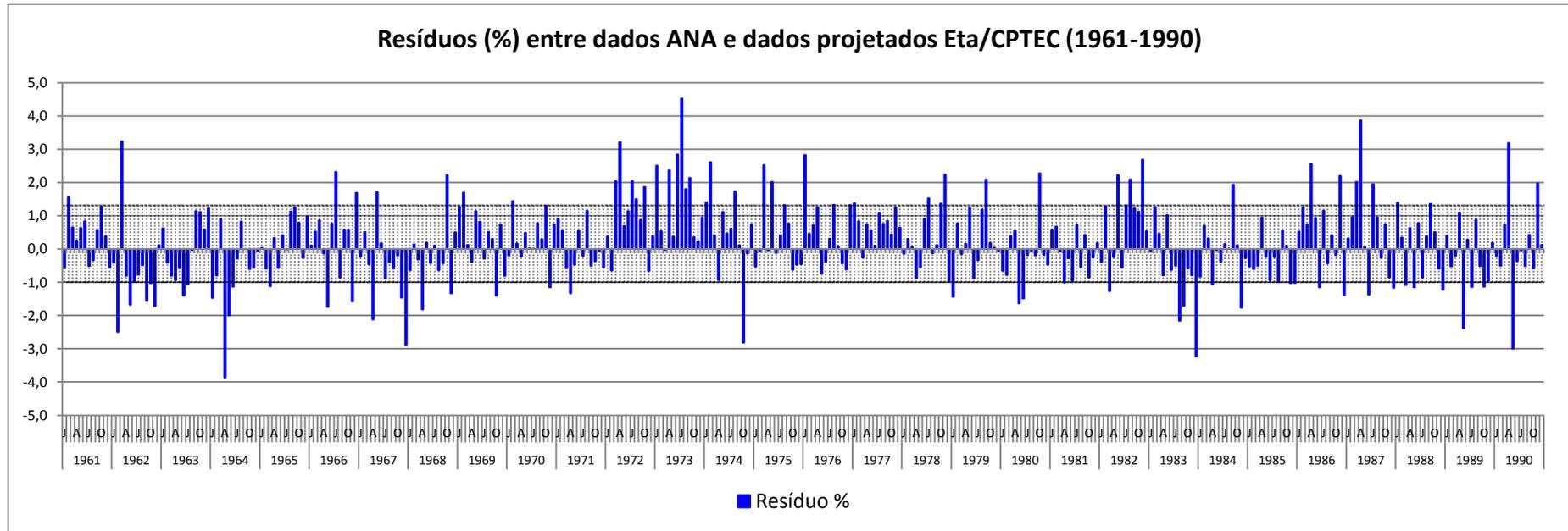


Figura 69. Resíduos percentuais entre dados observados ANA e dados projetados pelo Eta/CPTEC para o período de 1961-1990.

Sendo assim, com base nesses resultados, é possível considerar que o *downscaling* do Modelo Eta/CPTEC capturou bem a dinâmica das precipitações mensais observadas na região dos areais, na porção sudoeste do Rio Grande do Sul.

Uma vez que o modelo Eta/CPTEC representou bem o comportamento das precipitações mensais no período de 1961-1990 (fase de calibração), o passo seguinte consistiu na organização dos dados diários (2011-2099), gerados pelo modelo em totais mensais, trimestrais e anuais nos *time-slices* propostos (2011-2040; 2041-2070 e 2071-2099) para análise de suas tendências.

4.3.1.1 - Tendências dos totais anuais

Da mesma forma como desenvolvido com os dados da ANA para o período de 1928-2009, as tendências dos totais anuais de precipitação propostos pelo modelo Eta/CPTEC para os quatro *time-slices*, igualmente, foram avaliadas aplicando-se o Teste de Mann-Kendall (SIEGEL, 1975).

A Figura 70 mostra a possível dinâmica dos totais anuais normalizados para Manoel Viana no *time-slice* 2011-2040, bem como, sua respectiva linha de tendência. Observa-se que, nos primeiros 30 anos de dados gerados pelo modelo, eles não apresentam tendência significativa à mudança, o que pode ser constatado pelo teste de Mann-Kendall (**MK=0,80**).

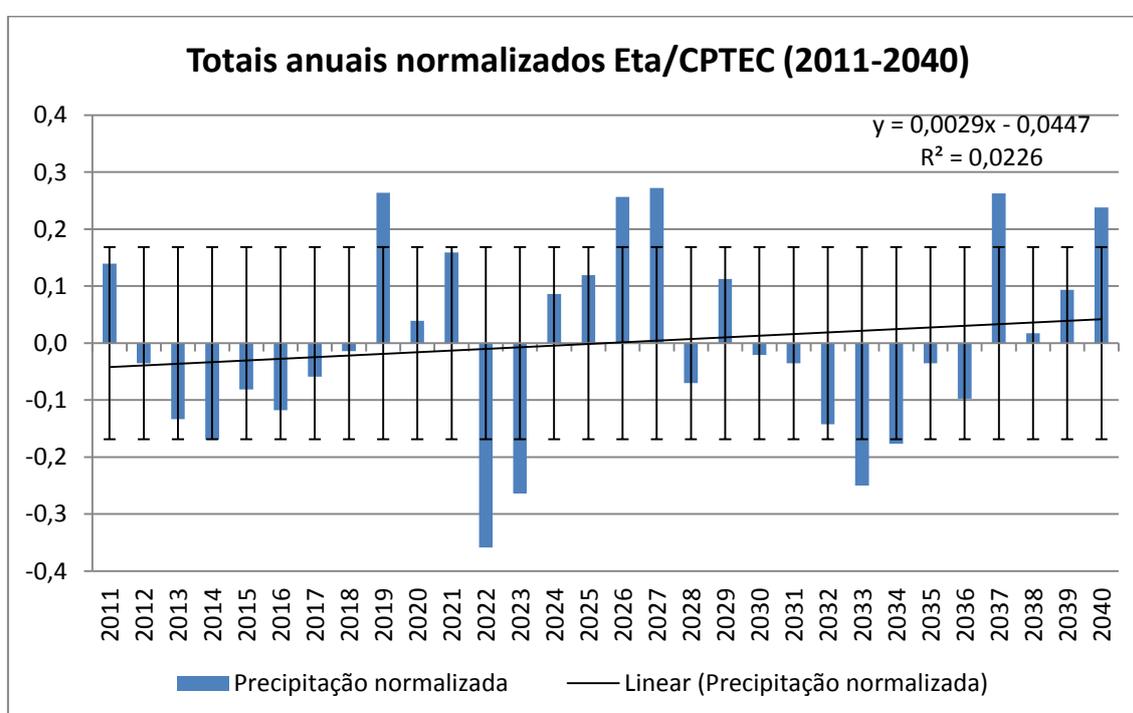


Figura 70. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2011-2040) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.

Em relação às anomalias, observa-se que o modelo conseguiu representá-las para os primeiros 30 anos de dados simulados.

Para o *time-slice* de 2041-2070, a Figura 71 demonstra a possível dinâmica dos totais anuais normalizados de pluviosidade, bem como, sua respectiva linha de tendência ao longo do período. Nesse período, a tendência linear dos totais anuais de precipitação demonstrou uma insignificante tendência negativa a qual, avaliada pela estatística do Mann-Kendall (**MK=0,20**) demonstrou, igualmente, não ser significativa para caracterizar uma mudança na dinâmica pluviométrica. Em relação à dinâmica das anomalias para este *time-slice*, observa-se uma redução em sua intensidade de frequência no final do período, possivelmente, devido ao enfraquecimento do fenômeno ENOS.

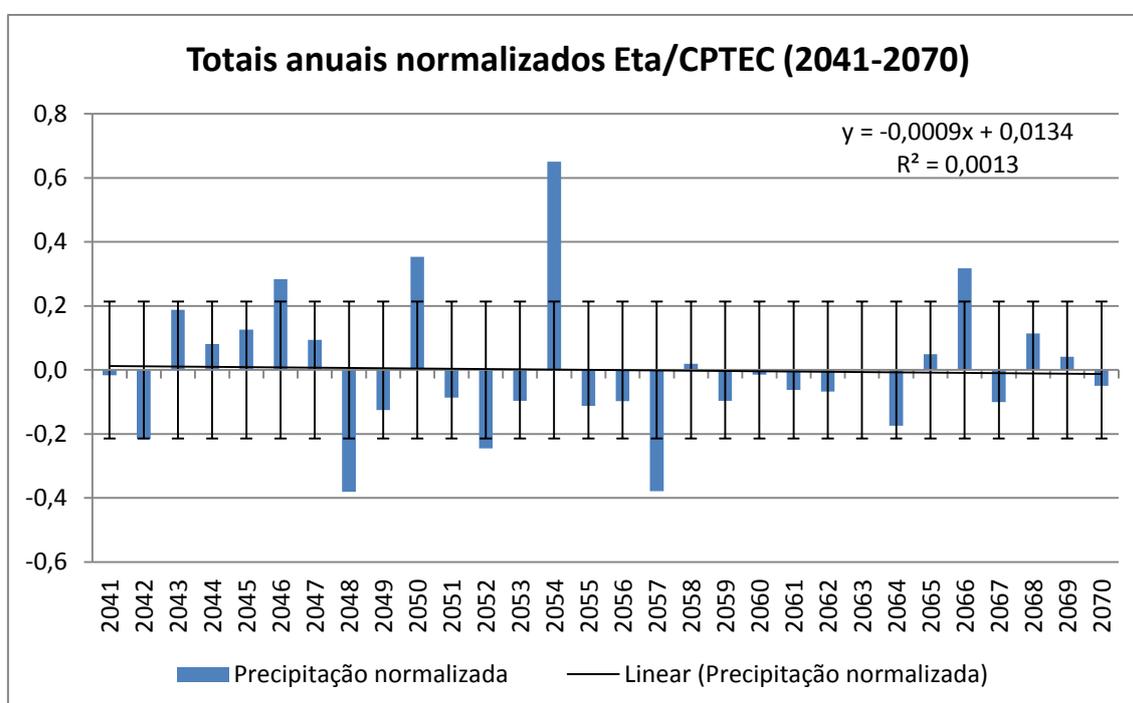


Figura 71. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2041-2070) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.

Por fim, no último *time-slice* (2071-2099) dos possíveis totais anuais de precipitação (Figura 72), verifica-se a tendência negativa da série que se mantém. Da mesma forma como nos *time-slice* anteriores, a avaliação de sua dinâmica pelo Teste de Mann-Kendall (**MK=1,05**) demonstra que a redução nos totais anuais não é significativa para caracterizar uma mudança na dinâmica pluviométrica.

Já em relação a projeção das anomalias, observa-se que, ao final do período, elas voltam a se tornar mais frequentes e intensas, sendo novamente moduladas, muito provavelmente, pelo fenômeno ENOS.

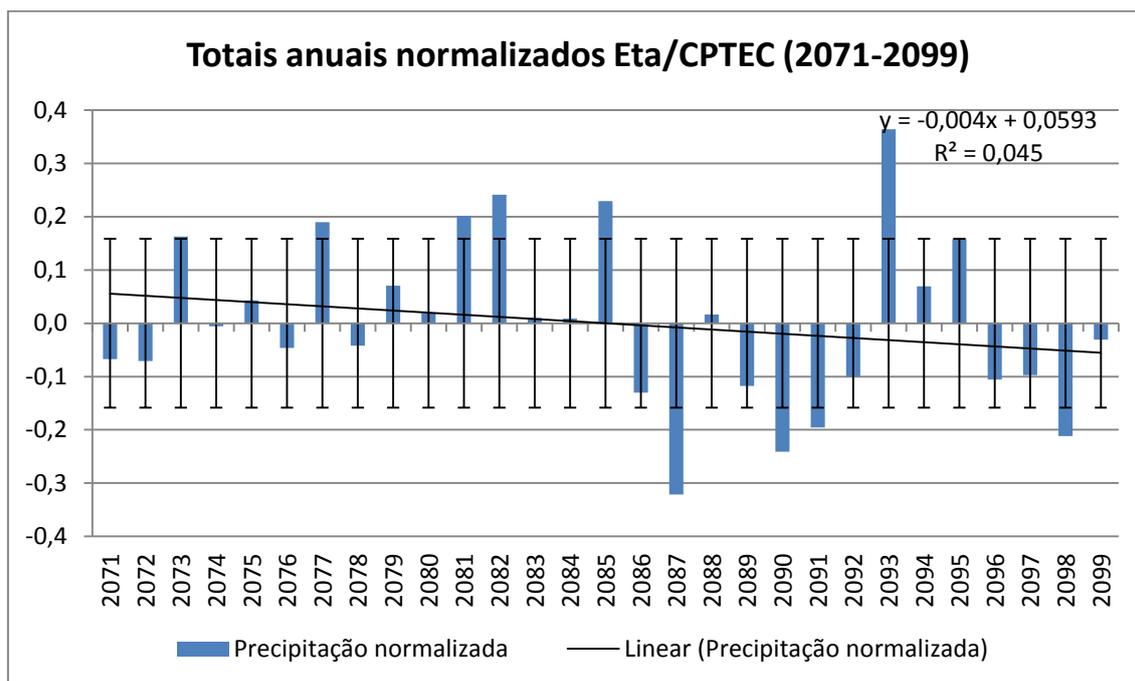


Figura 72. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2071-2099) para Manoel Viana, desvio padrão e, respectiva linha de tendência.

Entretanto, na perspectiva de análise dos possíveis totais pluviométricos anuais, propostos para Manoel Viana no decorrer do século XXI, a Figura 73 demonstra sua dinâmica ao longo de todo o período de dados (2011-2099). Ao analisar o conjunto total dos dados normalizados propostos pelo Modelo Eta/CPTEC é possível observar que existe uma tendência de aumento nos volumes anuais precipitados, por meio do incremento da ordem de 313,6 mm nos 89 anos da série.

Dessa maneira, a aplicação do Teste de Mann-Kendall nos 89 anos da série de dados de saída do modelo Eta/CPTEC (**MK=2,88**) indica significativa possibilidade de mudanças na dinâmica dos dados da série. Destaque deve ser dado na análise dos totais anuais do último *time-slice* (2071-2099), onde se verifica que, em onze anos (2046, 2050, 2054, 2066, 2073, 2077, 2081, 2082, 2085, 2093 e 2095), os totais anuais apontam para a possibilidade de valores acima do desvio padrão da série. Da mesma forma, as anomalias negativas foram representadas por meio dos anos de 2014, 2022, 2023, 2033, 2034, 2042, 2048, 2052, 2057 e 2087.

Sendo assim, com base nos resultados das projeções do modelo HadCM3/Eta/CPTEC para a região de Manoel Viana, é possível inferir a ideia de que o fenômeno ENOS continuará a modular as precipitações anuais para a região.

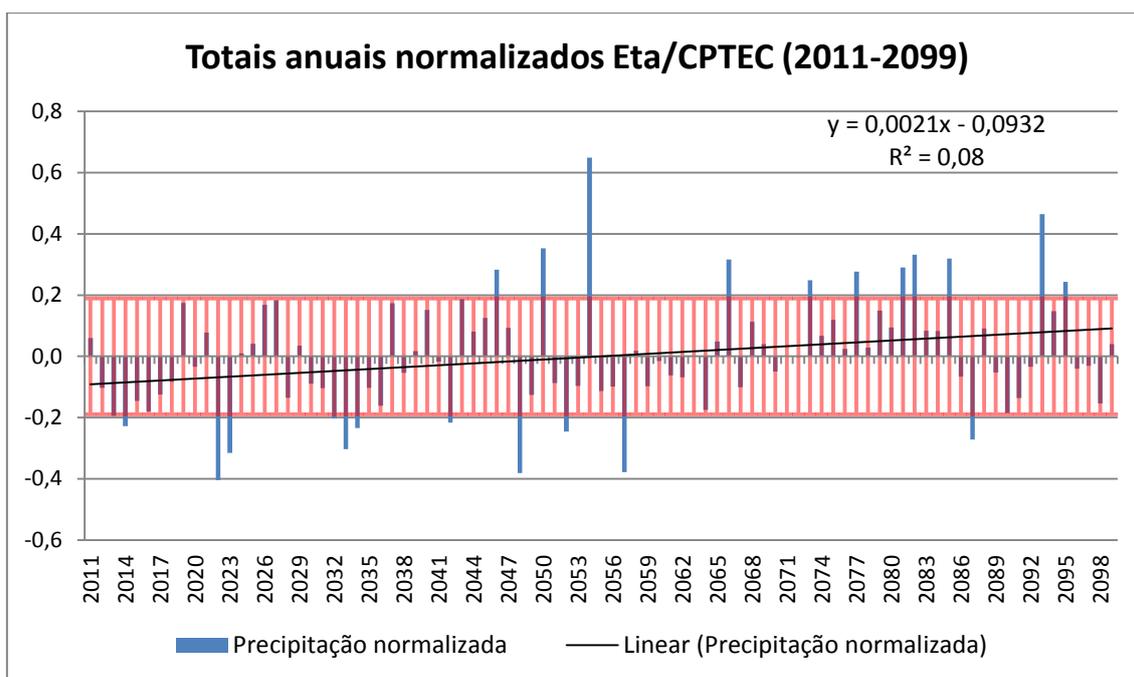


Figura 73. Totais anuais normalizados de precipitação projetados pelo modelo Eta/CPTEC (2011-2099) para Manoel Viana, sua respectiva linha de tendência e desvio padrão da série.

4.3.1.2 - Tendência dos totais trimestrais

A análise dos totais trimestrais permite verificar se as precipitações sofreriam algum tipo de tendência ou modificação em relação a sua sazonalidade. Da mesma forma, como aplicado aos dados observados da ANA, foram consideradas precipitações trimestrais, ou seja, o somatório dos totais mensais de dezembro-janeiro-fevereiro (DJF), março-abril-maio (MAM), junho-julho-agosto (JJA) e setembro-outubro-novembro (SON).

A Figura 74 mostra a possível dinâmica das precipitações trimestrais para o *time-slice* de 2011-2040 e suas respectivas tendências lineares. A variabilidade proposta para as primaveras (SON) e os verões (DJF) nesse *time-slice* parece indicar que o fenômeno ENOS (em ambas as fases) continuará modulando as precipitações sazonais. No outono (MAM) é que são sugeridos aumentos de precipitação, sobretudo, para o final do período. Para o inverno (JJA) o modelo parece sugerir a manutenção da dinâmica pluviométrica. Por sua vez, a avaliação das tendências por meio do Teste de Mann-Kendall (Tabela 25) demonstrou que nenhuma das séries trimestrais nesse *time-slice* apresentaria modificação significativa.

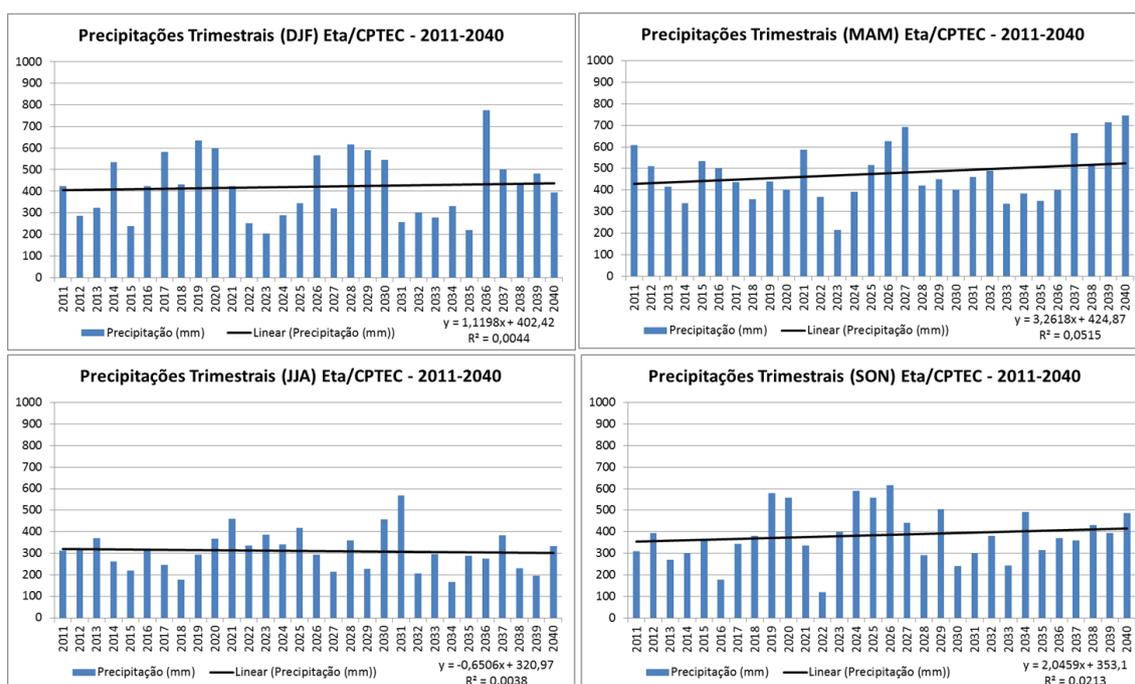


Figura 74. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no *time-slice* 2011-2040.

Tabela 25: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do *time-slice* (2011-2040) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência (α = 0,05)
Verão (DJF)	0,25	NS
Outono (MAM)	0,70	NS
Inverno (JJA)	0,57	NS
Primavera (SON)	0,91	NS

NS: Não significativa

Já a dinâmica proposta para as precipitações trimestrais do *time-slice* 2041-2070 pode ser observada na Figura 75. Verifica-se que as precipitações sugeridas para o verão (DJF) apresentaram tendência positiva, bem como, para o outono (MAM). Essa tendência positiva representaria um baixo incremento de 42 mm no verão e 47,8 mm para o outono no decorrer dos 30 anos do *time-slice*. Já a tendência negativa proposta para o inverno (JJA) corresponderia a uma redução em 81,1 mm nas precipitações do trimestre no período analisado. A redução seria menor no último trimestre (SON) com valores em torno de 32,8 mm nos 30 anos do *time-slice*. Destaque deve ser feito em relação a possível participação do ENOS, sobretudo, no verão. Quanto as tendências encontradas, ao serem avaliadas sob o Teste de Mann-Kendall (Tabela 26), seus valores não indicam possibilidade de mudanças significativas.

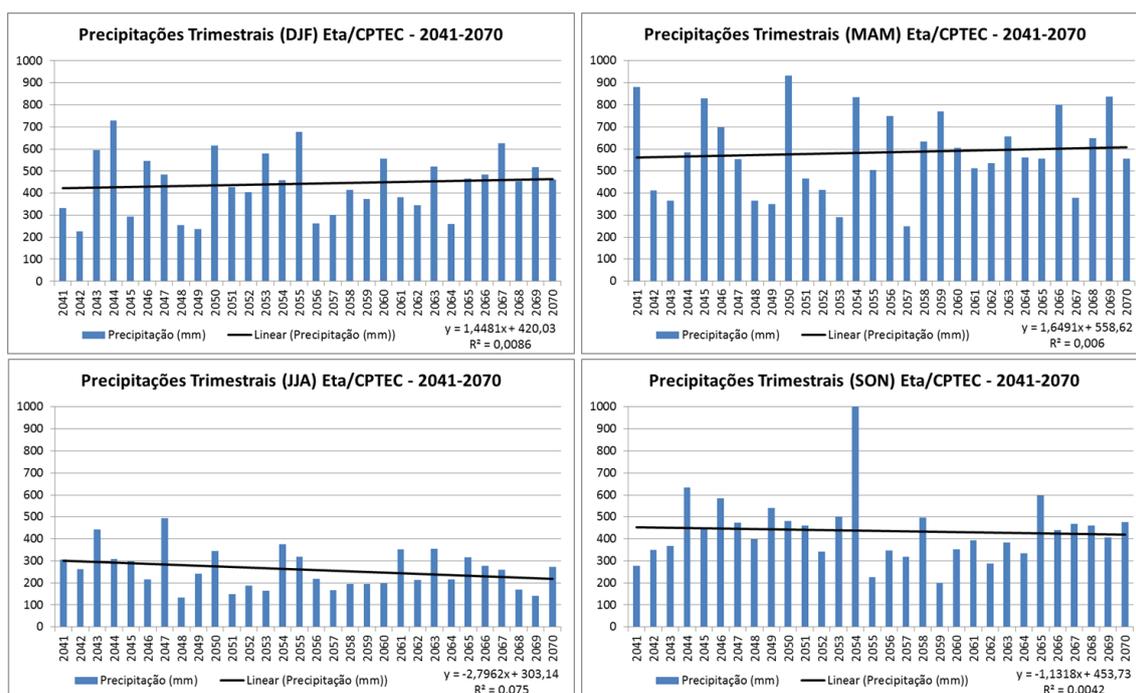


Figura 75. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no *time-slice* 2041-2070.

Tabela 26: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do *time-slice* (2041-2070) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall Tendência ($\alpha = 0,05$) (MK calculado)	
Verão (DJF)	0,66	NS
Outono (MAM)	0,55	NS
Inverno (JJA)	0,98	NS
Primavera (SON)	0,09	NS

NS: Não significativo

A Figura 76 demonstra a dinâmica das precipitações trimestrais no último *time-slice* 2071-2099 proposto pelo Modelo Eta/CPTEC. Diferentemente do proposto para os *time-slices* anteriores, os verões e os outonos apresentariam tendências negativas. A maior redução nos totais pluviométricas seria 90,1 mm para o DJF. Já o trimestre MAM a proposta seria de redução em 38,2 mm no período. O inverno continuaria com tendências negativas. Nesse *time-slice*, as reduções esperadas seriam de 41,6 mm. Já em relação às precipitações esperadas para a primavera, haveria um incremento proposto da ordem de 22,4 mm no período de 29 anos. A variabilidade sazonal, em função do ENOS, provavelmente se manteria, no entanto, com menores contrastes entre as fases positivas e negativas. A aplicação do Teste de Mann-Kendall (Tabela 27) também revelou que as tendências encontradas no período não poderiam ser consideradas como significativas para as mudanças de dinâmica pluviométrica.

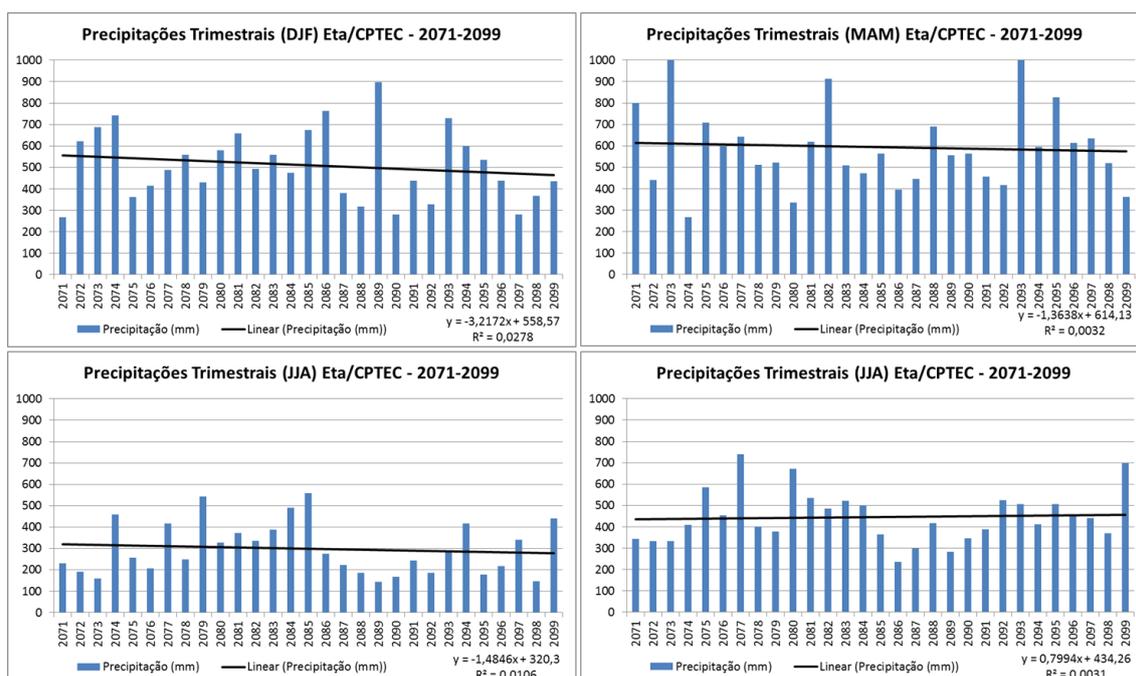


Figura 76. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC no *time-slice* 2071-2099.

Tabela 27: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais do *time-slice* (2071-2099) para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall Tendência ($\alpha = 0,05$) (MK calculado)	
Verão (DJF)	0,94	NS
Outono (MAM)	0,38	NS
Inverno (JJA)	0,53	NS
Primavera (SON)	0,56	NS

NS: Não significativo

Por sua vez, a dinâmica das precipitações trimestrais propostas pelo Modelo Eta/CPTEC, integrando os três *time-slices*, revela importantes informações sobre a (s) possível (eis) dinâmica (s) das precipitações para o século XXI (2011-2099).

A Figura 77 demonstra as possíveis precipitações trimestre a trimestre, bem como, suas respectivas linhas de tendência e seus desvios padrões. Nela é possível ver que os trimestres DJF, MAM e SON apresentariam tendência positiva para o conjunto de dados ao longo do século XXI. Essas tendências positivas foram consideradas significativas pelo Teste de Mann-Kendall (Tabela 28) apenas para os trimestres DJF e MAM, com um incremento, respectivamente, de 116,4 mm e 169 mm. Para o trimestre SON houve apenas a proposição do incremento de 95,9 mm, valor esse considerado sem significância estatística. Já na proposta pluviométrica para o trimestre JJA haveria uma redução em 34 mm no decorrer dos 89 anos da série.

Os resultados observados na análise dos totais trimestrais para o período 2011-2099 correspondem aos encontrados no trabalho de Marcelino (2008), os quais sugeriram um incremento das precipitações de verão para a região de abrangência dos areas gaúchos. No caso do trabalho desenvolvido nesta tese, além dos resultados significativos de aumentos nas precipitações para o verão, as precipitações no outono também demonstraram tendência significativa de aumento no período.

Já em relação as precipitações no inverno, os resultados observados correspondem aos encontrados no trabalho de Marcelino (ibidem), os quais demonstram que proposta de redução em seus valores, no entanto, não significativos.

A avaliação das tendências trimestrais propostas para o século XXI pelo Teste de Mann-Kendall revela que, na sequência das precipitações trimestrais, **haveria um aumento significativo das chuvas nos verões e nos outonos**. Quanto às primaveras, o aumento sugerido pelo Teste de Mann-Kendall não seria considerado significativo para mudança, assim como, as reduções nas chuvas propostas para os invernos.

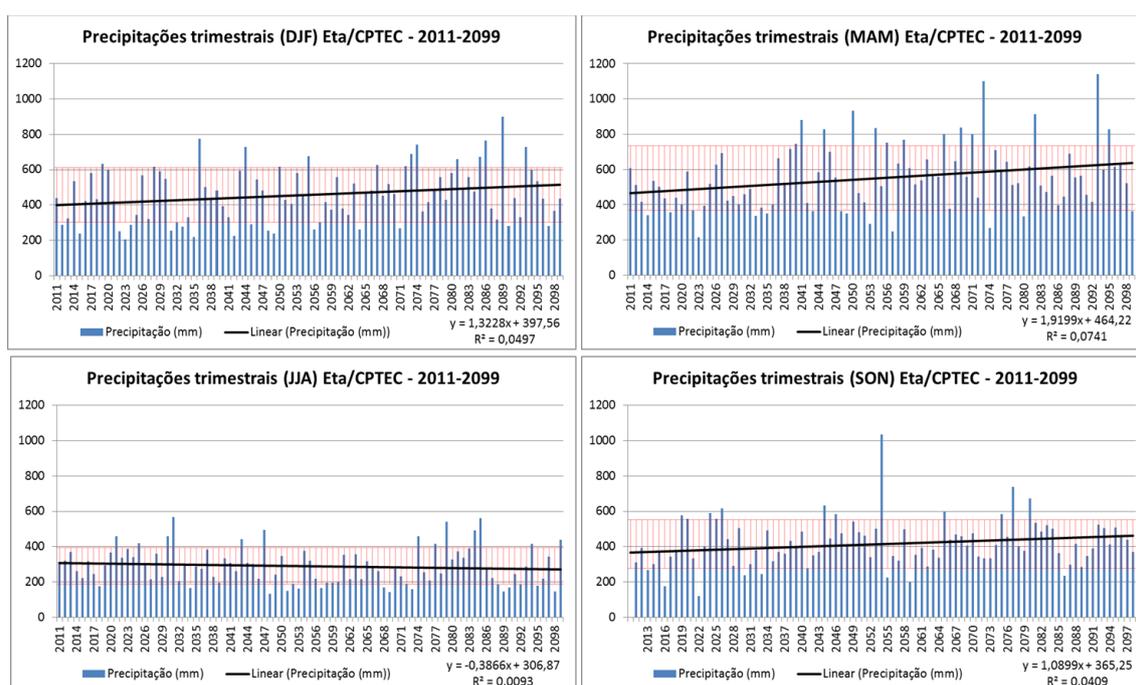


Figura 77. Precipitações trimestrais geradas pelo Modelo Eta/CPTEC para o período de 2011-2099.

Tabela 28: Resultado da análise de tendência dos totais trimestrais no período de 2011-2099 para Manoel Viana com nível de confiança de 95%.

Período analisado	Teste de Mann-Kendall Tendência ($\alpha = 0,05$) (MK calculado)	
Verão (DJF)	1,98*	Positiva significativa
Outono (MAM)	2,39*	Positiva significativa
Inverno (JJA)	1,40	NS

Primavera (SON)	1,93	NS
------------------------	------	----

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.

NS: Não significativo

4.3.1.3 - Tendência dos totais mensais

Da mesma forma como nas análises trimestrais, a análise dos totais mensais permite verificar se a dinâmica das precipitações propostas teria algum tipo de tendência significativa ao longo do século XXI. Sendo assim, da mesma forma, como aplicado aos dados observados da ANA, os totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC foram analisados quanto a sua tendência linear, as quais foram avaliadas qualitativamente sob o Teste de Mann-Kendall.

A Figura 78 demonstra a dinâmica das precipitações mensais proposta para o *time-slice* de 2011-2040 e suas respectivas tendências lineares. Observa-se nos gráficos (Figura 78) que nos meses de janeiro, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro, as tendências ora positivas, ora negativas, praticamente, não indicariam evidências de modificação na dinâmica das chuvas no período. Os meses de março e dezembro apontariam tendências positivas as quais não foram consideradas significativas pelo Teste de Mann-Kendall (Tabela 30).

Já os meses de fevereiro e junho demonstraram tendências lineares negativas mais expressivas, no entanto, após a aplicação do Teste de Mann-Kendall, apenas a tendência do mês de junho seria considerada significativa (**MK=2,00**) implicando numa possível redução em 16,6 mm no decorrer do período (2011-2040) (Tabela 29).

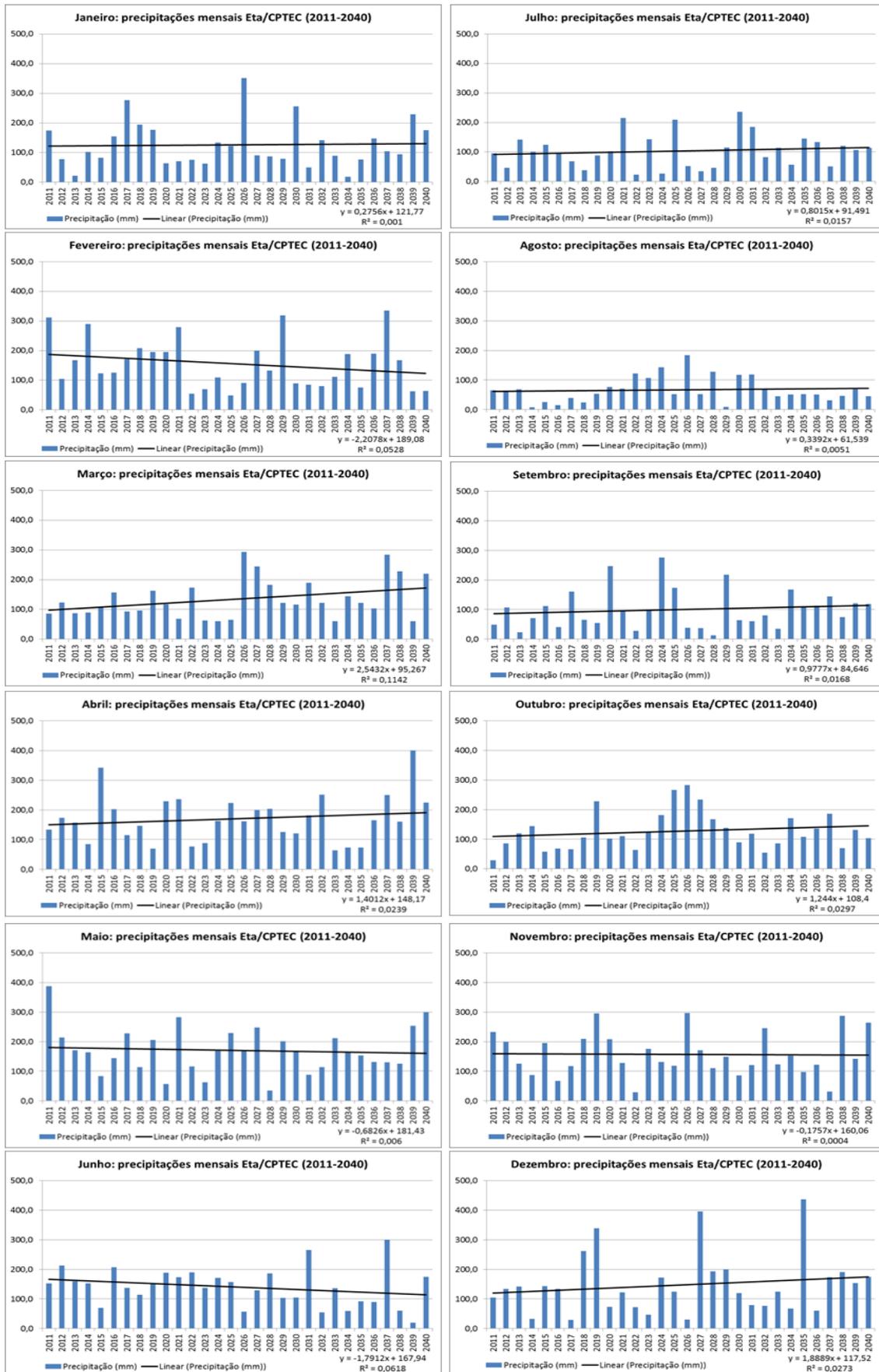


Figura 78. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2011-2040).

Tabela 29: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no *time-slice* (2011-2040) com nível de confiança de 95%.

Meses analisados	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,37	NS
Fevereiro	1,45	NS
Março	1,52	NS
Abril	0,66	NS
Maio	0,27	NS
Junho	2,00*	Negativa significativa
Julho	0,75	NS
Agosto	0,02	NS
Setembro	1,16	NS
Outubro	1,16	NS
Novembro	0,34	NS
Dezembro	0,91	NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.

NS = tendência não significativa.

Na Figura 79 observam-se as precipitações mensais propostas para o *time-slice* de 2041-2070 e suas respectivas tendências lineares. A análise dos gráficos (Figura 79) mostra que as precipitações dos meses de janeiro, fevereiro, junho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, embora se mostrassem, ora positivas, ora negativas, não indicariam modificação significativa no período. As tendências, positiva de abril e negativa de maio, também não seriam consideradas significativas quanto a mudanças quando avaliadas pelo Teste de Mann-Kendall (Tabela 31). No entanto, o mesmo teste indicou significativa tendência de mudança na série dos meses de março (**MK=2,04**) e julho (**MK=2,55**), sugerindo, respectivamente, um incremento de 111,5 mm e uma redução em 67,5 mm no período, conforme dados na Tabela 30.

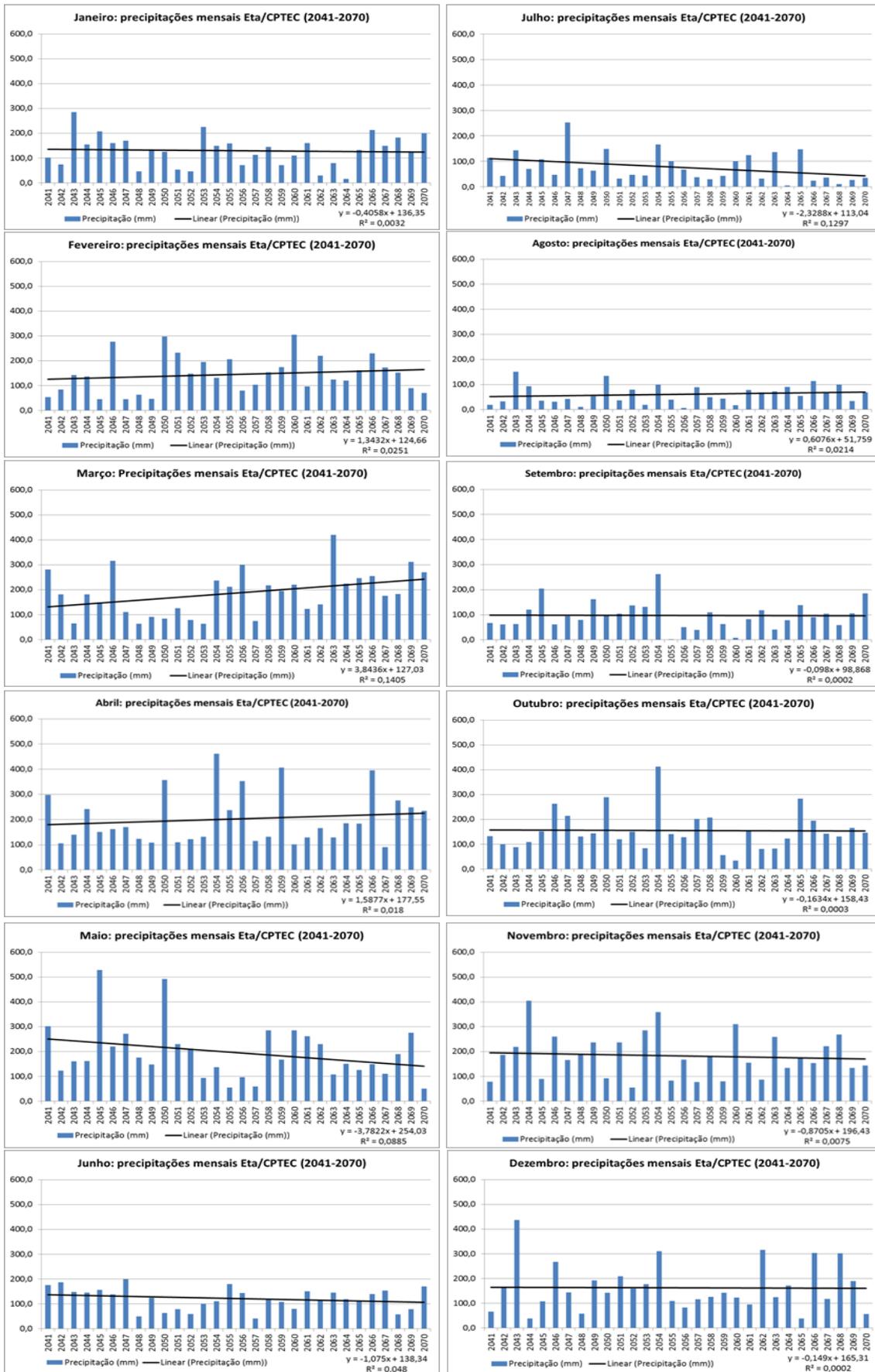


Figura 79. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2041-2070).

Tabela 30: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no *time-slice* (2041-2070) com nível de confiança de 95%.

Meses analisados	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,12	NS
Fevereiro	0,98	NS
Março	2,04*	Positiva significativa
Abril	0,73	NS
Maiο	1,39	NS
Junho	1,02	NS
Julho	2,55*	Negativa significativa
Agosto	1,34	NS
Setembro	0,34	NS
Outubro	0,20	NS
Novembro	0,27	NS
Dezembro	0,05	NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.
NS = tendência não significativa.

Já na Figura 80 é possível observar as precipitações mensais propostas para o último *time-slice* da série (2071-2099) e suas respectivas tendências lineares. Os gráficos da figura (Figura 80) mostram que as tendências mensais encontradas, ora positivas, ora negativas não indicariam mudança significativa, após a aplicação do Teste de Mann-Kendall (Tabela 31). Dessa forma, os dados mensais do *time-slice* de 2071-2099, ao menos estatisticamente, apontariam para uma maior estabilidade em seus valores propostos pelo Modelo Eta/CPTEC, podendo considerar a variabilidade proposta como sendo normal à dinâmica das séries.

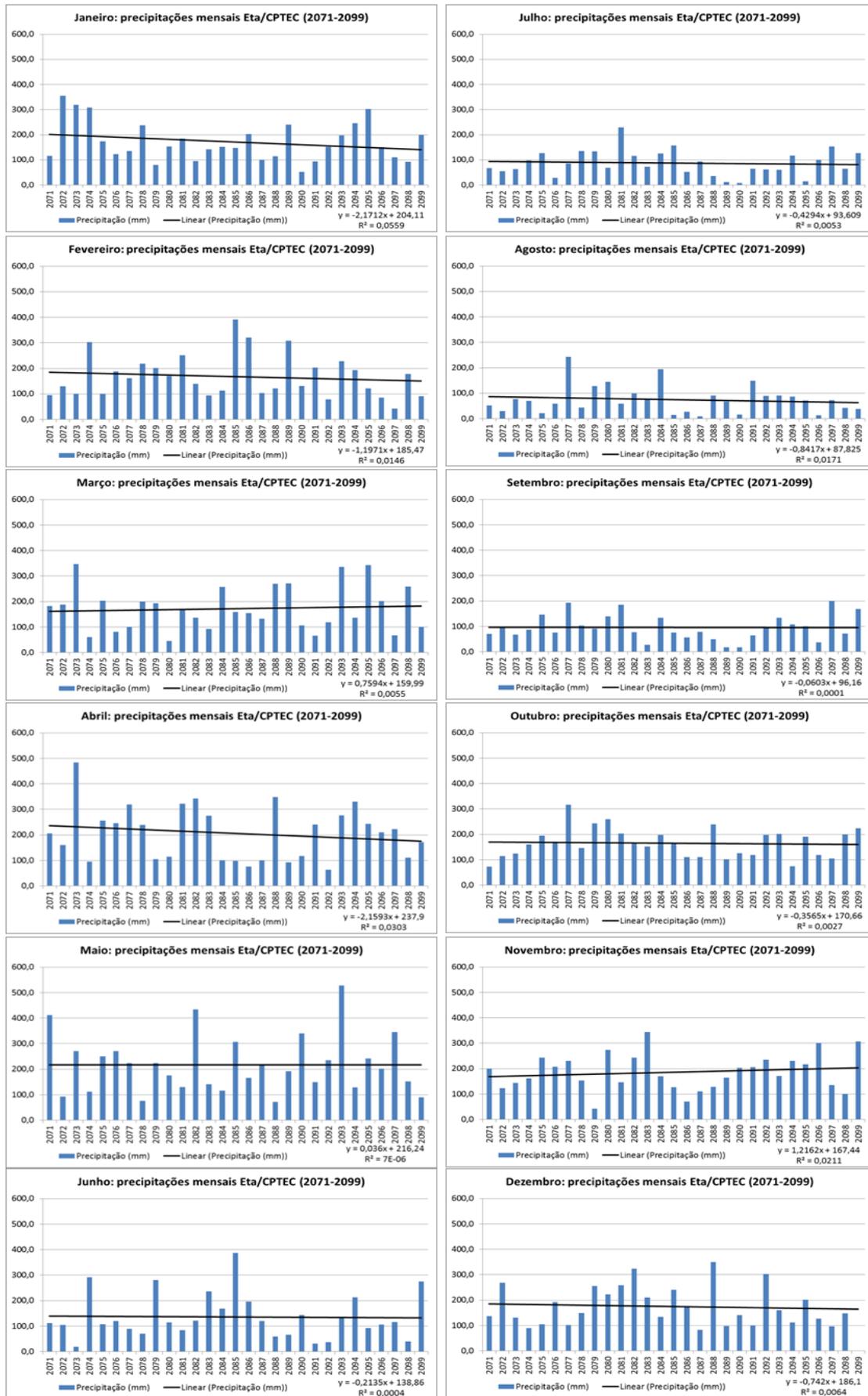


Figura 80. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2071-2099).

Tabela 31: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana no *time-slice* (2071-2099) com nível de confiança de 95%.

Meses analisados	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	0,94	NS
Fevereiro	0,75	NS
Março	0,26	NS
Abril	0,71	NS
Maio	0,11	NS
Junho	0,08	NS
Julho	0,23	NS
Agosto	0,49	NS
Setembro	0,26	NS
Outubro	0,11	NS
Novembro	0,90	NS
Dezembro	0,47	NS

NS = tendência não significativa.

Por fim, ao se analisar o resultado dos totais mensais propostos pelo Modelo Eta/CPTEC para todo o período (2011-2099) (Figura 81), observa-se que as precipitações dos meses de janeiro, março e outubro indicariam, após aplicação do Teste de Mann-Kendall, tendência positiva significativa para mudanças (Tabela 32).

Dessa forma, é possível considerar que os dados projetados pelo Modelo Eta/CPTEC, **para a região dos areais no Rio Grande do Sul no cenário SRES A1B, sugerem um aumento nas precipitações da ordem de 52,4 mm para os meses de janeiro, 72,8 mm para os meses de março e 52,2 mm para os meses de outubro.**

O aumento nas precipitações (52,4 mm) nos meses de janeiro intensificaria a capacidade de saturação dos solos favorecendo, ainda mais, o escoamento superficial, potencializador de parte dos processos morfodinâmicos dos areais (ravinamentos e voçorocamentos). Dessa forma, o incremento de 72,8 mm sugeridos pelos modelos, poderia contribuir para o rápido abastecimento dos reservatórios profundos, e que, ao ocorrerem episódios de precipitação extrema (≥ 100 mm), também favoreceria o escoamento superficial concentrado levando a dinâmicas erosivas. Fenômeno semelhante ao proposto para o mês de março seria, também, observado nos meses de outubro, com o incremento de 52,2 mm, uma vez que este mês enquadra-se no que Verdum (1997) denominou como **primavera hidrológica**.

Dessa forma, se supõe que **os significativos aumentos nos volumes propostos para as precipitações nos meses de outubro, janeiro e março favoreceriam a dinâmica processual da arenização** no sudoeste do Rio Grande do Sul.

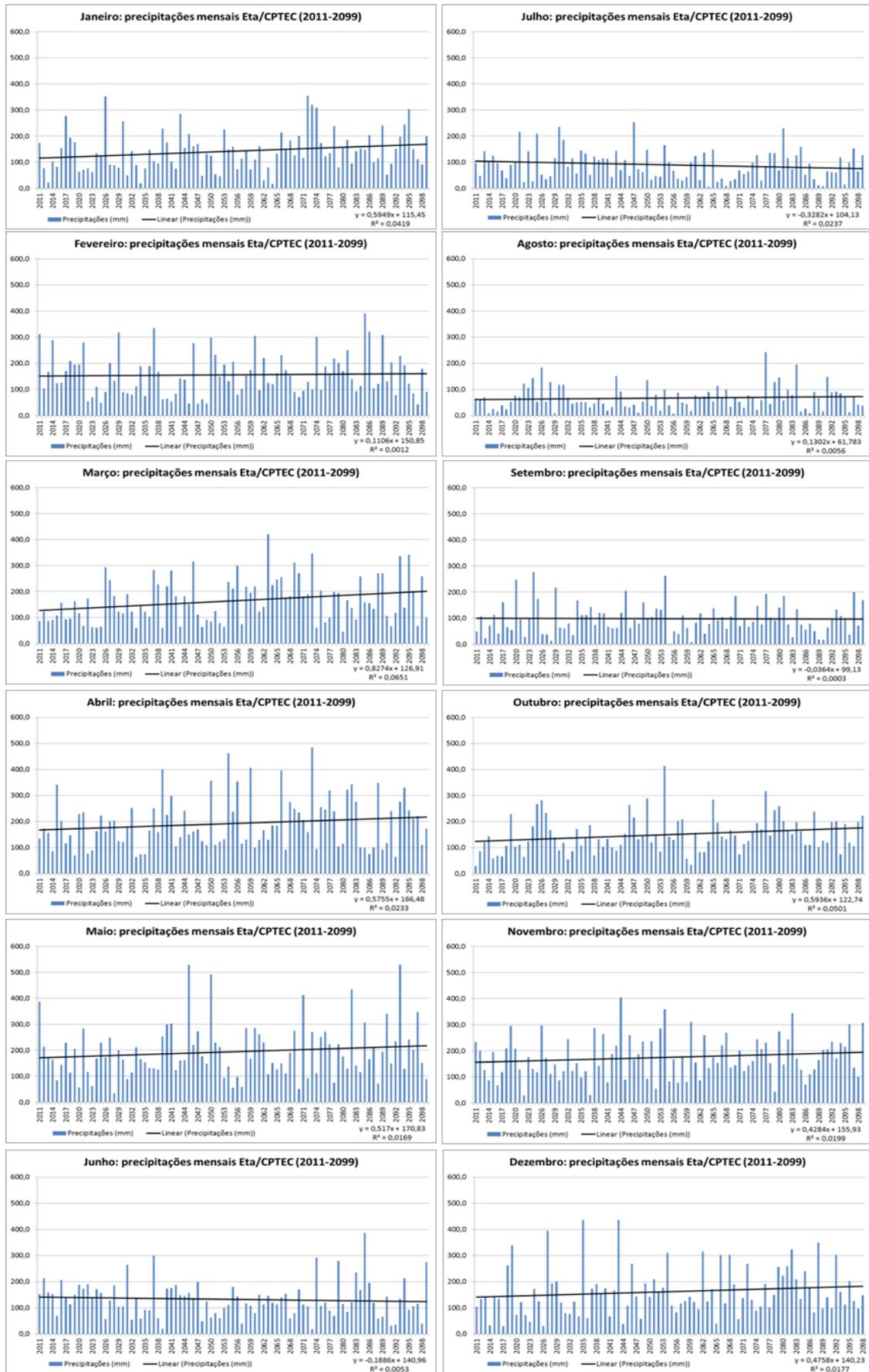


Figura 81. Projeções do Modelo Eta/CPTEC dos totais mensais para Manoel Viana (2071-2099).

Tabela 32: Resultado da análise de tendência dos totais mensais da saída do Modelo Eta/CPTEC para Manoel Viana o período de 2011-2099 com nível de confiança de 95%.

Meses analisados	Teste de Mann-Kendall (MK calculado)	Tendência ($\alpha = 0,05$)
Janeiro	2,18*	Positiva significativa
Fevereiro	0,39	NS
Março	2,34*	Positiva significativa
Abril	1,15	NS
Mai	0,95	NS
Junho	1,73	NS
Julho	1,25	NS
Agosto	0,63	NS
Setembro	0,33	NS
Outubro	2,62*	Positiva significativa
Novembro	1,44	NS
Dezembro	1,62	NS

*Resultado indicando possibilidade de modificação no comportamento da série.

NS = tendência não significativa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do referencial teórico do presente trabalho procurou conduzir as discussões científicas, partindo-se de uma visão mais ampla, envolvendo o papel do IPCC e seus relatórios científicos (AR), em direção a uma escala específica - análise dos eventos extremos no Rio Grande do Sul. Nesse intervalo foram descritos os passos dados pela organização (IPCC) na condução de metodologias que permitissem avaliar, cientificamente, a dinâmica da atmosfera e as mudanças climáticas. Ao mesmo tempo, buscou-se (e continua-se a buscar) demonstrar as metodologias e técnicas que pudessem auxiliar na previsão das possíveis condições climáticas globais futuras com base em dados observados no presente e no passado.

O desenvolvimento dos Modelos Globais Atmosféricos (GCMs), sobretudo, os Modelos Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs), representam uma parte desse esforço, onde diversos pesquisadores no mundo procuram representar os prováveis climas futuros, em relação aos cenários propostos (SRES) pelo IPCC. Técnicas de regionalização - *downscaling* – foram desenvolvidas procurando ampliar a escala espacial desses modelos, sem que fossem perdidas as características da dinâmica atmosférica projetada, no intuito de aprimorar as projeções numa escala em nível regional.

O aprimoramento das técnicas de ampliação (*downscaling*) dos dados dos modelos globais passa, necessariamente, pelo conhecimento detalhado da complexa dinâmica climática de uma determinada localidade nos níveis regional e local, bem como suas interações. O conhecimento da climatologia de uma localidade, sua relação com as anomalias de baixa frequência (decenais e interdecenais), bem como, a ocorrência de eventos pluviométricos extremos de alta frequência (interanuais, mensais e eventuais), permitem que os pesquisadores do clima aperfeiçoem as técnicas e a representação dos modelos em questão.

Sendo assim, com base na metodologia empregada, desde a escolha, preparação e qualificação dos dados pluviométricos dos postos da região de Alegrete/RS, até os métodos e as técnicas adotados para as efetivas análises da dinâmica, passada e futura, das chuvas, é possível se construir um conjunto de reflexões que são expostas a seguir.

A reconstrução de uma série de dados pluviométricos de 82 anos permitiu verificar que houve tendência de redução nos totais anuais, passíveis de serem considerados como um sinal de mudanças climáticas. Análises sazonais

demonstraram que o fenômeno ENOS modulou a dinâmica pluviométrica durante todo o período analisado, sobretudo, em relação à ocorrência de intensas precipitações e sua fase positiva (El Niño).

Muito embora as precipitações mensais não tenham demonstrado mudanças significativas ao longo da série, o aumento nos totais pluviométricos em fevereiro, outubro e novembro, bem como, reduções nos meses de abril e maio, sugerem que as precipitações diárias, podem indicar mudanças consideradas significativas, uma vez que, no caso dos aumentos pluviométricos, os CCM e as entradas de Frentes Polares pelo oeste do Rio Grande do Sul contribuem para esses excessos, como pressupõem as referências científicas discutidas no corpo da tese.

O aumento significativo da quantidade de dias com precipitações extremas, observado nos meses de novembro e fevereiro, indica que **a dinâmica da arenização associada ao escoamento superficial, pode ter se intensificado durante o século XX, sobretudo, a partir dos anos 1980.**

Da mesma forma, o aumento significativo da quantidade de dias úmidos e de baixa pluviosidade nos meses de abril pode ter contribuído para a dinâmica hídrica da arenização, umedecendo os solos, para sua rápida saturação, a cada ocorrência dos eventos extremos nessa estação. Fenômeno inverso pode ter ocorrido nos meses de janeiro, uma vez que houve redução da quantidade de dias com precipitações ≥ 50 mm em meses tradicionalmente mais secos.

Sendo assim, com base na análise desenvolvida sobre as precipitações na região, onde se encontram os postos pluviométricos de Alegrete e Manoel Viana, no decorrer do século XX e suas possíveis relações com as mudanças climáticas, é possível considerar que a dinâmica dos areais, sobretudo, no que se refere às precipitações “normais”, as quais foram estudadas nas obras de Suertegaray (1987, 1998), Suertegaray *et al.*, (2001, 2005), Verdum (1997 e 2004), Verdum e Soares (2010) e Verdum *et al.*, (2001), não demonstram ter sofrido grandes modificações no decorrer do período de estudo.

Entretanto, ao se considerar os eventos pluviométricos extremos, como os responsáveis pelo escoamento superficial concentrado e intenso, o aumento na ocorrência destes eventos nos meses de novembro e fevereiro pode ter contribuído para a intensificação dos processos morfodinâmicos estudados por Verdum (1997; 2012) e Suertegaray, Guasselli e Verdum (2004).

Dessa forma, as mudanças significativas na pluviosidade encontradas para o espaço geográfico de ocorrência dos areais indicam que, no século XX, além dos

eventos extremos terem se tornado mais frequentes, as precipitações durante o **inverno hidrológico**, proposto por Verdum (1997), contribuíram para o aumento da umidade disponível no sistema hidrológico (atmosférico, superficial e subsuperficial). Essa disponibilidade hídrica no sistema, certamente, trouxe consequências para a dinâmica da arenização.

Já, o estudo desenvolvido utilizando os dados gerados pelo Modelo Eta/CPTEC para a região de Manoel Viana no cenário SRES A1B, revelou que o modelo (Eta/CPTEC 40 km) conseguiu reproduzir, razoavelmente bem, a dinâmica das precipitações na fase de calibração (1961-1990).

Partindo desse princípio, as tendências anuais e trimestrais dos *times-slices* propostos não sugerem mudanças significativas para o século XXI. Entretanto, a avaliação dos conjuntos anuais e trimestrais aponta para a ocorrência de **aumentos significativos nas precipitações, sobretudo nas estações do verão e outono**. É possível que, assim como tenha ocorrido no decorrer do século XX, o fenômeno ENOS module as precipitações na primavera, mas, sobretudo, no verão e outono ao longo do século XXI, intensificando os valores pluviométricos.

As reduções nas precipitações mensais nos meses de junho e o aumento nas precipitações de outubro, janeiro e março pormenorizam as projeções apontadas pelos modelos para o final do século XXI, outro forte indicativo da possível influência da componente positiva do ENOS, bem como da ação dos CCM.

Dessa maneira, é possível associar o aumento da frequência dos eventos extremos observados no decorrer do século XX, e suas relações com a dinâmica da arenização, com o aumento nas precipitações sugerido pelos dados do Modelo HadCM3/Eta/CPTEC – 40 km para o século XXI.

No entanto, julga-se necessário a continuidade dos estudos para melhor compreender a dinâmica atmosférica na região de abrangência dos processos de arenização no sudoeste gaúcho.

Para isso, sugere-se, na continuidade dos trabalhos, a ampliação dos estudos relacionando os CCM e sua atuação no sudoeste do Rio Grande do Sul, a compreensão da dinâmica das temperaturas diárias, e de como elas influenciam na ação dos ventos locais (outro importante componente na dinâmica da arenização). A dinâmica eólica, também, merece atenção especial, visto ser, também, responsável pelos processos morfodinâmicos nos areais.

Já, em relação à ampliação dos estudos sobre os possíveis cenários climáticos futuros, uma questão é de que forma o aumento (ou redução) das temperaturas influenciariam na ação dos ventos na região dos areais e, conseqüentemente, na sua dinâmica?

Acredita-se que a instalação de Plataformas de Coleta de Dados (PCD) ou Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) nas áreas de domínio dos processos de arenização forneceriam informações precisas sobre a dinâmica topoclimática das variáveis atmosféricas. Dessa forma, o conjunto de informações diárias (radiação solar, temperatura, umidade do ar, ventos – direção, velocidade e rajadas, e, chuvas) permitiria compreender, com maior nível de detalhamento, as condições atmosféricas locais associadas à dinâmica superficial.

Espera-se que, o conhecimento produzido sobre a dinâmica das precipitações no decorrer do século XX, sobretudo quanto ao papel dos eventos extremos na relação com o processo de arenização, assim como os estudos que envolvem a produção de cenários climáticos futuros para a região, possam contribuir para a implantação de políticas públicas que privilegiem ações de proteção ambiental no bioma Pampa, frente à expansão acelerada das atividades agropecuárias na região.

Enfim, ao concluir o presente trabalho, respondidos os questionamentos inicialmente propostos, surgiram novas dúvidas, as quais estão muito longe de esgotar o assunto.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. **Domínios da natureza do Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AGRA, S.G.; SOUZA, V.C.B.; NEVES, M.G.F.P.; CRUZ, M.A.S. Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais....** Curitiba, 2003. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo59.pdf>> acesso em 29 de março de 2012.

ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.M.G.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VICENT, L.; STEPHENSON, D. B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAIN, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**. vol. 111, D05109, 2006. (doi: 10.1029/2005JD00690). Disponível em <<https://bora.uib.no/bitstream/1956/1477/1/Stephenson.pdf>>. Acesso em: 27 de maio de 2011.

ALEXANDRE, G.R. **Estudo para identificação de tendência do regime pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de métodos estatísticos e modelos climáticos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte, 2009. 193p.

ALVES, E.D.L.; PRADO, M.F.; SPECIAN, V. Análise da variabilidade climática da precipitação pluvial em Barra do Garças, Mato Grosso. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**. Uberlândia, v.2, n.2, p.512-523, jul./dec. 2011. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/13326/8099>>. Acesso em 15 de janeiro de 2012.

ALVES, J.M.B.; BRISTOT, G.; COSTA, A.A.; MONCUNNIL, D.F.; DA SILVA, E.M.; DOS SANTOS, A.C.S.; BARBOSA, W.L.; NÓBREGA, D.S.B.; FILHO, V.P.S.; SOUZA, I.A. Uma aplicação da técnica de “downscaling” dinâmico no setor norte da região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.18, n.2, 161-180, 2003. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=32>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

ALVES, J.M.B.; CAMPOS, J.N.B.; SOUZA FILHO, F.A.; MONCUNNIL, D.F.; DA SILVA, E.M.; BARBOSA, W.L.; FERREIRA, A.G.; SUN, L.; MOURA, A.D. Uma avaliação preliminar de simulações climáticas em um modelo regional espectral aninhado em um modelo global (ECHAM4.5) sobre o setor norte da região Nordeste do Brasil (1971-2000). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 191-206, 2005. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=126>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

ALVES, J.M.B.; COSTA, A.A.; SOMBRA, S.S.; CAMPOS, J.N.B.; SOUZA FILHO, F.A.; MARTINS, E.S.P.R.; DA SILVA, E.M.; BARBOSA, W.L.; MONCUNNIL, D.F. Um estudo inter-comparativo de previsão sazonal estatísticas-dinâmica de precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, 354-372, 2007. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=634>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

ALVES, J.M.B.; CAMPOS, J.N.B.; NACIMENTO, L.S.V. Sensibilidade intrasazonal de um downscaling dinâmico de precipitação (1971-2000): uma análise na bacia hidrográfica do Açude Castanhão-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, 73-87, 2008. Disponível em

<http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=717>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

ALVES, L.M.; MARENGO, J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**, 100:337-350, 2009. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00704-009-0165-2>> Acesso em 10 de setembro de 2012.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P.; MARENGO, J.A.; PISNITCHENCO, I. ALVES, L.M., FERNANDEZ, J.P.R. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais: relatório 3**. Brasília: MMA, 2007. Disponível em <<http://www.grec.iag.usp.br/outros/ambrozzi/relatorio3.pdf>>. Acesso em 20 de maio de 2011.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA F. A. S. Análise climática da bacia do rio Paraíba – Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista de Engenharia Ambiental**. v.6, n.3, p.508-523, 2009a. Disponível em <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=344&layout=abstract>> . Acesso em 15 de junho de 2012.

ARAÚJO, L.E.; MORAES NETO, J.M.; SOUSA, F.A.S. Classificação da precipitação anual e da quadra chuvosa da bacia do rio Paraíba utilizando Índices de Anomalia de Chuva (IAC). **Revista Ambiente & Água – an Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v.4,, n.3, 2009b. Disponível em <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/300/pdf_231>. Acesso em 15 de junho de 2012.

ARAÚJO, L.E.; SILVA, D.F.; MORAES NETO, J.M.; SOUSA, F.A.S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, Recife: UFPE. v.24, n.1, jan/abr. 2007. Disponível em <<http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/viewFile/96/53>>. Acesso em 15 de junho de 2012.

AZEVEDO, P.V.; SILVA, V.P.R. Índice de seca para a microrregião do agreste da Borborema, no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 9(1): 66-72, 1994. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=431>. Acesso em 15 de junho de 2012.

BARBOSA, G.S.; IOST, C.; SCHIESSL, M.A.; MACIEL, G.F. Estimativa de erosividade da chuva (R) na bacia hidrográfica do rio Manoel Alves Grande localizado no cerrado tocantinense. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Fortaleza, 2004. Disponível em <<http://www.cbmet.com/>>. Acesso em 22 de maio de 2011.

BETTS, R.; NOBRE, C.; KAY, G.; SAMPAIO, G.; CHOU, S. Como modelamos o clima. In: MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; CHOU, S. C.; TOMASELLA, J.; SAMPAIO, G.; ALVES, L. M.; OBREGÓN, G. O.; SOARES, W. R. BETTS, R.; KAY, G. **Riscos das Mudanças Climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil-Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. 2011. Disponível em <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/relatorio_port.pdf>. Acesso em 02 de fevereiro de 2013.

BLAIN, G.C. Considerações estatísticas relativas a oito séries de precipitação pluvial da Secretaria de Agricultura e abastecimento do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 12-23, 2009. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=920>. Acesso em 21 de maio de 2011.

BLAIN, G.C. Detecção de tendências monótonas em séries mensais de precipitação pluvial no Estado de São Paulo. **Bragantia, Campinas**, v.69, n4, p.1027-1033, 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v69n4/v69n4a31.pdf>>. Acesso em 27 de maio de 2011.

CALDEIRA, T.L.; ARAÚJO, M.M.F.; BESKOW, S. Análise de série hidrológica de precipitação no sul do Rio Grande do Sul para aplicação na gestão e monitoramento de recursos hídricos. In: IV Encontro Sul-brasileiro de Meteorologia. **Anais...** UFPel, Pelotas, 2011. Disponível em <http://wp.ufpel.edu.br/meteoro/files/2011/05/tamara_caldeira_1.pdf>. Acesso em 29 de março de 2012.

CASSOL, D.; GOMES, A.P. Comparação entre dados de precipitação registrados através de pluviômetro e pluviógrafo. In: XX Congresso de Iniciação Científica e III Mostra Científica. **Anais...** UFPel, Pelotas, 2011. Disponível em <www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pit/en/en_00897.pdf>. Acesso em 29 de março de 2012.

CERA, J.C.; FERRAZ, S.E.T.; BENDER, F.D. Influência da Oscilação Decadal do Pacífico e as mudanças no regime de chuva no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência e Natura**, ed. Especial Micrometeorologia, 2009. Disponível em <http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/view/410/321>. Acesso em 17 de novembro de 2012.

CERA, J.C. **Variações climáticas na precipitação do Rio Grande do Sul no clima presente e futuro**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria: 2011. Disponível em <http://w3.ufsm.br/meteorologia/pos/dissertacoes/07_Jossana_Cera_17_03_2011-1.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

CHOU, S.C. Modelo regional Eta. **Climanálise**. v.1, n.Ed. Especial, p.203-207, 1996. Disponível em <<http://www6.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/27.html>>. Acesso em 18 de fevereiro de 2011.

CHOU, S. C.; NUNES, A. M. B.; CAVALCANTI, I. F. A. Extend range forecast over South America using the regional eta model. **J. Geophys. Res.** Washington, v.105, n.d8, p.10.147-10160. 2000. Disponível em <http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/06.08.08.45/doc/Chou_Extended%20range%20forecasts%20over%20.pdf>. Acesso em 19 de fevereiro de 2011.

CHOU, S.C.; MARENGO, J.A.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; PESQUERO, J.F.; ALVES, L.M.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES, P. Downscaling of South America presente climate driven by 4-member HadCM3 runs. **Climate Dynamics**, v.32, Issue 3-4, p.635-653, 2011. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00382-011-1002-8?LI=true>>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

DIAS, M.A.F.S. Complexos convectivos de mesoescala sobre a região Sul do Brasil. **Climanálise**. Ed. Especial – Comemoração 10 anos. 1996. Disponível em <http://www6.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/mcc_cli.html>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

DONATO, C.F.; RANZINI, M.; CICCIO, V.; ARCOVA, F.C.S.; SOUZA, L.F.S. Balanço de massa em microbacia experimental com Mata Atlântica, na Serra do Mar, Cunha, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.20, n.1, p.1-11, jun. 2008. Disponível em <http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/revista_if/rev20-1pdf/1-11.pdf>. Acesso em 29 de março de 2012.

EWALD, K.H. Alterações do volume de precipitação no município de Marechal Cândido Rondon no período de 1965 a 2008. XVI Encontro Nacional de Geógrafos, **Anais...** Porto Alegre: 2010. Disponível em <<http://www.agb.org.br/xvieng/anais/edp.php?orderBy=inscricoes.nome>>. Acesso em 15 de junho de 2012.

FECHINE, J.A.L.; GALVINIO, J.D. Aplicação do teste de Mann-Kendall na análise de tendências climáticas em anos de El Niño – bacia hidrográfica do rio Pontal – estado de Pernambuco. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Belém, 2010. Disponível em <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/42_65198.pdf>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

FOLHES, M.T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendência nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Ambi-Agua**, Taubaté, v.1, n.1, p.61-71, 2006. Disponível em <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/16/pdf_62> acesso em 30 de janeiro de 2012.

FRANK, B.; SILVA, H.S.; SARAIVA, J.M.B.; RIZZO, P.T. Estudo climatológico da bacia do Itajaí: resultados preliminares. In: IV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Brasília, 1986. Disponível em <<http://www.cbmet.com/>>. Acesso em 10 de março de 2012.

GALVANI, E. Estatística descritiva em sala de aula. In: VENTURI, L.A.B. **Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula**. São Paulo: ed. Sarandi, 2011.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**. v.11. November, 1998. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%281998%29011%3C2863%3APAISBA%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em 02 de setembro de 2012.

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. January, 2000. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%282000%29013%3C0035%3ACVISSA%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em 02 de setembro de 2012.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T. Variações interdecadais da relação entre eventos El Niño/La Niña e precipitação no Brasil. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002. Disponível em <<http://www.cbmet.com/#>>. Acesso em 2 de maio de 2011.

GRIMM, A.M.; PSCHEIDT, I. Padrões atmosféricos associados a eventos severos de precipitação no sul do Brasil durante El Niño, La Niña e anos Neutros. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Fortaleza, 2004. Disponível em <<http://www.cbmet.com/#>>. Acesso em 2 de maio de 2011.

GRIMM, A.M.; SAMPAIO, G. Observações ambientais atmosféricas e de propriedades da superfície. In: PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Base Científica das Mudanças Climáticas**: primeiro relatório de avaliação nacional. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 391 pp. Disponível em <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PBMC-VOLUME1-RAN1.pdf>>. Acesso em 10 de outubro de 2012.

GRIMM, A.M. TEDESCHI, R.G. Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Fortaleza, 2004. Disponível em <<http://www.cbmet.com/#>>. Acesso em 2 de maio de 2011.

GRIMM, A.M.; TEDESCHI, R.G. Episódios El Niño e La Niña e a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil: análise no litoral da Região Sul. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...** Florianópolis, 2006. Disponível em <<http://www.cbmet.com/#>>. Acesso em 2 de maio de 2011.

GROPPO, J.D.; MILDE, L.C.E.; GUAMERO, M.E.; MORAES, J.M.; MARTINELLI, L.A. Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. **Revista de Ciência & Tecnologia**. v.8, n.18, p.109-117, 2001. Disponível em <<http://www.unimep.br/phpg/editora/revistaspdf/rct18art10.pdf>>. Acesso em 30 de janeiro de 2012.

GUANDIQUE, M.E.G.; SILVEIRA, T.A.; SILVA, D.S. Variação espacial e temporal da precipitação pluviométrica na bacia do rio Sorocaba-SP. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006. Disponível em <<http://www.cbmet.com/>>. Acesso em 10 de março de 2012.

HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y.M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; CORRADI, V.; GARCIA, J.; GRIMM, A.M.; KAROLY, D.; MARENGO, J.A.; MARINO, M.B.; MONCUNILL, D.F.; NECHET, D.; QUINTANA, J.; REBELLO, E.; RUSTICUCCI, M.; SANTOS, J.L.; TREBEJO, I.; VINCENT, L.A. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3695.1>>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC - Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Univ. Press. 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>. Acesso em 20 de abril de 2011.

LIMA, J.P.R.; ALVES, J.M.B. Um estudo de downscaling dinâmico de precipitação intrasazonal acoplado a modelo chuva-vazão na bacia hidrográfica Alto-médio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, 323-338, 2009. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=947>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

LIMA, J.R.A.; NEVES, D.J.D.; ARAÚJO, L.E.; AZEVEDO, P.V. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista de Geografia (UFPE)**. v.28, n.3, 2011. Disponível em <<http://www.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/500/387>>. Acesso em 22 de janeiro de 2012.

MADDOX, R.A. Mesoscale Convective Complexes. **Bulletin American Meteorological Society**. v.61, n.11, November, 1980. Disponível em <[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1980\)061<1374:MCC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1980)061<1374:MCC>2.0.CO;2)>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

MANCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.R.; ROCHA, H.M. Distribuição espaço-temporal e sazonalidade das chuvas no Estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v.16, n.4 – Out/Dez., 2011. p.157-167 Disponível em <<http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=649&t=Distribui%20E3o+Espa%20Temporal+e+Sazonalidade+das+Chuvas+no+Estado+do+Mato+Grosso>>. Acesso em 15 de junho de 2012.

MANTUA, N.J.; HARE, S.R. The Pacific Decadal Oscillation. **Journal of Oceanography**. Vol. 58, pp.35 to 44, 2002. Disponível em <<http://download.springer.com/static/pdf/990/art%253A10.1023%252FA%253A1015820>>

[616384.pdf?auth66=1354999242_1ee29bb1c2a38bc4a56eb76ce9aad021&ext=.pdf>](#). Acesso em 23 de agosto de 2012.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. INPE/CRS, Santa Maria: 2008. Disponível em <http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>> Acesso em 10 de abril de 2011.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a Biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XX**. Série Biodiversidade, n. 26, MMA, 2007a. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/arquivos/14_2_bio_Parte%201.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2011.

MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no século XX e cenários no Brasil e na América do Sul para o século XXI derivados dos Modelos de Clima do IPCC. Relatório nº 1. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a diversidade**. MMA. CPTEC/INPE, São Paulo: 2007b. Disponível em http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_1.pdf>. Acesso em: 12 de maio de 2011.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudo Avançados 22** (63), 2008.

MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, 215-226, 2005. Disponível em http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=129>. Acesso em 18 de maio de 2011.

MARENGO, J.A.; CHOU, S.C.; KAY, G.; ALVES, L.M.; PESQUERO, J.F.; SOARES, W.R.; SANTOS, D.C.; LYRA, A.A.; SUEIRO, G.; BETTS, R.; CHAGAS, D.J.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F.; TAVARES, P. Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, v.38, Issue 9-10, p.1829-1848, 2012. Disponível em <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00382-011-1155-5>>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. **Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Sumário Técnico. MMA, 2007. Disponível em <http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em 22 abril de 2011.

MARENGO, J. A.; SOARES, W, Impacto das modificações da mudança climática. Síntese do Terceiro Relatório do IPCC. Condições climáticas e recursos hídricos no Norte do Brasil. Chapter 6. In: **Clima e Recursos Hídricos 9**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos/FBMC-ANA. Porto Alegre, Brasil, 2003. p 209-233. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2003/Mudanca_clima_Brasil-IPCC_2001.pdf>. Acesso em 22 de abril de 2011.

MARENGO, J.A.; SOARES, W.R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as derived from the NCEP-NCAR reanalyses: characteristics and temporal variability. **Journal of Climate**. v.17, n.12, p.2261-2280, 2004. Disponível em [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017%3C2261:COTLJE%3E2.0.CO;2)>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenários de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, edição n. 8 - maio, Mudanças Climáticas,

Campinas: 2007. Disponível em < http://www.multiciencia.unicamp.br/art01_8.htm>. Acesso em 12 de maio de 2011.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da Região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 2, p. 71–86. 2006. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/viewFile/25388/17013>>. Acesso em 15 de janeiro de 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L.C.B. Aquecimento Global, El Niños, Manchas Solares, Vulcões e Oscilação Decadal doo Pacífico. **Revista Climanálise**, ano 3, n.1, 2005. Disponível em < http://www6.cptec.inpe.br/revclima/revista/pdf/Artigo_Aquecimento_0805.pdf >. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

MOLION, L.C.B. Aquecimento Global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**. Agosto, 2008. Disponível em < <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/viewFile/25404/17024>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

MONTEIRO, C.A.F. Clima. In: IBGE. **Geografia do Brasil, grande região sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1969, v.4, tomo I, p. 114-166.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961.

MORUZZI, R.B.; CUNHA, C.M.L.; BRAGA, R. A questão do escoamento superficial em áreas degradadas por processos erosivos lineares: a importância de uma estratégia de análise. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**. Espírito Santo do Pinhal-ES. v.6, n.2, p.73-88, mai./ago., 2009. Disponível em: <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=216>>. Acesso em 29 de março de 2012.

NEVES, D.J.D.; LIMA, J.R.A.; ARAÚJO, L.E.; AZEVEDO, P.V. Tendências climáticas da precipitação pluvial no estado do Maranhão. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...** João Pessoa, 2011. Disponível em <<http://sic2011.com/sic/arg/42506793185574250679318.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

NIMER, E. Climatologia da Região Sul. In: NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NIMER, E. Clima. In: **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

NOBRE, A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Cenários de mudança climática pra a América do Sul para o final do século XXI. **Parcerias e Estratégias**. Brasília: n.27, dezembro, 2008. Disponível em <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/328/322>. Acesso em 3 de abril de 2011.

NOBRE, P.; MOURA, A. D.; SUN, L. Dynamical downscaling of seasonal climate prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP'S Regional Spectral Model at IRI. **Bull. Amer. Meteorol. Soc.** Boston, v.82, n.12, p.2787-2796. 2001. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477%282001%29082%3C2787%3ADDOSCP%3E2.3.CO%3B2>>. Acesso em 19 de fevereiro de 2013.

OBREGÓN, G.; MARENGO, J.A. **Caracterização do clima no Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e Temperaturas Médias Extremas**. Relatório nº 2. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Diretoria de Conservação

da Biodiversidade. 2007. Disponível em <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_2.pdf>. Acesso em 16 de junho de 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIORENZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.11, p.1186-1192, 2010. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n11/v14n11a08.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC - **Base Científica das Mudanças Climáticas**: primeiro relatório de avaliação nacional. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 391 pp. Disponível em <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/PBMC-VOLUME1-RAN1.pdf>>. Acesso em 10 de outubro de 2012.

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC – Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas – Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. Cambridge Univ. Press. 2007b. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17685/IPCC_Painel_Intergovernamental_sobre_Mudanca_do_Clima.html>. Acesso em 20 de abril de 2011.

PAIVA, E.M.C.D.; CLARKE, R.T. Análise de tendência de precipitação na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**. n.10 (1/2), p.37-41, 1995. Disponível em <<http://www.rbmet.org.br/port/index.php>>. Acesso em 20 de janeiro de 2012.

PAMPUCH, L.A. **Investigação do modo sul de precipitação no clima presente e futuro no Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria: 2010. Disponível em <http://w3.ufsm.br/meteorologia/pos/dissertacoes/01_Luana_Pampuch_11_03_2010.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

PAMPUCH, L.A.; FERRAZ, S.E.T. Investigação do modo sul em dados de precipitação no período de 1982 a 2006 no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.27, n.1, 107-116, 2012. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=1091>. Acesso em 05 de dezembro de 2012.

Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC – **Base Científica das Mudanças Climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 para o 1º Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC, Rio de Janeiro, Brasil, 2012. 391pp. Disponível em <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/noticias/288-consulta-publica-ao-volume-1-bases-cientificas-das-mudancas-climaticas-primeiro-relatorio-de-avaliacao-do-painel-brasileiro-de-mudancas-climaticas-pbmc>>. Acesso em 15 de novembro de 2012.

PESQUERO, J.F.; CHOU, S.C; NOBRE, C.A.; MARENGO, J.A. Climate downscaling over South America for 1961-1970 using the Eta Model. **Theoretical and Applied Climatology**. 2009. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00704-009-0123-z>>. Acesso em 10 de setembro de 2012.

RAMOS, M. A. B.; VIANA, S.; SANTOS, E. B. E. Mudanças climáticas. In: SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro**. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. Disponível em <<http://www.cprn.gov.br>>. Acesso em 30 de abril de 2011.

RAO, V.B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brasil: annal variations and connections with Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, 42, 81-91, 1990. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00868215?LI=true>>. Acesso em 22 de janeiro de 2013.

REIBOTA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P. AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma região bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185-204, 2010. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=977>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

RODRIGUES, R.A.; ROZIANE, S.S.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, E.C.; RODRIGUES, J.M.; JUSTINO, F.B. Verificação de tendência climática em séries temporais de temperaturas em Brasília, Distrito Federal. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...** João Pessoa, 2011. Disponível em <<http://sic2011.com/sic/arq/06241785394730624178539.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologias**. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pos-graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/PPGEA. Porto Alegre: 2011. 240p. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>>. Acesso em 10 de outubro de 2011.

ROSSATO, M.S. O clima no sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; PIRES DA SILVA, L.A.; GUASSELLI, L.A. (org). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura/Imprensa Livre, 2012.

SALVADOR, M.A.; SANTOS, L.S.F.C. Análise da precipitação na cidade de São Paulo no período de 1961-2009. **Revista Brasileira de Climatologia**. ano 6, v.7, setembro, 2010. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/view/25622>>. Acesso em 18 de março de 2012.

SANTOS, D.C. **Padrões atmosféricos associados a extremos de precipitação na primavera no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria: 2012. Disponível em <http://w3.ufsm.br/meteorologia/pos/dissertacoes/17_Daniel_Caetano_Santos_18_09_2012.pdf> Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo: v.1, n.20, jan/jul, 2003. Disponível em <http://www.agb.org.br/files/TL_N20.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2003.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento**. McGraw-Hill, Brasil. 1975.

SILLMANN, J.; ROECKNER, E. Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. **Climatic Change**. 86:83-104, 2008. DOI 10.1007/s10584-007-9308-6. Disponível em <<http://www.springerlink.com/content/532h6863610576m1/>>. Acesso em 3 de novembro de 2011.

SILVA, D.F.; SOUSA, F.A.S.; KAYANO, M.T. Uso e IAC e ondeletas para análise da influência das multi-escalas temporais na precipitação da bacia do rio Mundaú. **Revista de Engenharia Ambiental**. v.6, n.1, p.180-195, 2009. Disponível em <<http://189.20.243.4/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=182&layout=abstract>>. Acesso em 15 de junho de 2012.

SILVA, D. L. M. **Microclima e bioindicadores paleoclimáticos em paisagens com ocorrência de areais em São Francisco de Assis, RS, Brasil**. Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geografia/IGEO/UFRGS, Porto Alegre: 2009.

SILVA, M.V.; CAMPOS, C.R.J. Anomalias decadais do regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006. *Ciência e Natura*, UFSM, 33 (1): 75-89, 2011. Disponível em <http://cascavel.ufsm.br/revista_ccne/ojs/index.php/cienciaenatura/article/view/488/399>. Acesso em 17 de novembro de 2012.

SILVA, D.F.; SILVA, R.A. Uso do Teste de Mann-Kendall para detecção de tendências climáticas comparativas entre regiões cearenses. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...** João Pessoa, 2011. Disponível em <<http://sic2011.com/sic/arq/13768254901021376825490.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

SILVA, D.F.S.; SOUSA, A.B.; MAIA, L.M.; RUFINO, L.L. Efeitos da associação de eventos de ENOS e ODP sobre o Estado do Ceará. **Revista de Geografia** (UFPE). v.29, n.2, 2012. Disponível em <<http://www.revista.ufpe.br/revistageografia/index.php/revista/article/view/508/431>>. Acesso em 06 de dezembro de 2012.

SILVA DIAS, M.A.F. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, São Paulo, n.71, p.44-51, set./nov., 2006. Disponível em <http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?pid=S0103-99892006000400007&script=sci_arttext>. Acesso em 12 de maio de 2011.

SILVA JUNIOR, J.L.C.; SILVA, R.A.; MACIEL, G.F.; SILVA, G.F.G.; SANTOS, J.C. Avaliação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) como indicador climático de variabilidade pluviométrica na microrregião de Gurupi-TO. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...** João Pessoa, 2011. Disponível em <<http://sic2011.com/sic/arq/37981254607953798125460.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

SOUTO, J. J. **Deserto, uma ameaça?** Porto Alegre: DRNR, Diretoria Geral, Secretaria da Agricultura, 1985.

SOUZA, L.H.G.; BORGES, C.K.; RAMOS, A.R.D.; SANTOS, C.A.C. Eventos extremos de precipitação no estado do Ceará. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, **Anais...** João Pessoa, 2011. Disponível em <<http://sic2011.com/sic/arq/07968124354670796812435.pdf>>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

SPIEGEL, M. R. **Estatística**. Trad. e rev. de CONSENTINO, P. 3.ed. São Paulo: Pearson Makron Books/McGraw-Hill do Brasil, 1993.

STRECK, N.A.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; GABRIEL, L.F.; PAULA, G.M. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a Oscilação Decadal do Pacífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.12, p.1553-1561, dez. 2009. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n12/v44n12a01.pdf>>. Acesso em 24 de fevereiro de 2012.

STRECK, N.A.; GABRIEL, L.F.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; PAULA, F.M. Variabilidade interdecadal na série de temperatura do ar em Santa Maria, RS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.8, p.781-790, ago. 2011. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n8/01.pdf>>. Acesso em 24 de fevereiro de 2012.

SUERTEGARAY, D.M.A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí - RS**. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de

Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987. 243 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: controvérsias**. 2.ed. rev. amp. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 1998.

SUERTEGARAY, D. M. A. Desertificação: recuperação e desenvolvimento sustentável. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

SUERTEGARAY, D.M.A. Arenização: análise morfogênica. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; PIRES DA SILVA, L.A.; GUASSELLI, L.A. (org). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura/Imprensa Livre, 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. (orgs). **Atlas da Arenização Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria da Ciência e Tecnologia Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2001. 84p. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/areas.pampa/atlas.htm>>. Acesso em 10 de maio de 2011.

SUERTEGARAY, D.M.A.; PIRES DA SILVA, L.A.; GUASSELLI, L.A. (org). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura/Imprensa Livre, 2012.

SUERTEGARAY, D. M. A.; VERDUM, R.; BELLANCA, E. T.; UAGODA, R. E. S. Sobre a gênese da arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Terra Livre**, Goiânia, v. 1, n. 24, p. 135-150, 2005. Disponível em < http://www.agb.org.br/files/TL_N24.pdf>. Acesso em 10 de maio de 2011.

TEIXEIRA, M.S. **Atividade de ondas sinópticas relacionadas a episódios de chuvas intensas na região Sul do Brasil**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Meteorologia. INPE, São José dos Campos: 2005. Disponível em <<http://mtc-m16.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/07.02.14.07/doc/publicacao.pdf>> Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

TORRES, F.T.P.; MACHADO, P.J.O. **Introdução à Climatologia**. Ubá: Ed. Geographica, 2008.

TUCCI, C.E.M.(Org.) **Hidrologia: ciência de aplicação**. 4.ed., 1ª reimp. – Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009.

VALVERDE BRAMBILA, M.C.; CAMPOS VELHO, H.; FERREIRA, N. J. Downscaling Estatístico para previsão de precipitação sobre o Sudeste do Brasil. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...**, 2004, Fortaleza: Ceará, 2004. Disponível em < www.cbmet.com/cbm-files/22-440906ab2eedfa87cfb99dea25eabff1.doc>. Acesso em 12 de janeiro de 2013.

VALVERDE RAMIREZ, M.C. **Previsão e análise da precipitação sobre as regiões Sudeste e Sul do Brasil utilizando redes neurais artificiais**. Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos: 2003. Disponível em <<http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/02.16.14.01/doc/publicacao.pdf>> Acesso em 17 de março de 2012.

VERDUM, R. **Approche géographique des “déserts” dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil**. Tese de Doutorado, UFR de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, 1997. 211p.

VERDUM, R. Tratados internacionais e implicações locais: a desertificação. **GEOgraphia** – ano 6 – n. 11. 2004a. Disponível em

<<http://www.uff.br/geographia/ojs/index.php/geographia/article/view/144/139>>. Acesso em 10 de maio de 2011.

VERDUM, R. Depressão periférica e planalto. Potencial ecológico e utilização social da natureza. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (orgs) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004b.

VERDUM, R. Descoberta permanente: das areias aos areais. In: SUERTEGARAY, D.M.A.; PIRES DA SILVA, L. A.; GUASSELLI, L.A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura/Imprensa Livre, 2012.

VERDUM, R.; BASSO, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. (orgs) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

VERDUM, R.; QUEVEDO, D.; ZANINI, L.S.G.; CÂNDIDO, L.A. Desertificação: questionando as bases conceituais, escalas de análise e consequências. **Geographia**, vol. 3, n.6, 2001.

VERDUM, R.; SOARES, V.G. Dinâmica de processos erosivos/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais, sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG; NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 1, set. 2010.

VERDUM, R.; SUERTEGARAY, D.M.A. A morfodinâmicas nos areais: os processos e as formas no presente. O tempo que faz (*weathering*). In: SUERTEGARAY, D.M.A.; PIRES DA SILVA, L.A.; GUASSELLI, L.A. (org). **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura/Imprensa Livre, 2012.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; BURGOBRAGA, R.; FERREIRA, N.J. Mesoscale convective complexes in Rio Grande do Sul between october and december of 2003 and associated precipitation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, 276-291, 2009. Disponível em <http://www.rbmet.org.br/port/revista/revista_artigo.php?id_artigo=944>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; MATZENAUER, R. Comportamento espaço-temporal da precipitação no Rio Grande do Sul entre 1945-1974 r 1975-2004. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis, 2006. Disponível em <<http://www.cbmet.com>>. Acesso em 3 de dezembro de 2013.

VIANA, D.R.; AQUINO, F.E.; MUÑOZ, V.A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a complexos convectivos de mesoescala. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 21 (2): 91-105, ago. 2009. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9550>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2013.

VINCENT, L.A.; PETERSON, T.C.; BARROS, V.R; MARINO, M.B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; BERLATO, M.A.; GRIMM, A.M.; MARENGO, J.A.; MOLION, L.; MONCUNILL, D.F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y.M.T.; QUINTANA, J.; SANTOS, J.L.; BAEZ, J.; CORONEL, G.; GARCIA, J.; TREBEJO, I.; BIDEGAIN, M.; HAYLOCK, M.R.; KAROLY, D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v.18, p.5011-5023, 2005. Disponível em <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3589.1>>. Acesso em 15 de setembro de 2012.

WISSMANN, J.A. **Análise de consistência de dados pluviométricos do Estado do Paraná utilizando o método da dupla massa modificado**. Monografia de graduação. UNIOESTE, Cascavel, 2005. 34p.

WOLLFANN, C. A.; GALVANI, E. Caracterização climática regional do Rio Grande do Sul: dos estudos estáticos ao entendimento da gênese. **Revista Brasileira de Climatologia**. ano 8, v.11 – jul/dez 2012. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/revistaabclima/article/view/28586/20848>>. Acesso em 01 de setembro de 2013.

REFERÊNCIAS ELETRÔNICAS:

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Disponível em < <http://www.cptec.inpe.br/> >. Acesso em 09 de maio de 2012.

WMO – World Meteorological Organization – Disponível em < http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php>. Acesso em 30 de abril de 2012.