

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – CLIAMB

**Efeitos do aumento de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos
extremos de precipitação na região norte da América do Sul: análise de dados
modelados**

Paula Andrea Morelli Fonseca

Manaus – Amazonas
Outubro, 2013

Paula Andrea Morelli Fonseca

Efeitos do aumento de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação na região norte da América do Sul: análise de dados modelados

Orientador: Dr. José Augusto Paixão Veiga
Co-orientador: Dr. Francis Wagner Silva Correia
Fonte Financiadora: CAPES – INPA/UEA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – INPA/UEA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente.

Manaus – Amazonas
Outubro, 2013



UEA
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DO
AMAZONAS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA DA AMAZÔNIA - INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS-UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE



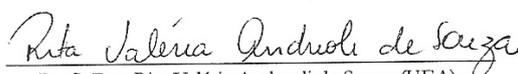
INPA
INSTITUTO NACIONAL DE
PESQUISAS DA AMAZÔNIA



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
PAULA ANDREA MORELLI FONSECA
ALUNA DO CURSO DE MESTRADO EM
CLIMA E AMBIENTE.

Aos 05 dias do mês de Agosto do ano de 2013, às 09:00 horas, realizou-se na sala de aula C19 da Universidade do Estado do Amazonas/EST, sito à Avenida Darcy Vargas, a sessão de defesa pública da dissertação de Mestrado da aluna Paula Andrea Morelli Fonseca, sob o título “Efeitos do aumento de CO2 atmosférico na frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação na Amazônia: Análise de dados modelados”, em complemento aos critérios exigidos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente, tendo como orientador o Professor Doutor José Augusto Paixão Veiga e Coorientador Francis Wagner Silva Correia, segundo encaminhamento da Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente e de acordo com os registros constantes na secretaria do Programa. A Banca Julgadora foi composta pelos seguintes membros: Professor Doutor José Augusto Paixão Veiga (Presidente), Professora Doutora Rita Valéria Andreoli de Souza (Membro Interno) e Professor Doutor Carlos Antônio Costa dos Santos (Membro Externo). **Parecer:** Encerrando os trabalhos, os membros da Banca Julgadora APROVARAM a dissertação.


Prof. Dr. José Augusto Paixão Veiga (UEA)
Presidente


Prof.ª Dra. Rita Valéria Andreoli de Souza (UEA)
Membro Interno


Prof. Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos (UFPA)
Membro Externo

F676 Fonseca, Paula Andrea Morelli
Efeitos do aumento de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação na região norte da América do Sul: análise de dados modelados / Paula Andrea Morelli Fonseca. --- Manaus: [s.n], 2013.
xv, 78f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) --- INPA/UEA, Manaus, 2013.
Orientador: José Augusto Paixão Veiga.
Coorientador: Francis Wagner Silva Correia
Área de concentração: Interações Clima-Biosfera na Amazônia.

1. Efeito estufa. 2. Precipitação atmosférica. 3. Chuva. I. Título.

CDD 551.5781

Sinopse:

Os artigos que compõem o presente trabalho resultam de análise de dados de precipitação gerados a partir do modelo regional ETA para identificação e classificação de eventos extremos chuvosos na parte norte da América do Sul. Foram feitas três experimentos numéricos: 1980-1990, que serviu como base para comparação com o clima futuro em dois períodos: 2040-2050 e 2090-2100.

Palavras chaves: Extremos de precipitação, América do Sul, Mudanças Climáticas.

Este trabalho é dedicado às minhas irmãs mais novas, Patricia Angelica, Tamara Adriana, ao Nicolas e meu sobrinho Gabriel Cesar: para nos lembrar de que o resultado das ações de hoje será sentido pelas gerações futuras.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, prof. Dr. José Augusto Paixão Veiga e Prof. Francis Wagner Silva Correia pela oportunidade, confiança, apoio e importantes lições ao longo de todo o curso.

À meteorologista Adriane de Lima Brito por todo o conhecimento repassado, imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao prof. M. Sc. Paulo Ricardo Teixeira por todo o apoio técnico (e não técnico também) que me foi dedicado em momentos cruciais, o que viabilizou a realização de cada um dos experimentos aqui documentados.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Clima e Ambiente, tanto do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como os da Universidade Estadual do Amazonas, com os quais tive a valiosa oportunidade de cursar disciplinas. Em especial, prof. Dr. Prakky Satyamurti, pela confiança depositada em mim e que por mais de uma vez, em momentos de extrema dificuldade, ofereceu-me não só seus conhecimentos da área de expertise, mas valiosos conselhos. Professores Dr. Antônio Ocimar Manzi e Dr. Flávio Luizão cujo apoio em momentos decisivos foi de suma importância.

Aos amigos que fiz aqui, M. Sc. Raoni Santana, M. Sc. Polari Batista e Bruno Takeshi pelo companheirismo e camaradagem ao longo do curso.

A minha eterna maninha, M. Sc. Aurilene Santos por sua inestimável amizade e incondicional companheirismo em todos os momentos. À M. Sc. Alexandra Lima pelo apoio e incentivos ao longo deste período.

A CAPES pelo apoio financeiro, o que me proporcionou a tranquilidade necessária para dedicar-me à pesquisa e a Prefeitura Municipal de Rio Branco, na pessoa do Senhor Prefeito Raimundo Angelim à época, pela confiança em mim depositada. A bióloga Márcia Denicol, da Secretaria Municipal de Saúde, pelo companheirismo e contribuições para os abstracts.

Voltando mais no tempo, ao Ph. D. Foster Brown, pelos eternos incentivos de pai para filha. Pela insistência em aconselhar o meu aprimoramento como profissional sempre, que serviram como cobranças ao longo desses sete anos de amizade, que me serviu de combustível para

chegar até aqui. A Dra. Vera Reis, pela inestimável amizade, aconselhamento e apoio ao longo dessa caminhada.

As professoras M. Sc. Simone Chalub e M. Sc. Salete Chalub do curso de licenciatura em Matemática e ao prof. M. Sc. Wilker Gadelha do curso de bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal do Acre pela confiança e apoio ainda nos primórdios da minha vida acadêmica. Vocês foram os primeiros a me oferecerem uma chance nesse mundo de pesquisa. Ao professor Esp. João Rogério, atual mestrando na Universidade Federal de Itajubá, pelas primeiras noções de cálculo III, o que me ajudou na aterrissagem dentro da matemática cobrada ao longo deste curso.

Aos professores M. Sc. Reginaldo (Regis) Falcão, M. Sc. Eduardo Janser, M. Sc. Carlos Avelino Barros, e Esp. Francisco Assis de Oliveira todos integrantes do corpo docente do antigo curso de Técnico em Informática, do Centro Federal de Formação Tecnológica do Rio Grande do Norte – CEFET/RN (atual IFRN). O que eu tenho de conhecimento básico hoje vem dos anos em que passei na companhia dos senhores. Prof. Regis e Prof. Eduardo, com os quais tive as minhas primeiras lições de programação e lógica e prof. Assis, que me concedeu meu primeiro estágio na área. Hoje tenho retorno do tempo dedicado às lições daquela época.

Aos meus pais Gabriela del Carmen Morelli Fonseca e Décio Martins da Fonseca, especialmente a ele, que de um jeito único, desde muitos anos atrás, vem me convencendo a continuar persistindo e finalizar todos os projetos iniciados.

Aos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse possível, direta ou indiretamente, de Rio Branco, de Manaus ou de Natal, e que por ventura não tenha sido citado, meus sinceros agradecimentos.

Por último, e não menos importante: ao futuro cirurgião-dentista, Helinaldo Correa da Conceição, por toda atenção e apoio incondicional durante o desenrolar dessa etapa de minha formação.

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo analisar as alterações na frequência e intensidade dos eventos extremos chuvosos na região norte da América do Sul em duas simulações de clima futuro: 2040-2050 e 2090-2100. Ambos os experimentos numéricos foram realizados com o modelo regional ETA, utilizando como condições iniciais e de fronteira dados provenientes do modelo global CCSM3, para o cenário de altas emissões SRES A2. O período analisado corresponde aos meses de JFM e o clima futuro foi comparado ao clima atual, representado pela década 1980-1990. Para a identificação dos eventos extremos chuvosos utilizou-se a metodologia R5d, indicada pela Organização Mundial de Meteorologia para estudo de tais eventos. A mesma consiste em selecionar o maior valor de chuva a cada 5 dias. Calcula-se a média desse subconjunto e ao analisar novamente a série original, consideram-se extremos os valores que forem maiores ou iguais que a média obtida. Depois de identificados os eventos extremos, passou-se a classificação dos mesmos: a classe Evento Extremo Tipo (EET) – I consiste dos eventos que eram iguais ou maiores que a média dos extremos (c_{max}) e menores que a média dos extremos (c_{max}) mais uma vez o desvio padrão (dp_{max}); EET-II, aqueles eventos maiores ou iguais c_{max} mais uma vez dp_{max} e menores que c_{max} mais duas vezes dp_{max} ; EET-III, eventos maiores que c_{max} mais duas vezes dp_{max} . Em suma, a análise espacial mostra que a região central da Amazônia (RCA) apresenta intensas anomalias positivas para a média dos EET-I, EET-II e EET-III, enquanto a região nordeste (RNE) e região norte (RNO) apresentam, para a maior parte da área, anomalias negativas para as três classes. Espacialmente, anomalias para frequência não apresentam padrões claros. A avaliação quantitativa confirma o que foi observado espacialmente para a RCA: anomalia positiva na média dos eventos nas três classes de extremos e na frequência dos EET-I e EET-II para os dois períodos analisados e redução na frequência para EET-III em ambos os períodos. Da mesma forma, RNE e RNO apresentam anomalias negativas na média dos eventos extremos e na frequência para EET-I e EET-II em ambas as décadas. Para os EET-III na RNE houve anomalias positivas para frequência e para média dos eventos na década 2040-2050 e anomalias negativas para ambas variáveis na década 2090-2100. Na RNO, as anomalias na média dos eventos extremos foram positivas em ambos os períodos analisados e a frequência teve aumento na metade do século e redução no final do século. As tendências de intensificação dos eventos extremos chuvosos na RCA e de redução dos mesmos na RNE e RNO concordam com estudos prévios utilizando modelos e cenários de emissões diferentes.

ABSTRACT

The present study analyses the changes in the frequency and intensity of extreme precipitation events in northern South America for two future climate simulations: 2040-2050 and 2090-2100. Both numeric experiments were performed with the regional ETA model, using data from the CCSM3 global model as initial and boundary conditions for the high emissions scenario SRES A2. The future climate was compared to the actual one, represented here by the decade 1980-1990 for the three months period JFM. To identify the extreme precipitation events we used a methodology known by R5d, indicated by the World Meteorological Organization to study extreme climate events. R5d selects the maximum rainfall value for a period of 5 days. We calculated the mean value from this subset and analyzed again the original series, considering values higher or equal to this mean as extremes. Once identified, the extreme events were classified. Extreme Event Type (EET) – I consist of the events that are equal or higher than the extreme average (c_{max}) and smaller than the extreme average (c_{max}) plus once standard deviation (dp_{max}). EET-II are the extreme events equal or higher than c_{max} plus once dp_{max} and smaller than c_{max} plus twice dp_{max} . The last type, EET-III, are all events higher than c_{max} plus twice dp_{max} . In summary, the spatial analysis shows that the Central Amazon Region (RCA) presents intense positive anomalies for the average of EET-I, EET-II and EET-III, while the Northeastern Region (RNE) and the Northern Region (RNO) present negative anomalies for most of their areas for the three types of extremes. Frequency anomalies do not present clear spatial patterns. Quantitative analysis confirms what was observed spatially for the RCA; Positive anomalies for the mean values of the three types of EET and for the frequency in EET-I and EET-II for both time period and a decrease in frequency to EET-III for both time periods. Likewise, RNE and RNO present negative anomalies for the mean values and in frequency of the EET-I and EET-II for both decades. For EET-III in RNE there were positive anomalies in frequency and in the events average for 2040-2050 decade and negative anomalies in both variables for the 2090-2100 decade. In RNO the average anomalies were positive for both analyzed periods and the frequency had an increase in the half of the XXI century and reduction for the final of the XXI century. The intensification tendencies for extreme precipitation events in RCA and their reduction in RNE and RNO show the same results as previous studies using different models and emission scenarios.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE QUADROS | xiv |
| LISTA DE EQUAÇÕES | xv |
| APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| OBJETIVOS..... | 2 |
| GERAL..... | 2 |
| ESPECÍFICOS | 2 |
| CAPÍTULO 1. ALTERAÇÕES NA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DE EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS PARA MEADOS DO SÉCULO XXI (2040-2050) EM CONDIÇÕES DE ALTAS EMISSÕES..... | 4 |
| 1.1. INTRODUÇÃO | 6 |
| 1.2. MATERIAL E MÉTODO | 8 |
| 1.2.1. OS EXPERIMENTOS NUMÉRICOS E MODELOS UTILIZADOS..... | 8 |
| 1.2.2. O MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS..... | 10 |
| 1.3. RESULTADOS | 11 |
| 1.3.1. ANÁLISE QUALITATIVA: <i>BIAS</i> DA MÉDIA E DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS..... | 12 |
| 1.3.1.1. EVENTOS EXTREMOS TIPO I (EET-I)..... | 12 |
| 1.3.1.2. EVENTOS EXTREMOS TIPO II (EET-II) | 13 |
| 1.3.1.3. EVENTOS EXTREMOS TIPO III (EET-III) | 14 |
| 1.3.2. ANÁLISE QUANTITATIVA: VARIÁVEIS INTEGRADAS E MÉDIAS NA ÁREA | 15 |
| 1.4. DISCUSSÃO | 16 |
| 1.5. AGRADECIMENTOS | 19 |
| 1.6. QUADROS E FIGURAS..... | 20 |
| 1.6.1. QUADROS | 20 |
| 1.6.2. FIGURAS | 21 |
| 1.7. MATERIAL SUPLEMENTAR..... | 30 |
| 1.7.1. ÍNDICES CALCULADOS E GRÁFICOS..... | 30 |
| CAPÍTULO 2. ESTUDO DO IMPACTO DO AUMENTO DAS CONCENTRAÇÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA NA FREQUÊNCIA E INTENSIDADE DOS EVENTOS | |

| | |
|---|----|
| EXTREMOS CHUVOSOS NO NORTE DA AMÉRICA DO SUL PARA O FINAL DO SÉCULO XXI: 2090-2100. A SER SUBMETIDO. | 39 |
| 2.1 INTRODUÇÃO | 41 |
| 2.2 MATERIAL E MÉTODO | 42 |
| 2.2.1 DADOS E MODELO UTILIZADOS | 42 |
| 2.2.2 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS | 44 |
| 2.3 RESULTADOS | 44 |
| 2.3.1 ANÁLISE QUALITATIVA POR TIPO DE EVENTO | 45 |
| 2.3.1.1. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- I | 45 |
| 2.3.1.2. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- II..... | 46 |
| 2.3.1.3. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- III | 47 |
| 2.3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA | 48 |
| 2.4 DISCUSSÃO | 49 |
| 2.5 AGRADECIMENTOS | 52 |
| 2.6 QUADROS E FIGURAS..... | 52 |
| 2.6.1 QUADROS | 52 |
| 2.6.2 FIGURAS | 53 |
| 2.7 MATERIAL SUPLEMENTAR..... | 61 |
| 2.7.1 ÍNDICES CALCULADOS E GRÁFICOS..... | 61 |
| CONCLUSÕES GERAIS | 69 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 71 |
| APÊNDICE | 75 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Regiões delimitadas para cálculo de índices na área. Em vermelho, Região Central da Amazônia – RCA; Em azul, Região Nordeste – RNE, em amarelo, Região Norte – RNO. | 21 |
| Figura 2. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre a média dos EET-I para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. ... | 22 |
| Figura 3. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo I, EET-I com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca. | 23 |
| Figura 4. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-I para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 24 |
| Figura 5. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre a média dos EET-II para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.. | 25 |
| Figura 6. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo II, EET-II com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca, conforme Figura 3. | 26 |
| Figura 7. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-II para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 27 |
| Figura 8. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre a média dos EET-III para o fim a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 28 |
| Figura 9. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-III para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 29 |

| | |
|--|----|
| Figura 10. Contribuição do total de chuva associada a cada classe de evento extremo chuvoso em relação ao total de chuva precipitado na área. EET-T representa a soma de todos os eventos extremos de chuva. | 31 |
| Figura 11. Valor médio do evento chuvoso na região para cada classe de evento extremo. ENC representa o valor médio do evento chuvoso considerado normal (não classificado como extremo)..... | 33 |
| Figura 12. Diferença entre o total de chuva acumulado em cada classe de evento (normais e extremos) no clima futuro (2040-2050) e no clima atual (1980-1990). Chuva Total representa o total de chuva geral precipitado sobre cada uma das regiões. | 35 |
| Figura 13. Diferença entre o total de eventos, extremos (prefixo EET) e normais (ENC), registrados no clima futuro (2040-2050) e o clima atual (1980-1990)..... | 37 |
| Figura 14. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre a média dos EET-I para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. ... | 53 |
| Figura 15. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo I, EET-I com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca. | 54 |
| Figura 16. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-I para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 55 |
| Figura 17. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre a média dos EET-II para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.. | 56 |
| Figura 18. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo II, EET-II com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca, conforme Figura 15. | 57 |
| Figura 19. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-II para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 58 |
| Figura 20. <i>Bias</i> da média dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre a média dos EET-III para o fim a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 59 |
| Figura 21. <i>BIAS</i> da frequência dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-III para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX. | 60 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Contribuição do total de chuva associada a cada classe de evento extremo chuvoso em relação ao total de chuva precipitado na área. EET-T representa a soma de todos os eventos extremos de chuva. | 62 |
| Figura 23. Valor médio do evento chuvoso na região para cada classe de evento extremo. ENC representa o valor médio do evento chuvoso considerado normal (não classificado como extremo)..... | 64 |
| Figura 24. Diferença entre o total de chuva acumulado em cada classe de evento (normais e extremos) no clima futuro (2090-2100) e no clima atual (1980-1990). Chuva Total representa o total de chuva geral precipitado sobre cada uma das regiões. | 66 |
| Figura 25. Diferença entre o total de eventos, extremos (prefixo EET) e normais (ENC), registrados no clima futuro (2090-2100) e o clima atual (1980-1990)..... | 68 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Detalhamento dos experimentos numéricos..... | 20 |
| Quadro 2: Detalhamento dos experimentos numéricos..... | 52 |
| Quadro 3: Síntese do resultado entre o <i>bias</i> calculado entre 2040-2050 e 1980-1990, considerado clima presente..... | 76 |
| Quadro 4: Síntese do resultado entre o <i>bias</i> calculado entre 2090-2100 e 1980-1990, considerado clima presente..... | 77 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|--|----|
| Equação 1: Fórmula para obtenção da coordenada vertical ETA. | 9 |
| Equação 2: Cálculo da contribuição do total de chuva associado a cada tipo de evento extremo de chuva para o total precipitado na área. | 30 |
| Equação 3: Cálculo da média dos eventos extremos por tipo de evento para a região. N refere-se ao número de pontos de grade compreendidos na área delimitada. | 32 |
| Equação 4: Cálculo da variação no total de chuva entre duas décadas em termos de porcentagem..... | 34 |
| Equação 5: Cálculo variação no total de eventos (frequência) entre duas décadas em termos de porcentagem..... | 36 |
| Equação 6: Cálculo da contribuição do total de chuva associado a cada tipo de evento extremo de chuva para o total precipitado na área. | 61 |
| Equação 7: Cálculo da média dos eventos extremos por tipo de evento para a região. N refere-se ao número de pontos de grade compreendidos na área delimitada. | 63 |
| Equação 8: Cálculo da variação no total de chuva entre duas décadas em termos de porcentagem..... | 65 |
| Equação 9: Cálculo variação no total de eventos (frequência) entre duas décadas em termos de porcentagem..... | 67 |

APRESENTAÇÃO

Uma das consequências do aquecimento global que tem sido observada é o aumento da amplitude de chuvas em algumas regiões do globo (Chou e Lan, 2011). Essa afirmação leva em consideração a relação de Clausius-Clayperon, que estabelece que a cada grau célsius de aquecimento da baixa atmosfera, considerando a umidade relativa constante, a capacidade da atmosfera em reter umidade pode aumentar em aproximadamente 7% (Chou e Lan, 2011, Durack et al, 2012). Esse cenário caracteriza a intensificação do ciclo hidrológico uma vez que os padrões de evaporação e precipitação serão intensificados (Wohl et al 2011; Durack et al, 2012).

Relatórios como os produzidos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês) exploram os resultados de trabalhos científicos cujo intuito é chegar a conclusões sobre as alterações que vem ocorrendo no clima e quais impactos poderão ser sentidos no mundo, além de formas de se lidar com os riscos atuais. O presente trabalho se serviu não apenas das conclusões as quais chegaram esses especialistas, mas também dos dados que foram gerados pelos modelos climáticos para avaliação a partir de trabalhos científicos, posteriormente utilizados nos relatórios. Tudo isso para responder a pergunta chave proposta: qual será o efeito nas concentrações de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação?

Nos dois manuscritos a seguir serão avaliados os resultados de duas simulações climáticas realizadas com o modelo numérico regional ETA (Chou et al., 2011), nos quais foram utilizados como condições iniciais e de contorno os dados do modelo global *Community Climate System Model Versão 3 (CCSM3)*, descrito em Meehl et al. (2006). Os dados do modelo global foram gerados para os cenários de emissão A2 do IPCC (Nakicenovic et al., 2000). Para a avaliação dos dados gerados, aplicou-se a metodologia da Organização Meteorológica Mundial (OMM), descrita em Frich et al. (2002) e Gao et al. (2006) que serviu de base para a identificação e posterior classificação dos eventos extremos chuvosos. Embora os experimentos tenham sido realizados para toda a América do Sul, a avaliação e os resultados discutidos a seguir referem-se apenas a região norte do continente, englobando a região central da Amazônia, Nordeste e Norte do Brasil.

OBJETIVOS

GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é avaliar a influência do aumento na concentração de gases do efeito estufa atmosférico na frequência e intensidade dos eventos extremos de chuva na região norte da América do Sul utilizando dados provindos de simulações climáticas.

ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos têm-se: identificar, quantificar e classificar os eventos extremos de chuva na região norte da América do Sul para as seguintes condições:

- a) Condições de clima presente: caracterizados por desflorestamento atual e cenário atuais de emissão dos gases do efeito estufa representativos do período 1980-1990;
- b) Condições de clima em meados do século XXI: caracterizados por desflorestamento atual e cenário de emissão de gases do efeito estufa A2 (2040-2050);
- c) Condições de clima no final do século XXI: caracterizados por desflorestamento atual e cenário de emissão de gases do efeito estufa A2 (2090-2100);

Capítulo 1

Fonseca, P. A. M.; Veiga, J. A. P.; Correia, F. W. S.; Brito, A. L. 2013. Alterações na frequência e intensidade de eventos extremos chuvosos para meados do Século XXI (2040-2050) em condições de altas emissões. A ser submetido.

Capítulo 1. Alterações na frequência e intensidade de eventos extremos chuvosos para meados do Século XXI (2040-2050) em condições de altas emissões.

RESUMO

Considerando a recorrência cada vez maior de eventos extremos chuvosos especialmente no norte da América do Sul que compreende a região Amazônica e região nordeste do Brasil, o presente estudo avaliou as alterações decorrentes do aumento da concentração de gases do efeito estufa no clima futuro para os referidos eventos. Com esse propósito, foram realizados dois experimentos numéricos com o modelo regional ETA, utilizando como condições iniciais e de contorno as saídas do modelo CCSM3, para a década de 1980-1990 e 2040-2050, esta última rodada configurada para o cenário de altas emissões A2 do IPCC. Os meses analisados foram janeiro, fevereiro e março. Nos dados gerados aplicou-se a metodologia conhecida pela sigla R5d listada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) como um dos índices para avaliar eventos climáticos extremos. A metodologia consiste em obter o valor máximo de chuva a cada 5 dias. A partir de então, calcula-se a média e os valores originais da série voltam a ser testados, onde aqueles que se igualarem ou forem maiores que a média desses máximos serão considerados eventos extremos. Em seguida, realizou-se a classificação dos mesmos de acordo com a intensidade: entre a média (c_{max}) e a média (c_{max}) mais uma vez o desvio padrão ($1d_{pmax}$), considerou-se como Evento Extremo Tipo I (EET-I). Entre c_{max} mais uma vez o d_{pmax} e c_{max} mais duas vezes d_{pmax} , o evento classificou-se como EET-II. E por último, os eventos iguais ou maiores que c_{max} mais duas vezes d_{pmax} , foram incluídos na classe EET-III. A região central Amazônica (RCA) registrou as anomalias positivas mais intensas para o total de chuva atribuída a eventos extremos na região, com aumento de 19%, enquanto a região nordeste (RNE) e região norte (RNO) apresentaram anomalias negativas com redução de 5% e 7% respectivamente. A média dos eventos extremos para a RNE e RNO apresentou redução para as classes EET-I (RNE: 1%; RNO: 8%) e EET-II (RNE: 2%; RNO: 7%) e aumento para a EET-III (RNE: 2%; RNO: 33%). Para RCA houve aumento na média de todos os eventos (EET-I: 22%; EET-II: 17%; EET-III: 12%). Na frequência, em termos de percentual e considerando todas as classes, houve equilíbrio entre aumentos e reduções.

Palavras chave: Extremos de precipitação, América do Sul, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Considering that recurrence time of extreme precipitation events is getting shorter as time passes by especially in the northern South American, which includes the Amazon region and the Brazilian northeast, the present study aimed to evaluate the changes caused by the increased of greenhouse gas concentration for the extreme events in future climate. With this purpose, two numeric experiments both with ETA regional model were performed, using data provided by CCSM3 as initial and boundary conditions for the 1980-1990 and 2040-2050 decades, this last experiment set up for the high emission scenario IPCC A2. The trimester January, February and March was analyzed. For the resulting data we applied a methodology known as R5d listed by the World Meteorological Organization (WMO) as one index to evaluate climate extreme events. This methodology consists in obtaining a maximum rainfall value for each 5 day. Next step is to calculate an average from the maximum values found and the original ones are tested again, just the ones equal or higher than the maximum average will be considered an extreme event. These extreme events were classified accordingly to intensity: between the average (c_{max}) and de average (c_{max}) plus once the standard deviation ($1dp_{max}$), we considered as an Extreme Event Type I (EET-I). Between c_{max} plus once dp_{max} and c_{max} plus twice dp_{max} , the event was considered as an EET-II. And finally, the events equal or higher than c_{max} plus twice dp_{max} were included in the EET-III. The Amazon central region (RCA) registered the more intense positive anomalies for the total rainfall attributed to extreme events in the region, with an increase of 19% while northeast region (RNE) and north region (RNO) presented negative anomalies with a decrease of 5% and 7% respectively. The average of extreme events for the RNE and RNO presented a decrease for EET-I (RNE: 1%; RNO: 8%) and EET-II (RNE: 2%; RNO: 7%) and an increase for EET-III (RNE: 2%; RNO: 33%). For the RCA there were an increase to all the extreme events (EET-I: 22%; EET-II: 17%; EET-III: 12%). For the frequency, in terms of percentages and considering all the extreme events type, there were equilibrium between increases and decreases.

Keywords: Precipitation extremes, South America, Climate Change

1.1. INTRODUÇÃO

Um evento extremo de tempo ou clima é definido como a ocorrência de um valor, seja de uma variável de tempo ou clima, acima ou abaixo de um valor de referência pré-determinado, que se aproxime dos limites superior ou inferior da amplitude da variável em questão. Essa definição é colocada pelo último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, IPCC, da sigla em inglês, publicado em 2012, intitulado “*Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*” (IPCC, 2012). O mesmo foi dedicado ao tema (eventos extremos) e aborda não só a questão dos extremos climáticos em si, mas traz uma discussão entre mudanças climáticas e eventos extremos de tempo e clima, além de como esses eventos vem impactando várias regiões do globo e estratégias de como gerenciar os riscos associados a estes eventos.

Por mudanças climáticas, entende-se uma alteração no que se tem por estado médio do clima, e que pode ser identificado através de mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades, estendendo-se por um longo período de tempo, décadas ou maior (IPCC, 2012). Desde 1990, o IPCC vem publicando relatórios baseados em pesquisas que avaliam as alterações ocorridas nos valores médios das variáveis climáticas e as evidências de que as emissões antropogênicas têm grande peso sobre essas alterações. O trabalho de Pall et al. (2011) é um exemplo recente que faz relação entre aumento das emissões de gases do efeito estufa e a ocorrência de eventos extremos. No caso do referido trabalho, os autores utilizaram um modelo probabilístico com base física para indicar a probabilidade do aumento das emissões ter aumentado também as chances de ocorrer enchentes na Inglaterra e no país de Gales no ano 2000. Para tanto, os autores simularam o clima para o referido ano, com as condições de aquecimento global do ano 2000, e simularam outros cenários com clima semelhante ao início do século XX. Importante ressaltar que os autores defendem a ideia de que as enchentes resultam não só de eventos extremos meteorológicos, mas também de uma combinação de fatores hidrometeorológicos. Por este motivo, as saídas do modelo climático alimentaram um modelo de chuva-vazão para a região de interesse. E como resultado, encontrou-se que uma dada magnitude de vazão é muito mais frequente nas simulações realizadas para o ano 2000 em condições de aquecimento, ou seja, têm tempo de retorno menor, e, portanto muito mais provável do que em qualquer outono, em comparação com as 4 simulações que não apresentam características de aquecimento. Outro exemplo de estudo em linha semelhante é o de Min et al. (2011) que realizaram experimentos para a segunda metade do séc. XX com o intuito de mostrar que o aumento na concentração de gases do efeito estufa

de fontes antropogênicas teriam contribuído para a intensificação dos eventos extremos chuvosos que foi encontrada em 2/3 das áreas do hemisfério norte coberta por estações. Entre os pontos destacados nas conclusões, os autores ressaltaram que os resultados obtidos consistem na primeira identificação formal da contribuição humana na intensificação observada dos eventos extremos chuvosos e acrescentaram que os modelos climáticos globais subestimam a tendência de chuvas observadas o que implica que os eventos de precipitação podem ficar mais fortes no futuro do que o projetado e causarem impactos mais severos, embora haja incertezas quanto a limitações observacionais, questões relacionadas aos modelos, como por exemplo, as parametrizações utilizadas.

Cook et al. (2013) realizaram um levantamento entre artigos publicados que se enquadravam nos tópicos “Mudanças Climáticas Globais” e “Aquecimento Global”. Na primeira etapa desse trabalho foram avaliados os artigos pelos abstracts onde se observou que ~33% endossaram a teoria de aquecimento global antropogênico, ou seja, os trabalhos corroboraram com a teoria e dentro desse grupo ~97% concordavam quanto ao fato de que as emissões antropogênicas são responsáveis pelo aquecimento. Percentual semelhante foi encontrado quando se requisitou dos próprios autores dos artigos analisados que avaliassem seus trabalhos. Os resultados encontrados, segundo os autores, indicam que os artigos que rejeitam a teoria de consenso quanto ao aquecimento global antropogênico consistem em pequeno percentual das pesquisas atualmente publicadas.

Considerando que o aquecimento global tem fonte antropogênica, passa-se a listar alguns dos efeitos decorrentes dessa realidade. Segundo Wohl et al. (2012) espera-se que os processos que operam no ciclo hidrológico acelerem com o aumento da temperatura e consequente aumento da capacidade do ar de transportar umidade. Ainda de acordo com os autores, uma característica importante dos trópicos é que os impactos das mudanças climáticas irão alterar diretamente o regime de precipitação e outros aspectos do ciclo hidrológico, como a evaporação, em oposição aos impactos associados ao aumento da temperatura que afeta indiretamente o ciclo hidrológico, como, por exemplo, as ondas de calor (Wohl et al., 2012).

Marengo et al. (2009) citam vários exemplos de eventos extremos que ocorreram no Brasil, entre enchentes e secas. Resultante, dentre outros fatores, de anomalias positivas no total de chuva em determinada região, as enchentes causam enormes prejuízos econômicos tanto a população, companhias (asseguradas ou não), bem como para a infraestrutura de cidades. Ainda segundo os autores, os governos acabam destinando vultosas quantias para socorrer a população de áreas atingidas, valores esses que poderiam ser empregados de outra

forma. Há prejuízos diretos e indiretos nesse contexto: tanto para as famílias que perdem sua moradia em enxurradas, como das crianças que ficam sem aula em virtude do espaço ser utilizado como abrigo para as famílias afetadas (Marengo et al., 2009). Recente exemplo disso ocorreu em 2012, quando o município de Brasiléia, no Acre, teve 95% de sua área coberta pelas águas de um curso de água que transbordou¹. Este ano, no estado do Amazonas, alguns municípios, especialmente no Alto Solimões, chegaram a decretar estado de emergência, pelo menos², em virtude dos altos níveis dos rios.

Durack et al. (2012) mostraram que com dados que indicam a salinidade da superfície oceânica foi possível demonstrar quais áreas estão recebendo quantidade maior de água associada a precipitação e onde está havendo uma maior evaporação, como medida de intensificação do ciclo hidrológico, e relacionar o mesmo às anomalias de temperatura que estão sendo observadas e os efeitos disso no futuro. Prova de que as contribuições para melhorar as previsões quanto aos efeitos do aquecimento vêm de diferentes áreas.

Diante do exposto, o presente trabalho documenta os resultados obtidos através de experimentos numéricos realizados com modelo climáticos, que de acordo com Ambrizzi et al. (2007) são ferramentas utilizadas para obter projeções das futuras alterações que poderão ocorrer no clima. Neste trabalho, buscou-se encontrar alterações na frequência e intensidade dos eventos extremos chuvosos em função das alterações nas concentrações de gases do efeito estufa. Os dados avaliados neste trabalho foram obtidos através de downscaling dinâmico, que consiste na regionalização das projeções dos modelos climáticos globais (Ambrizzi et al., 2007). A partir desses dados, foram avaliadas as alterações entre o clima presente e futuro no que concerne os eventos extremos chuvosos no norte da América do Sul.

1.2. MATERIAL E MÉTODO

1.2.1. OS EXPERIMENTOS NUMÉRICOS E MODELOS UTILIZADOS

Os dados analisados neste trabalho foram obtidos através de duas simulações numéricas, sendo a primeira delas para o período de 1980-1990 e a seguinte para 2040-2050, ou meados do século XXI. Esses experimentos foram realizados com o modelo regional ETA

¹ Fonte: <http://www.agencia.ac.gov.br/index.php/noticias/cidades-do-acre/18518-depois-da-enchente-brasileia-comeca-a-contabilizar-danos.html>. Acesso em 20/06/2013 às 13h00min.

² Fonte: <http://acritica.uol.com.br/tema/enchente.html>. Acesso em 20/06/2013 às 13h00min.

(Chou et al., 2011), cujo nome deriva da utilização do esquema de coordenadas verticais homônima ao modelo, descrita na equação 1:

$$\eta = \left(\frac{p - p_T}{p_{sfc} - p_T} \right) \left[\frac{p_{ref}(Z_{sfc}) - p_T}{p_{ref}(0) - p_T} \right]$$

Equação 1: Fórmula para obtenção da coordenada vertical ETA.

Segundo Black (1994), na Equação 1 tem-se que:

p_T refere-se a pressão no topo do domínio (isóbara de menor valor);

p_{sfc} e Z_{sfc} correspondem a pressão e a elevação do limite inferior do modelo (superfície), respectivamente;

p_{ref} é o estado da pressão de referencia que é função da distância acima do nível do mar (a atmosfera padrão utilizada).

O primeiro termo, correspondente a: $\left(\frac{p - p_T}{p_{sfc} - p_T} \right)$ é a definição padrão da coordenada sigma, enquanto o segundo termo: $\left[\frac{p_{ref}(Z_{sfc}) - p_T}{p_{ref}(0) - p_T} \right]$ está em função de x e y e é o responsável por converter a coordenada sigma em coordenada eta.

As rodadas realizadas com o modelo ETA tiveram como condições iniciais e de contorno os dados do modelo global acoplado *Community Climate System Model Version 3* (CCSM3) descrito em Meehl et al. (2006). As rodadas foram inicializadas em 01/12/1979, para o clima presente e 01/12/2039 para o clima futuro. Ambas foram executadas para quatro meses: dezembro, janeiro, fevereiro e março. Destes, foram desprezados os dados referentes ao primeiro mês de rodada, de cada conjunto, e ao final tinha-se dez trimestres para cada década, um total de 900 dias a serem submetidos à análise. No Quadro 1, apresenta-se um resumo das configurações utilizadas no experimento.

A versão do modelo regional ETA utilizada para este trabalho apresenta configuração semelhante à descrita por Chou et al. (2011).

Nessa versão, a precipitação do modelo é gerada pelo esquema de cúmulos Betts-Miller-Janjié descrito em Janjié (1994) e pelo esquema de microfísica de nuvens conforme Zhao et al. (1997). O esquema de superfície utilizado é descrito por Chen et al. (1997) e Ek et al. (2003). Quanto a vegetação utiliza dados do Projeto de Atualização da Representação da Vegetação nos Modelos Numéricos (PROVEG), descritos em Sestini et al. (2002), que inclui

dados do arco do desmatamento³, região de constantes avanços agrícolas a custo do desmatamento de vastas áreas de floresta. O esquema de radiação utilizado pelo modelo é o mesmo feito pelo *Geophysical Dynamics Fluid Laboratory* (GFDL) e inclui esquema de ondas curtas descrito em Lacis e Hansen (1974); e de ondas longas descrita em Fels e Schwarkopf (1975).

No primeiro experimento, os dados de entrada correspondiam a uma atmosfera com 369 ppmv de CO₂, enquanto o segundo, contava com uma concentração fixa de 490 ppmv. Importante destacar que os valores citados servem apenas de referência, uma vez que há aumento/manutenção na concentração de todos os gases do efeito estufa incluídos no modelo global, e não apenas no CO₂, entre os diferentes experimentos realizados. Os experimentos realizados com o modelo regional ETA não eram transientes, embora o modelo que gerou os dados globais, o CCSM3, apresentasse evolução no valor de concentração de gases do efeito estufa ao longo da execução. Os dados para o clima futuro utilizado para as rodadas do modelo correspondem ao cenário de emissões A2 (pessimista) do IPCC (Nakicenovic et al., 2000).

1.2.2.O MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

Com os dados gerados aplicou-se a metodologia de Frich et al. (2002) também utilizada no trabalho de Gao et al. (2006). Denominada de R5d a metodologia é utilizada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), e compõe uma lista de índices que são indicados para a análise de eventos climáticos extremos (Frich et al., 2002). Para este trabalho, utilizou-se esse método de identificação, e logo em seguida é aplicado um método para a classificação dos extremos.

A série de dados disponíveis é analisada em conjuntos de 5 dias e em cada subconjunto, busca-se pelo evento chuvoso diário de maior valor. Uma vez encontrado, despreza-se o primeiro dia considerado, e agrega-se o dia seguinte ao último elemento do conjunto, de forma que se tem um novo conjunto de 5 dias para análise. Isso é feito até que se encontre o último subconjunto da série. Assim, como cada década possui um conjunto de 900 dias, são analisados exatos 896 conjuntos, e o mesmo número de máximos de precipitação é encontrado. Desse subconjunto resultante, é calculado a média, e com ela, retorna-se à série

³ Fonte: <http://www.ipam.org.br/saiba-mais/glossariotermino/Arco-do-desmatamento/92>. Acesso em 12/06/2013 às 15:00.

original de dados e analisa-se caso a caso os valores, buscando por aqueles valores de precipitação que são iguais ou maiores que a média dos máximos de precipitação encontrados. Ao final desta fase, os eventos que atenderam a essa condição compõem a classe de eventos extremos, e serão referidos pelo código EET-T, uma vez que representam a classe que agrega o total de eventos extremos chuvosos.

A segunda etapa consiste na classificação dos eventos de acordo com a intensidade. Isso é feito utilizando-se a média dos máximos (C_{MAX}) encontrada anteriormente e o desvio padrão (D_PMax). Definiram-se três classes de eventos: Evento Extremo Tipo I, EET-I; Evento Extremo Tipo II, EET-II; e, Evento Extremo Tipo III, EET-III. Dessa forma, os EET-I, são os eventos que se encontram entre a média dos máximos e a média dos máximos mais uma vez o desvio padrão. A condição também pode ser escrita da seguinte forma: $C_{MAX} \leq EET-I < C_{MAX} + 1D_{P}Max$.

Compõem a classe EET-II, os eventos que são iguais ou maiores que a média dos máximos mais uma vez o desvio padrão e menores que a média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão. De outra forma, pode-se escrever: $C_{MAX} + 1D_{P}Max \leq EET-II < C_{MAX} + 2D_{P}Max$.

A última classe de extremos, EET-III, tem que atender a condição de ser maior ou igual à média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão. Esta condição pode ser colocada da seguinte forma: $C_{MAX} + 2D_{P}Max \leq EET-III$.

Para a média dos eventos tipo I e II foi realizado o teste *t-student* para identificar os pontos que apresentavam diferença significativa ao nível de 95%. A partir dos valores encontrados, uma máscara foi criada para ocultar os pontos de grade que não atenderam aos critérios. No tópico a seguir, o resultado do teste será comentado. O *bias* da média dos EET-III não apresenta significância estatística e por esse motivo o resultado da máscara não será apresentado.

1.3. RESULTADOS

Os experimentos numéricos realizados consistem na simulação do clima para o presente, correspondente a década de 1980-1990 e para meados do século XXI, correspondente à década de 2040-2050. Uma vez realizados todos os testes e análises a fim de se extrair os eventos extremos chuvosos e efetuar a classificação dos mesmos, dois produtos foram gerados com o intuito de encontrar as alterações de uma década para outra: as figuras

para análise qualitativa, e o cálculo de somatórios e médias para regiões específicas, que serão apresentados a seguir.

Para tanto, delimitou-se três áreas para análise quantitativa: a primeira delas na região central da Amazônia, e por isso designada pela sigla RCA, a qual se encontra delimitada pela linha vermelha na Figura 1. A mesma compreende parte centro-sul da Amazônia, com áreas dos estados do Acre, Rondônia, Pará, Mato Grosso, Tocantins, e mais de 50% do território boliviano. A segunda área, delimitada em linha de cor azul, encontra-se localizada no nordeste brasileiro, e por esse motivo será designada pela sigla RNE, e agrega, principalmente, os estados do Rio Grande do Norte, Pernambuco, Paraíba, parte do Alagoas, Ceará, Piauí, Maranhão, região norte do Tocantins e leste do Pará. A última área delimitada, em linha amarela, localiza-se no extremo norte do continente e por esse motivo será designada pela sigla RNO. A região agrega as Guianas (Francesa e Inglesa), Suriname, os estados de Roraima e Amapá, e área no norte do Amazonas. Em seguida é realizada uma análise qualitativa baseada nos resultados dos *bias*, também chamado de viés, entre a intensidade (média dos eventos extremos) e frequência para cada classe além de uma análise quantitativa de ambos os parâmetros.

1.3.1. ANÁLISE QUALITATIVA: *BIAS* DA MÉDIA E DOS EVENTOS EXTREMOS CHUVOSOS

1.3.1.1. EVENTOS EXTREMOS TIPO I (EET-I)

Na Figura 2 tem-se o *bias* da média dos eventos extremos chuvosos tipo I, onde pode-se observar que na região central da Amazônia uma extensa faixa com anomalias positivas que variam de 1 a 10 mm, cortando o continente no sentido nordeste-noroeste desde a região da Ilha de Marajó, passando pelo estado do Pará, sudeste do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e Bolívia. Aplicando o teste *t-student* às diferenças encontradas entre as duas décadas, observa-se que grande porção do continente apresenta diferenças significativas ao nível de 95%. As áreas em branco na Figura 3 correspondem a diferenças não significativas, e conforme se pode observar na Figura 2, equivalem, principalmente, a áreas onde a diferença entre os dois períodos ficou entre ± 1 mm. No que concerne à frequência da classe EET-I, cujo *bias* é mostrado na Figura 4, esta região apresenta áreas com anomalias positivas e negativas distribuídas sem padrão espacial aparente. Leste do estado do Acre, sul do Amazonas e Pará apresentam anomalias negativas de, em média, 20 eventos. Enquanto na

parte mais central, dentro do estado do Mato Grosso, observam-se anomalias positivas, para a frequência, entre 20 e 40 eventos comparada com a frequência do clima presente.

Na região nordeste, tem-se áreas com anomalias negativas, entre 1 e 10 mm também, especialmente na faixa litorânea mais ao norte do continente, estendendo-se para o interior do mesmo (Figura 2). Ao longo dessa extensão têm-se áreas do estado do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, o que praticamente engloba toda a área definida como RNE (Figura 1). Área de menor extensão, ainda na região nordeste apresenta anomalia positiva, também entre 1 e 10 mm. A RNE apresenta entre as três regiões avaliadas, menor extensão de áreas com diferenças significativas de acordo com a Figura 3. Em termos de frequência, analisando a Figura 4, uma estreita faixa na região litorânea apresenta anomalias negativas em torno de 40 a 60 eventos. No litoral norte, no estado do Ceará, observa-se anomalias positivas de 40 a 80 eventos. Demais áreas oscilam entre ± 20 eventos sem padronização aparente.

O extremo norte do continente apresenta faixa no sentido longitudinal indicando anomalia negativa, que varia no máximo a 20 mm (Figura 2). A faixa ainda passa pela parte norte do estado do Amazonas, cobrindo inteiramente o estado de Roraima, Amapá e área das Guianas e Suriname, além de parte da Columbia, Venezuela e Peru. Os limites dessa faixa analisada assemelham-se aos contornos da região delimitada pelo RNO (Figura 1). A Figura 3 indica maior extensão da RNO com diferenças negativas significativas. O *bias* da frequência para esta classe (Figura 4) apresenta mais áreas com anomalias negativas, variando de 1 a 20 eventos. Pontualmente têm-se anomalias positivas de até 60 eventos nesta região.

1.3.1.2. EVENTOS EXTREMOS TIPO II (EET-II)

Na Figura 5 é apresentado o *bias* para a média dos eventos extremos tipo II (EET-II), na qual é possível observar a concentração de anomalias positivas mais intensas na região central da Amazônia variando entre 10 e 15 mm, especialmente próximo aos limites dos estado do Amazonas, Pará, Rondônia e Mato Grosso. O resultado do teste *t-student* (Figura 6) para a diferença entre a média desta classe nas duas décadas analisadas indica redução da área com diferença significativa, o que pode ser explicado pela redução no número de eventos enquadrados neste classe especialmente na RCA. Quanto a frequência, cujo *bias* é mostrado na Figura 7, não se observa um padrão claro e pontualmente as anomalias variam de 1 a 10 eventos para mais ou para menos.

Na região nordeste, tem-se ampla faixa indicando anomalia negativa entre 1 e 10 mm (Figura 5). Parte no Ceará e norte da Bahia, basicamente, indicam anomalias positivas entre 1 e 10 mm. Leste do estado do Pará apresenta também uma faixa de anomalia positiva no sentido latitudinal, paralela ao limite a leste, cujo valor flutua entre 5 e 15 mm. Os pontos com diferenças significativas também reduz para a RNE (Figura 6). A região litorânea no leste do Brasil apresenta faixa indicando diferenças negativas significativas. De acordo com a Figura 7, para *bias* de frequência, não se observa valores em destaque. Tanto a região nordeste como o leste do Pará tem anomalias que variam entre 1 e 15 eventos seja para mais ou para menos.

O extremo norte do continente apresenta distinta faixa no sentido longitudinal indicando anomalias negativas que variam entre 1 e 20 mm (Figura 5). Ainda assim, destaca-se menor área dentro do Suriname onde as anomalias positivas variam de 1 a 10 mm. Assim como para a RNE, houve redução na extensão da área com diferença significativa, conforme Figura 6. Maior extensão apresentado diferenças negativas significativas. Para esta região, a Figura 7 mostra que o *bias* da frequência apresenta uma área melhor definida o que permite afirmar que naquela região há predominância de anomalias negativas, embora a mesma região no Suriname que apresentou anomalias positiva para a média dos eventos, aqui apresenta anomalia positiva para o total dos eventos registrados.

1.3.1.3. EVENTOS EXTREMOS TIPO III (EET-III)

Para a região central da Amazônia a Figura 8 apresenta o *bias* da média dos eventos para a classe EET-III, uma vasta extensão apresentando anomalias positivas que variam até 30 mm. Praticamente toda a área apresenta exclusivamente anomalias positivas. Para o teste *t-student*, não houve área com diferença significativa. Muito provavelmente, o mesmo se deve ao fato de que pouquíssimos eventos foram classificados como EET-III, o que faz sentido, uma vez que quanto mais distante da média, menor deve ser o número de eventos. Quanto ao *bias* da frequência (Figura 9) não se tem um padrão espacial muito claro. O que se poderia afirmar é que há mais pontos indicando anomalias positivas de frequência ao norte da linha que divide Acre, Pará e Amazonas, que ao sul da mesma. Anomalias registradas variam de ± 1 a ± 9 eventos.

Na Figura 8, para a região nordeste, observa-se que as anomalias mais significativas estão relativamente afastadas do litoral, e consistem em reduções que oscilam entre 1 e 10 mm. Leste do Pará novamente apresenta anomalias positivas, que para a média dos EET-III ficam entre 1 e 30 mm. Enquanto em termos de frequência (Figura 9) também não há um

padrão espacial que se destaque: existe pontos com valores entre 1 e 9 eventos, seja pra mais ou para menos.

A região norte do continente ainda apresenta a mesma faixa longitudinal observada para a média dos EET-II (Figura 5) embora as anomalias negativas possam chegar a 30 mm conforme se observa na Figura 8. A região com anomalias positivas localizada no Suriname parece pouco mais extensa e apresenta valores entre 1 e 30 mm. Quanto a frequência (Figura 9) observa-se o norte do estado do Amazonas com anomalias positivas bem distintas, entre 3 e 9 eventos. A região da Guiana e Venezuela apresenta áreas com anomalias positivas entre 1 e 9 eventos.

1.3.2. ANÁLISE QUANTITATIVA: VARIÁVEIS INTEGRADAS E MÉDIAS NA ÁREA

Nesta seção, são analisados os dados obtidos pela integração dos valores de chuva na área, bem como as médias calculadas para algumas variáveis com o intuito de avaliar as alterações relacionadas aos eventos extremos chuvosos nas três regiões delimitadas.

Na Figura 10, constam os valores referentes à contribuição do total de chuva associado a cada tipo de evento extremo para o total de chuva precipitado na área. De acordo com esta figura na RCA houve reduções de 2%, 1% e 2% para cada tipo de evento, respectivamente, EET-I, EET-II e EET-III mostradas na Figura 10a. Na RNE (Figura 10b) houve aumento deste parâmetro para o EET-I de 1%, enquanto manteve-se constante para os outros dois tipos de eventos extremos: EET-II equivalente 9% e EET-III equivalente a 3%. Ainda para o mesmo parâmetro (Figura 10c) houve aumento na RNO de 1% para os EET-I e EET-III e manteve-se constante para os EET-II, com 8%.

As diferenças, em milímetros, para a média dos eventos extremos em cada uma das três regiões podem ser observadas na Figura 11. As variações para a RCA (Figura 11a), onde se observa que a média dos EET-I, EET-II e EET-III, apresentou anomalias positivas de 3mm, 4mm e 5mm, que equivalem a 22%, 17% e 12% respectivamente, comparado com os valores do clima atual. Para a RNE, é possível observar na Figura 11b que a média dos EET-I e EET-II reduziram em 1% e 2% e EET-III teve aumento de 2%, e nesse caso as diferenças correspondem a variação de ± 1 mm. Encontrou-se uma anomalia negativa para a média na RNO de 5mm, correspondente a 8% para EET-I e de 5mm, equivalente 7% para EET-II, enquanto houve aumento para EET-III de 22mm, ou 33%, conforme observa-se na Figura 11c..

Na Figura 12 são apresentadas as anomalias obtidas para o total de chuva associado a cada tipo de evento, entre total de chuva, eventos normais e eventos extremos. Os valores obtidos para a RCA são mostrados na Figura 12a onde observam-se anomalias positivas de 23%, 20% e 7% para os EET-I, EET-II e EET-III, respectivamente, e de 31% e 47% para o total de chuva da região e o total de chuva considerada normal. Na Figura 12b, têm-se os valores obtidos para a RNE, onde se registrou redução de 7% e 5% para EET-I e EET-II e aumento de 5% para EET-III. Ainda para esta região, houve redução do total de chuva em 1% e aumento no total de chuvas normal de 2%. Para a RNO, na Figura 12c, observa-se que os três tipos de eventos apresentaram redução de 8%, 7% e 1% respectivamente, e de 12% e 14% no total de chuva na região e total de eventos considerados normais.

As alterações no total de eventos extremos registrados em cada classe são mostradas na Figura 13. Para a RCA, houve aumentos de 2% e 3% para as classes EET-I e EET-II, enquanto registrou-se redução de 5% para EET-III, observado na Figura 13a. Anomalias negativas foram registradas, conforme mostrado pela Figura 13b, para EET-I e EET-II na RNE de 3% e 2% respectivamente, enquanto houve um aumento de 4% na classe EET-III. E na Figura 13c, o mesmo comportamento é observado para a RNO, onde as reduções para EET-I e EET-II foram de 3% e 6% respectivamente e o aumento em EET-III de 12%.

1.4. DISCUSSÃO

No presente trabalho foram avaliadas as saídas do modelo regional ETA, que teve como condições iniciais e de fronteira os dados do modelo global CCSM3 para as décadas de 1980-1990 e 2040-2050, utilizando uma metodologia que identificou e classificou os eventos extremos chuvosos.

Os eventos extremos tipo I (EET-I) apresentaram redução no que concerne a contribuição para o total de chuva precipitado na RCA e RNE, e aumento para a RNO. A média dos eventos, assim como o total de chuva e a frequência associada ao tipo de evento, por outro lado, apresentam anomalias positivas para RCA e negativas para RNE e RNO, nos três índices.

A contribuição para o total de chuva da classe de evento extremo tipo II (EET-II) apresentou queda para RCA e manteve-se constante para a RNE e RNO. A média dos eventos, o total de chuva associado à classe e a frequência também apresentam características similares quanto às anomalias positivas e negativas: RCA apresentou anomalias positivas para os três índices, enquanto para RNE e RNO foram observadas anomalias negativas.

Esse comportamento de redução em pelo menos três das variáveis calculadas, para as classes EET-I e EET-II concorda com a tendência de intensificação dessas duas classes de eventos para a RCA bem como as reduções observadas em RNE e RNO (ver Figuras 2 e 5, média dos eventos extremos para cada uma das classes).

A classe de eventos extremos tipo III (EET-III) apresentou divergência para os índices avaliados. As três regiões apresentaram anomalias positivas para a média dos eventos. RCA e RNE ainda concordaram quanto ao incremento no total de chuva associado à classe, enquanto RNO apresentou uma redução nesse total. Quanto à frequência, RNE e RNO concordaram com o aumento no número de eventos extremos enquanto a RCA apresentou redução. A contribuição para o total de chuva precipitado na área teve redução para RCA, concordando com a redução no número de eventos. Para a RNO houve aumento tanto na contribuição da chuva associada aos EET-III para o total de chuva precipitado como para frequência. A RNE manteve sua contribuição para o total de chuva constante, quanto aos EET-III, enquanto apresentou aumento nos outros três índices avaliados.

A região central da Amazônia (RCA) registrou as maiores diferenças, em termos de total de chuva acumulada: quase 1/3 a mais de chuva quando comparada ao período de referência. O total de chuva associado a eventos considerados normais praticamente dobrou, enquanto o total de eventos extremos aumentou ~20% em comparação a referência.

Para a região nordeste (RNE) houve uma redução pequena do total de chuva precipitado na área. As alterações que ocorreram nas classes de eventos extremos se devem a mudanças na distribuição tanto do total de chuva associada a cada uma das classes como a frequência dos eventos das mesmas.

E para a região norte (RNO) nota-se redução nas chuvas de aproximadamente 10%, o que refletiu na redução dos eventos normais (de maneira mais acentuada) e nos eventos extremos como um todo. Ainda assim, observando as anomalias na frequência dos eventos, pode-se perceber que houve uma redistribuição dos mesmos, onde a queda registrada para EET-I e EET-II refletiu em incremento para EET-III o que pode ter sido responsável pelo aumento na média dos eventos dessa classe (33%).

É importante ressaltar que quando se aponta redução em qualquer um dos índices avaliados, deve-se lembrar de que por se tratar de valores acumulados ou de médias calculados espacialmente, uma das causas de aumento ou redução do total de chuva, da média dos eventos ou da frequência pode ser a redução do número de pontos de grade que se inserem naquela classe de maneira que não haja uma compensação nos pontos restantes ou

inseridos, para manter os índices constantes. Isto é, reduções nas médias ou acumulados, podem não representar a tendência local.

Há poucas referências que analisam saídas de modelos climáticos globais que de alguma forma incluam o período de 2040-2050. Um desses trabalhos é o de Marengo (2006) que avalia as anomalias de precipitação em termos de climatologia para DJF na América do Sul com as saídas do modelo HadRM3, parte do conjunto de dados do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP) em sua 3ª fase. Seja para o cenário A2 como para o B2, observaram-se anomalias positivas na região central do Brasil, assemelhando-se a posição média da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que cobre parte da região delimitada pela RCA. Para o extremo norte da América do Sul, os resultados do autor também apontam anomalias negativas, como as que foram encontradas para a RNE e RNO. Os outros modelos testados pelo autor: CCCMA, GFDL, CCSR/NIES não apresentam semelhança com os resultados discutidos aqui.

Rocha et al. (2012) utilizaram dados do CCSM3 com o modelo GEMBRAMS e geraram anomalias de precipitação para o período entre dez/1999 e nov/2000 em relação a dez/2049 e nov/2050. Para grande parte da Amazônia Internacional o modelo encontrou redução na climatologia de chuva, enquanto para a região nordeste, sul e sudoeste da Amazônia, anomalias positivas. A exceção do resultado encontrado para a região Nordeste, os resultados aqui descritos seguem a mesma tendência encontrada pelos referidos autores.

O último relatório do IPCC (IPCC, 2012) que trata especificamente de eventos extremos afirma que haverá mais áreas do globo, com probabilidade entre 66 e 100% de ocorrência, apresentando aumentos estatisticamente significantes no número de eventos extremos de precipitação do que áreas apresentando diminuição dos mesmos, embora haja variações regionais e sub-regionais na frequência nos resultados analisados pelo IPCC. Ainda que não seja para o mesmo período de estudo que os resultados aqui apresentados, o relatório aponta provável aumento na frequência de eventos extremos ou na proporção de chuvas associadas a eventos de chuva forte pós 2100, e ressalta as regiões tropicais como uma das áreas afetadas. O relatório ainda afirma que há confiança média de que as influências antropogênicas têm contribuído para a intensificação dos eventos extremos de chuva em escala global. Isso se deve ao fato de não haver uma grande quantidade de estudos que relacionem os dois fatos, de maneira que os autores pudessem atribuir uma medida de probabilidade de ocorrência à afirmação.

A Amazônia, assim como os trópicos em geral, tem suas particularidades em termos de processos que geram precipitação, o que justifica o maior interesse, bem como a maior

necessidade de se realizar experimentos com modelos de resolução mais alta, com o intuito de melhor simular o que ocorre com os processos físicos que regulam a precipitação nessa região do globo, bem como suas alterações sob condições de aquecimento, que como apontam relatórios recentes, vêm ficando cada vez mais preocupantes especialmente quando se analisa as consequências para a sociedade (SREX, 2012). Machado et al. (2011) argumentam também que trabalhar com modelos de resolução mais alta tem como objetivo refinar os resultados já obtidos com os modelos globais (resolução mais baixa) utilizando parametrizações mais adequadas para processo convectivos, por exemplo. Há necessidade também de explorar as possíveis alterações nos tipos de eventos aqui analisados diante de alterações na cobertura florestal característica existente na região.

1.5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às instituições responsáveis pelo Programa de Pós Graduação em Clima e Ambiente, Universidade do Estado do Amazonas e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. À Prefeitura Municipal de Rio Branco, Acre, pela possibilidade de afastamento com intuito de contribuir futuramente com o conhecimento adquirido durante o curso de mestrado. À Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia (FINEP/REMCLAM) pelo apoio financeiro (Convênio 01.10.0470.00) e ao Programa Primeiros Projetos (PPP/FAPEAM) Processo N^o. 2680/2009.

1.6. QUADROS E FIGURAS

1.6.1. QUADROS

Quadro 1: Detalhamento dos experimentos numéricos.

| Configurações | 1980-1990 | 2040-2050 |
|---------------------------------|--|------------|
| Tempo de Integração | 10 anos | |
| Inicialização | 1/12/1979 | 1/12/2039 |
| Condições de Contorno | CCSM3 (Downscaling Dinâmico) | |
| Cenário Climático | Atual | A2* |
| Concentração de CO ₂ | 369 ppmv** | 490 ppmv** |
| Vegetação | Sestini et al., 2002 | |
| TSM (MCG) | Climatológica fornecida pelo modelo global (CCSM3) | |
| Resolução Espacial | 40 km | |
| Dimensão da Grade | 150 X 180 pontos | |

* Ver Nakicenovic et al. (2000)

**Fonte: Valores disponíveis em: <http://www.ipcc-data.org/ancillary/tar-isam.txt>. Acesso em 21/03/2012.

1.6.2. FIGURAS

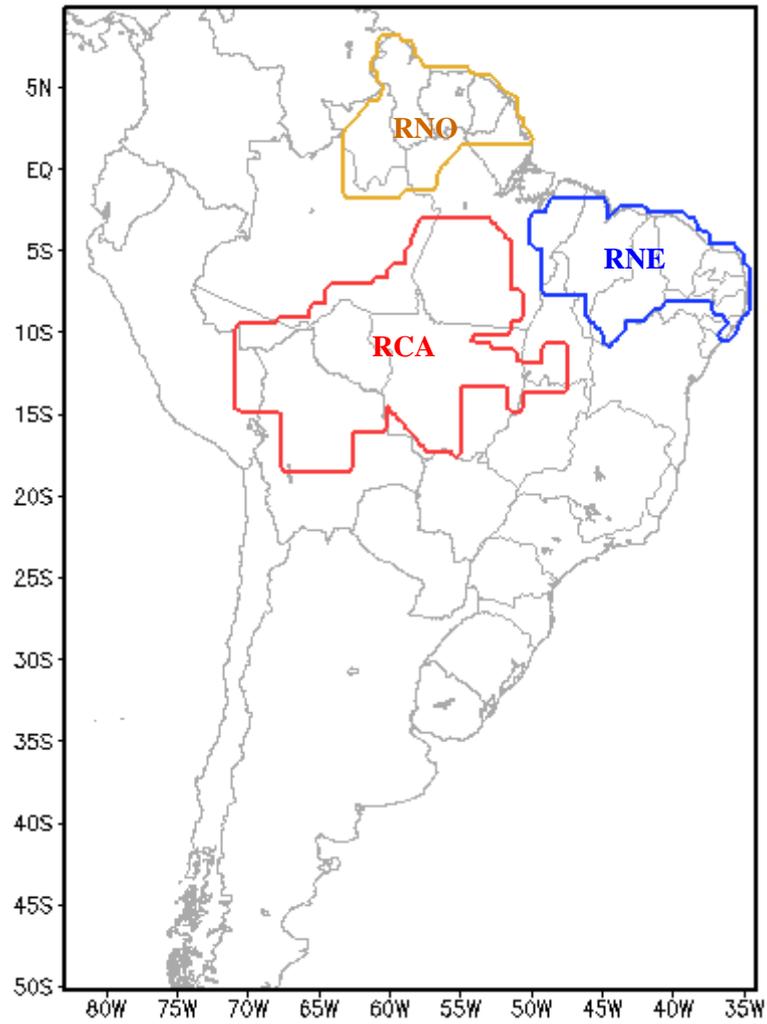


Figura 1. Regiões delimitadas para cálculo de índices na área. Em vermelho, Região Central da Amazônia – RCA; Em azul, Região Nordeste – RNE, em amarelo, Região Norte – RNO.

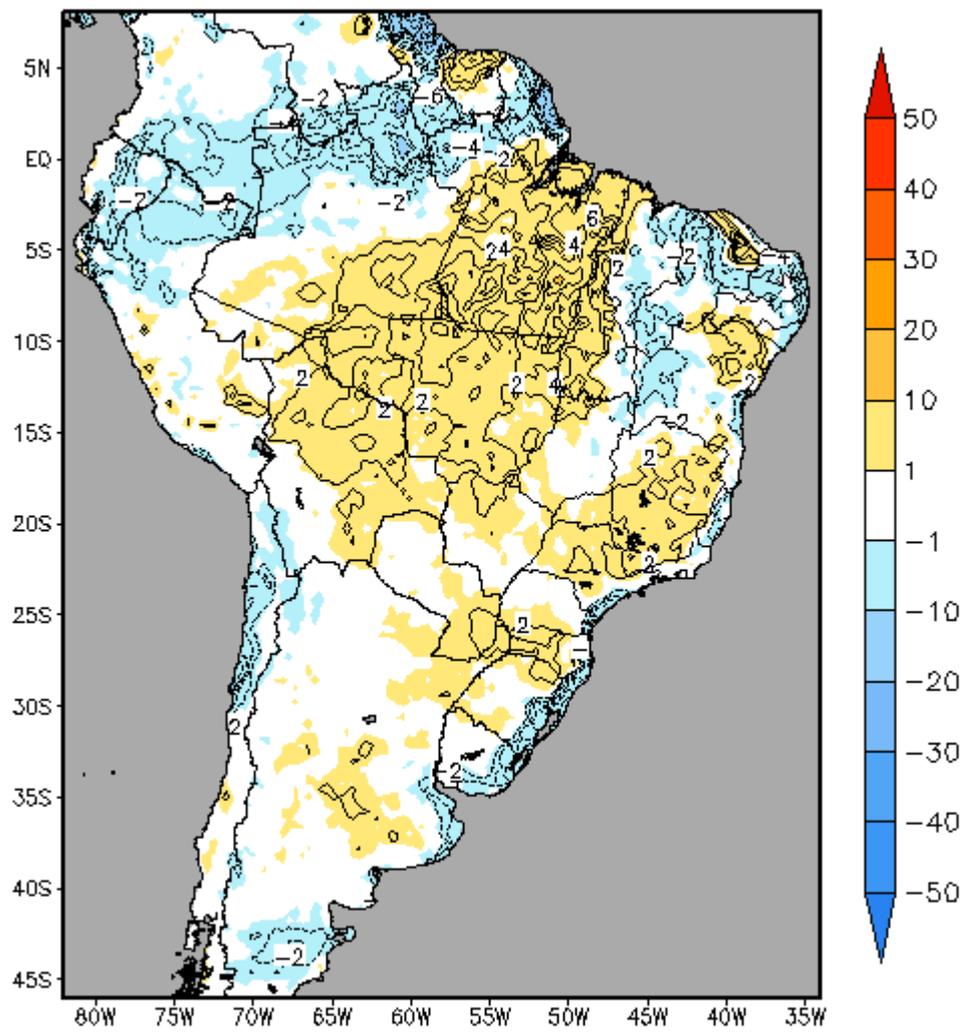


Figura 2. *Bias* da média dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre a média dos EET-I para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

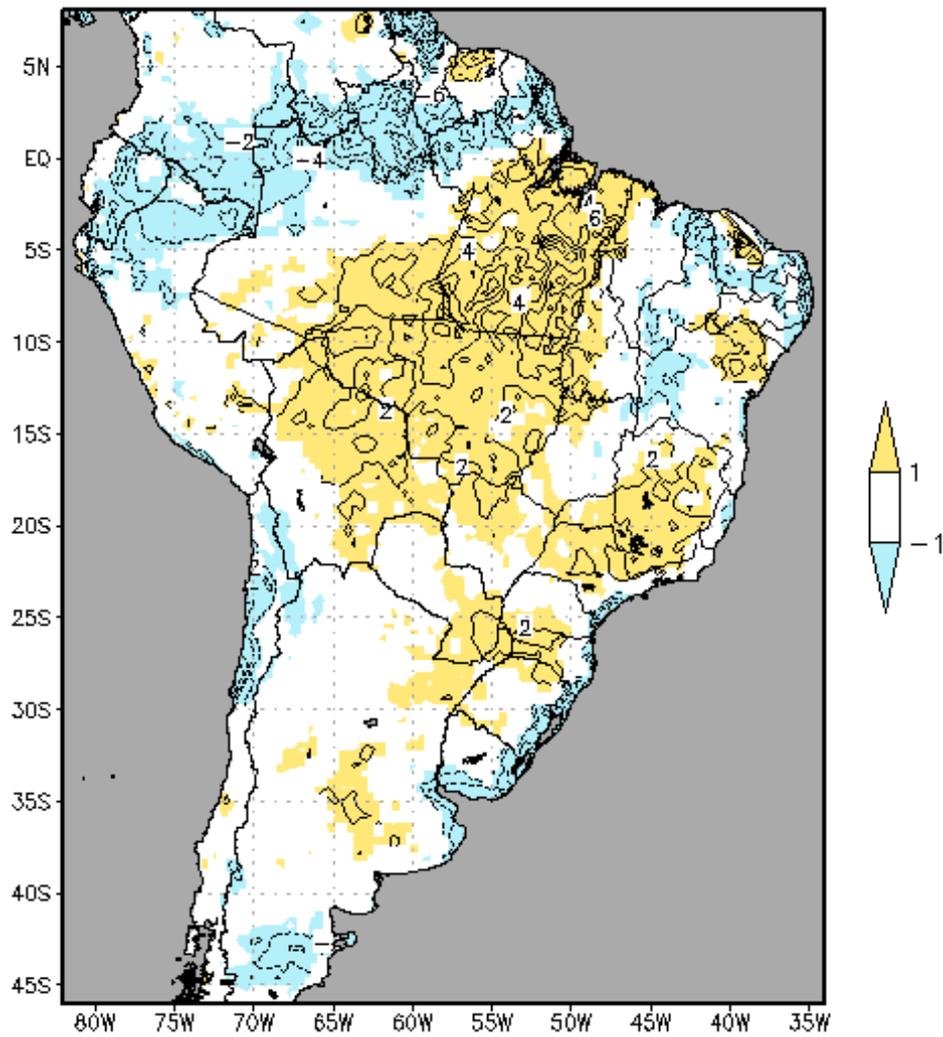


Figura 3. *Bias* da média dos eventos extremos tipo I, EET-I com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca.

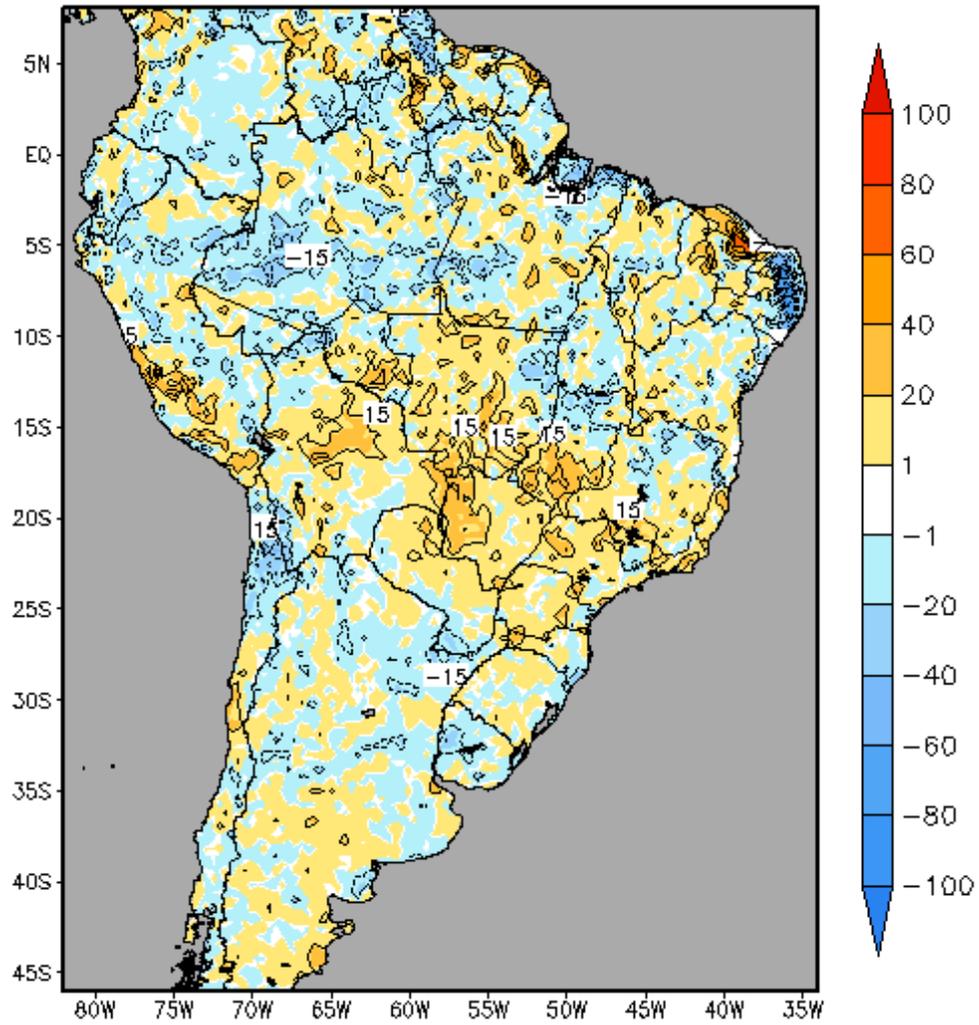


Figura 4. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-I para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

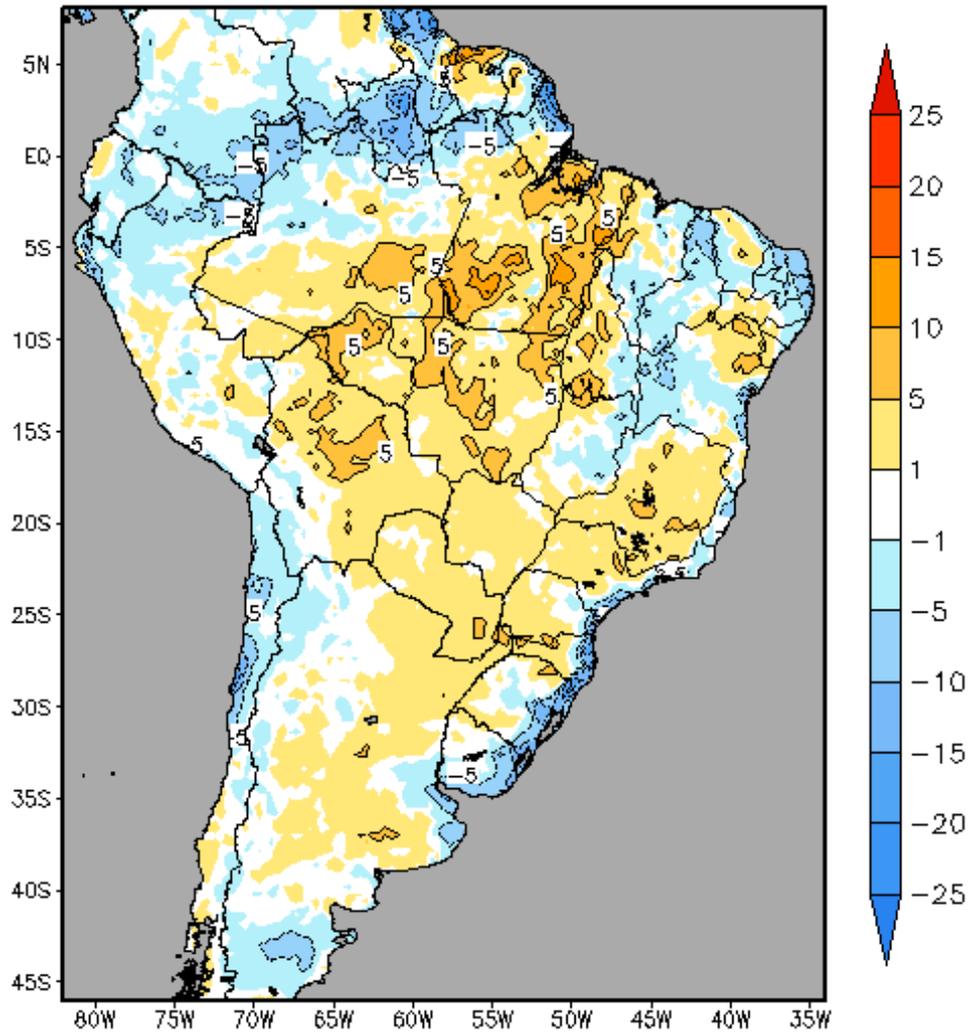


Figura 5. *Bias* da média dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre a média dos EET-II para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

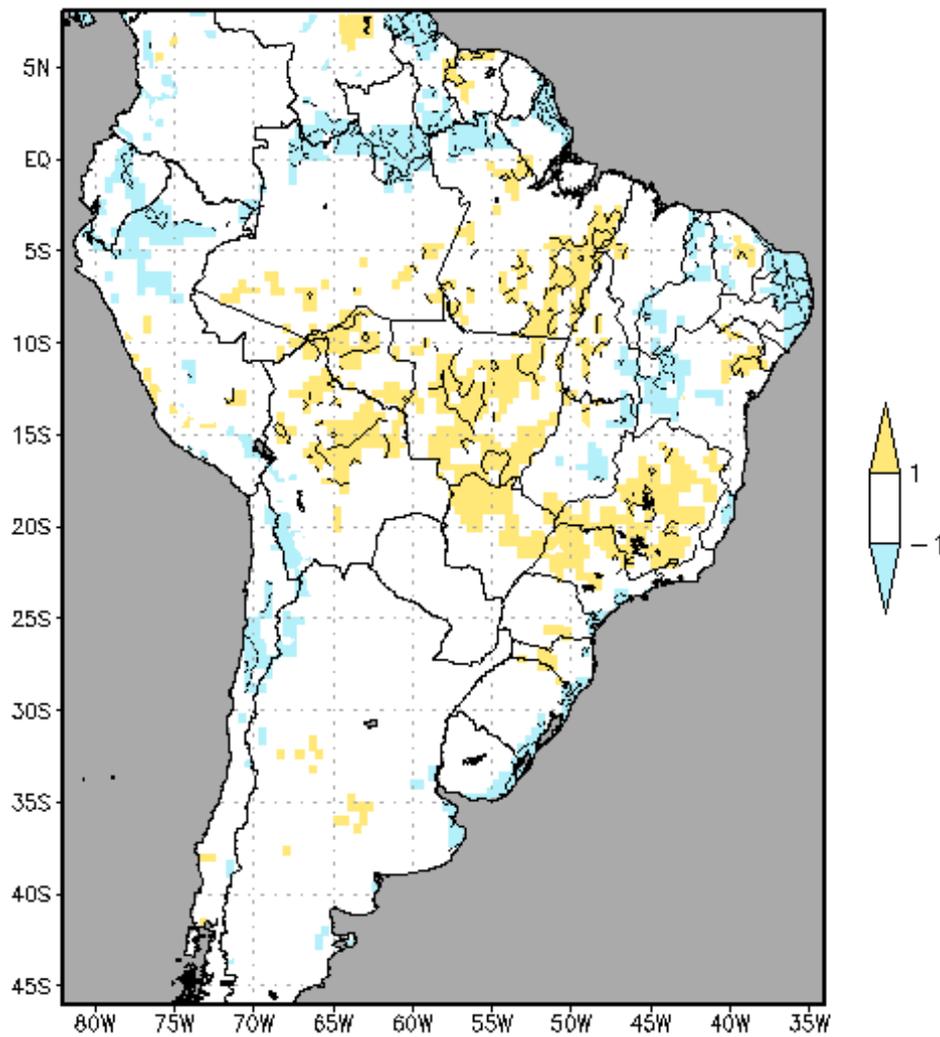


Figura 6. *Bias* da média dos eventos extremos tipo II, EET-II com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca, conforme Figura 3.

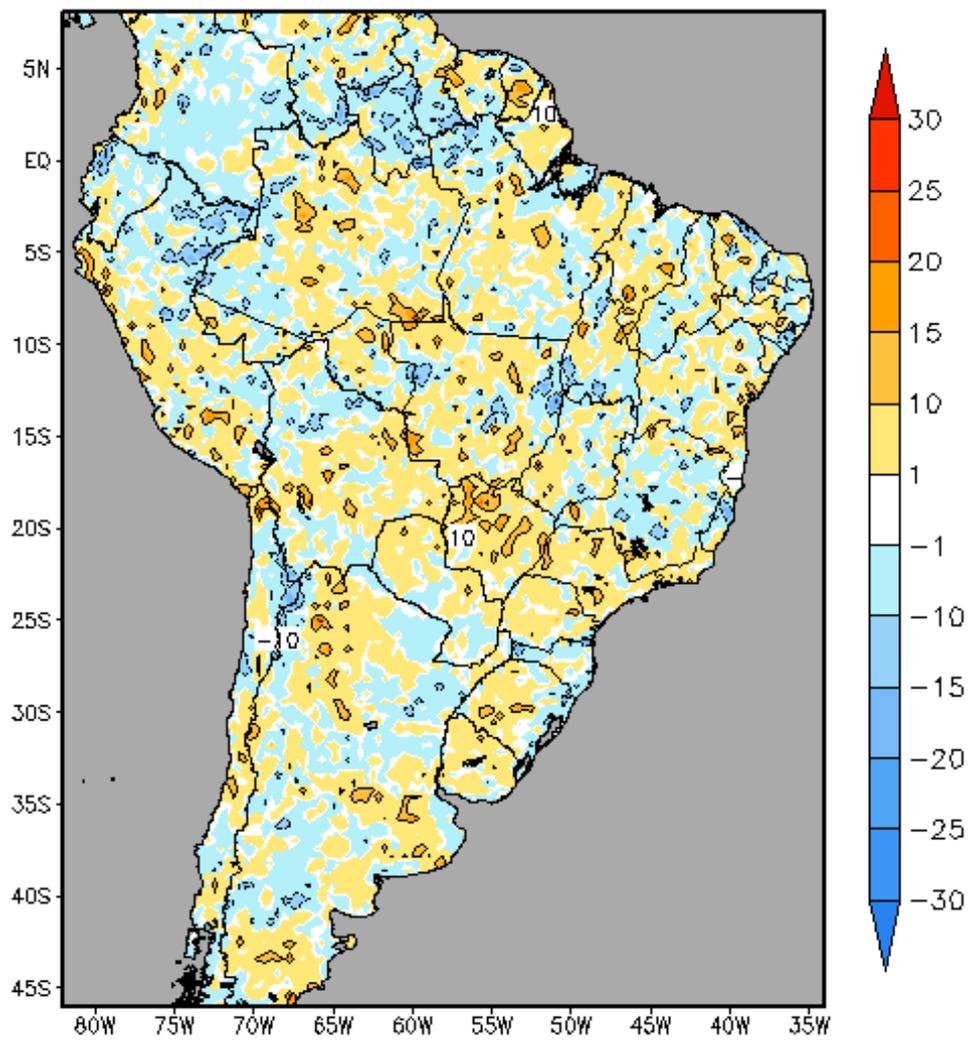


Figura 7. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-II para a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

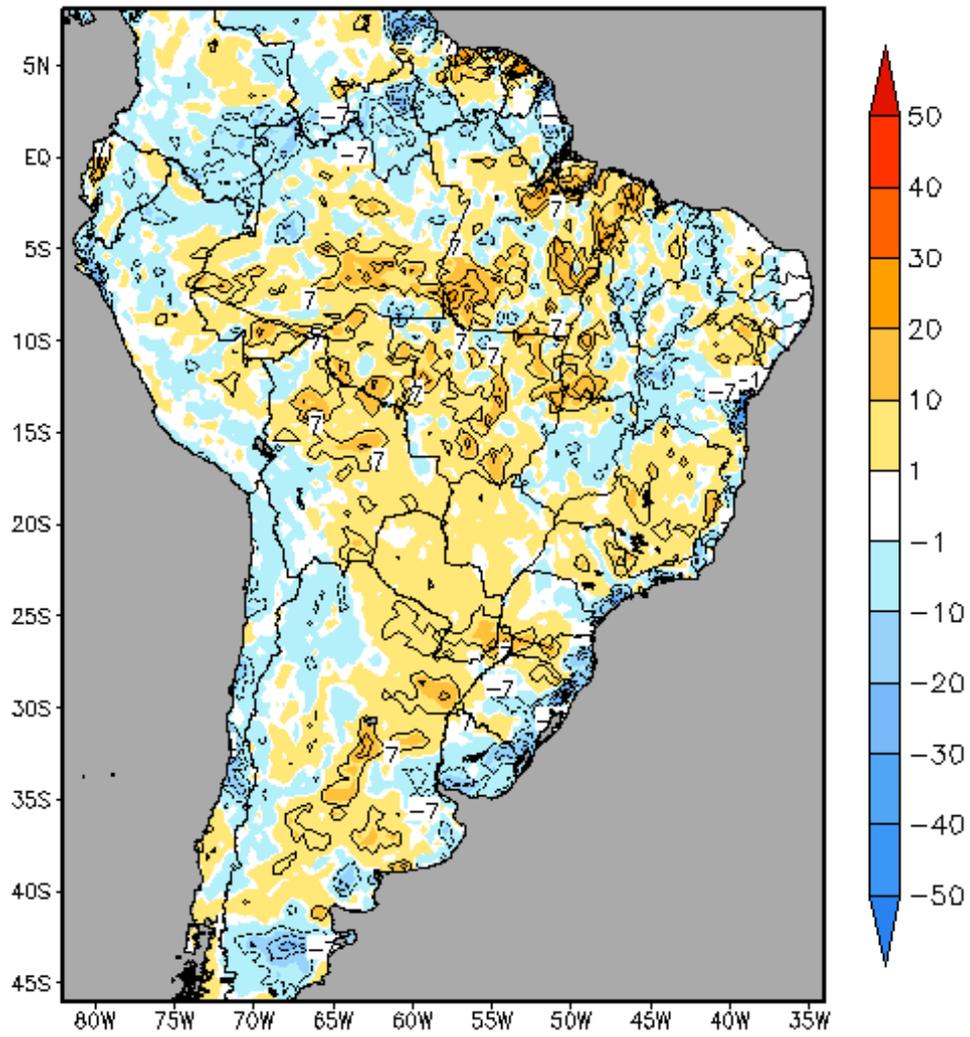


Figura 8. *Bias* da média dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre a média dos EET-III para o fim a década de 2040-2050, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

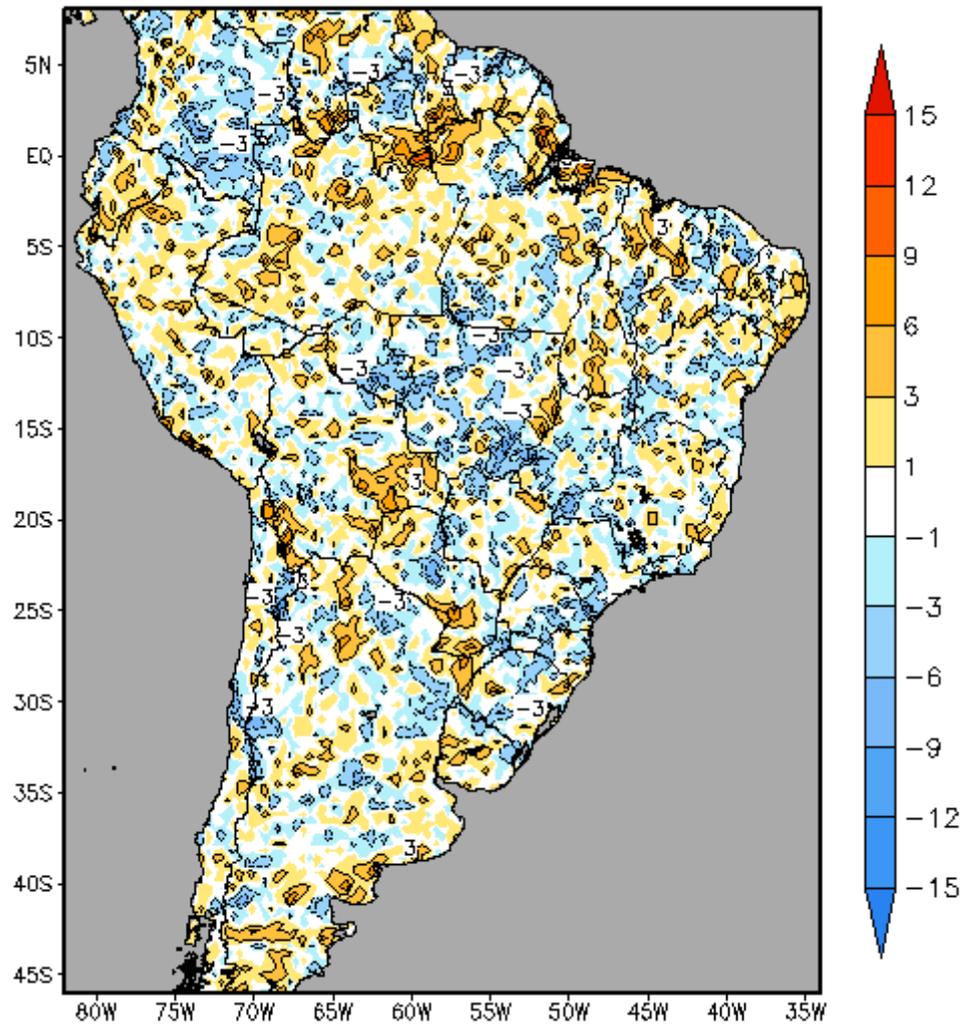


Figura 9. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-III para a década de 2040-2050, sec. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

1.7. MATERIAL SUPLEMENTAR

1.7.1. ÍNDICES CALCULADOS E GRÁFICOS

Para avaliar as alterações ocorridas entre as décadas nas áreas delimitadas na figura 1, foram calculados alguns índices.

a) Contribuição dos eventos extremos para o total geral de chuvas (%): A partir do total de chuva obtido na área é calculada qual a contribuição do total de cada classe de evento extremo para o referido total de chuva acumulado (em cada uma das regiões delimitadas), em termos de percentual. Por exemplo, analisando a Figura 10a, dados referentes a década de 1980-1990, tem-se que dos 100% de chuvas na área, 57% é atribuído aos eventos considerados extremos na região através da metodologia aplicada, e a diferença (100% - 57%) de 43% (barra não mostrada na figura) é atribuída aos eventos chuvosos considerados normais. Esses 57% de extremos, dividem-se em: 32% das chuvas geradas pelos EET-I, 15% pelos EET-II, e 10% pelos EET-III. A Equação 2 ilustra o que foi explicado acima.

$$EET (\%) = \frac{\textit{Total de Chuva Extrema}}{\textit{Total de Chuva (Geral)}} \times 100$$

Equação 2: Cálculo da contribuição do total de chuva associado a cada tipo de evento extremo de chuva para o total precipitado na área.

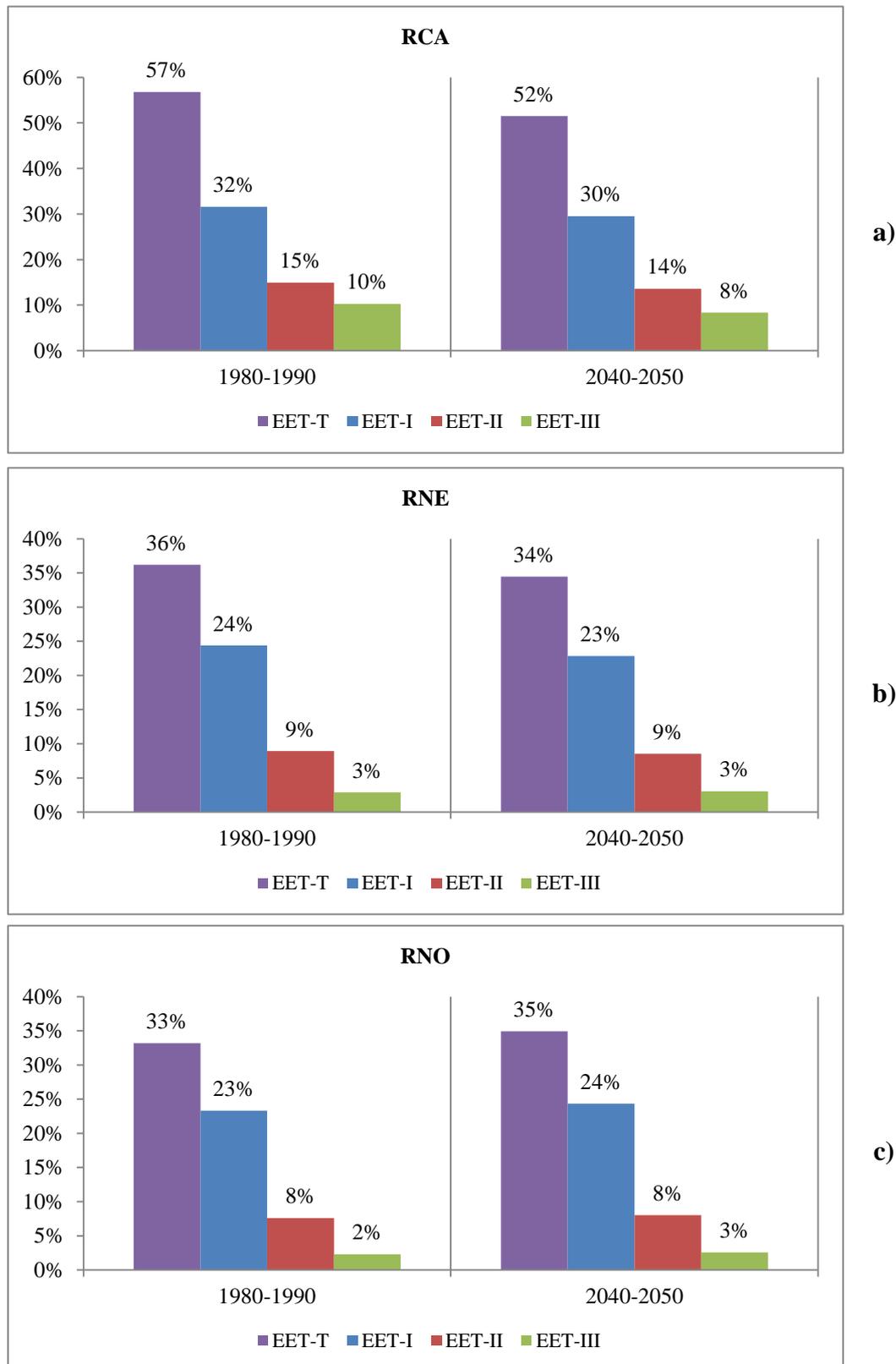


Figura 10. Contribuição do total de chuva associada a cada classe de evento extremo chuvoso em relação ao total de chuva precipitado na área. EET-T representa a soma de todos os eventos extremos de chuva.

b) Média do evento extremo por tipo (mm): Para trabalhar a diferença entre a média das chuvas entre uma década e outra, calcula-se o *bias*, que nada mais é que a diferença entre a média dos eventos de chuva de um tipo no clima futuro (2040-2050) e a média dos eventos do mesmo tipo no clima atual (1980-1990). Esse *bias* é calculado por ponto de grade e quando é feito o recorte para determinada região, como se observa na Figura 11a, pode-se calcular uma média na área, utilizando os valores médios dos pontos compreendidos naquele limite geográfico. Assim que se obtêm os valores médios de chuva em milímetros para cada tipo de evento analisado: evento normal de chuva (ENC), total de evento extremo (EET-T), e as classes de evento EET-I, EET-II e EET-III. A Equação 3, ilustra a operação realizada.

$$\text{Média Eventos Extremos} = \frac{\sum_1^n \text{Média dos Eventos Extremos Tipo}}{N (\text{Região})}$$

Equação 3: Cálculo da média dos eventos extremos por tipo de evento para a região. N refere-se ao número de pontos de grade compreendidos na área delimitada.

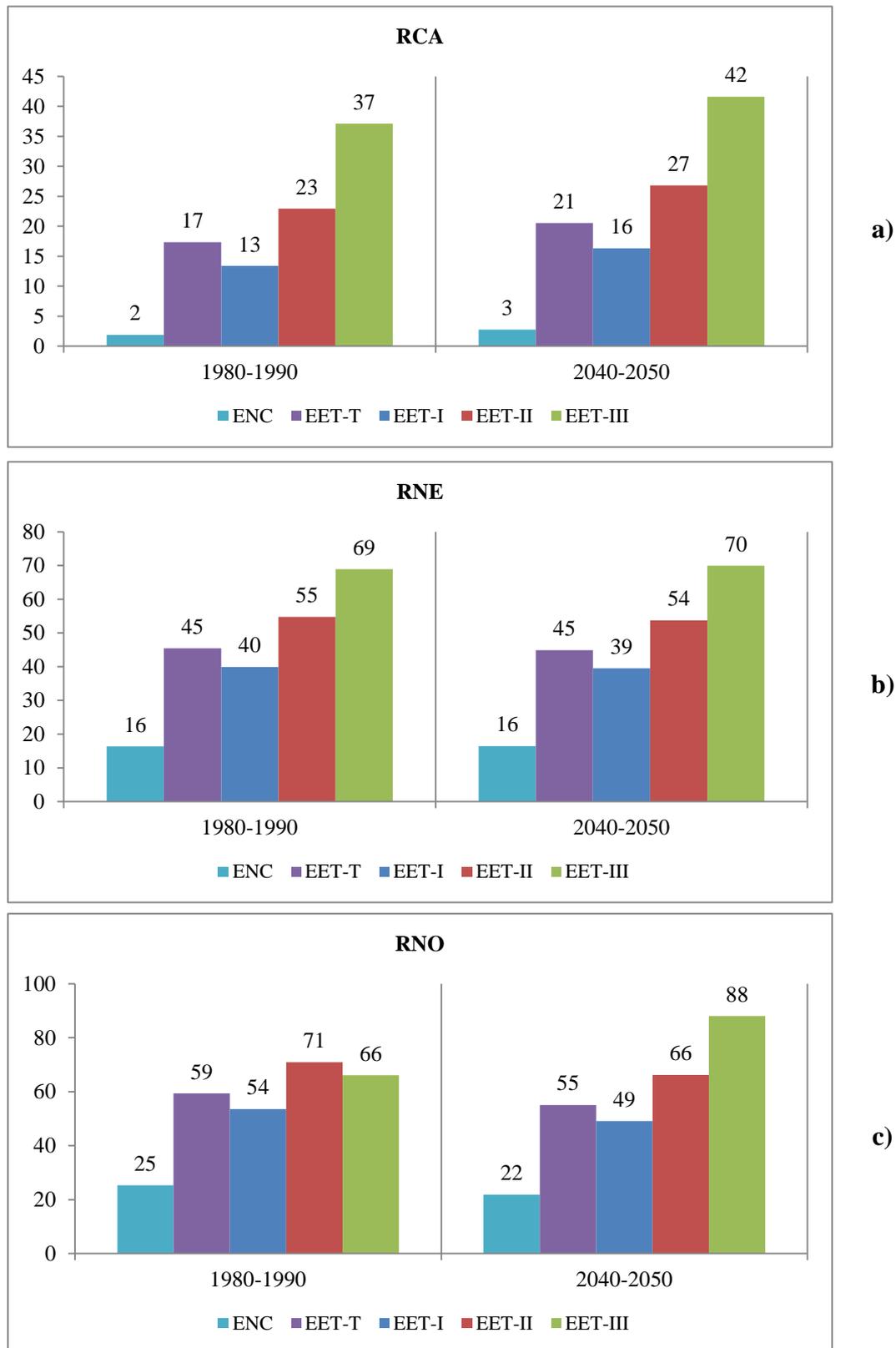


Figura 11. Valor médio do evento chuvoso na região para cada classe de evento extremo. ENC representa o valor médio do evento chuvoso considerado normal (não classificado como extremo).

c) Variação do total de chuva por tipo de evento: Essa variação foi calculada utilizando o total de chuva gerado por cada classe de evento, sejam aqueles considerados normais ou extremos. É feita a diferença entre o total obtido no clima futuro (2040-2050) e o total obtido no clima atual (1980-1990). Essa diferença entre uma década e outra é dividida pelo total obtido no clima atual, e dessa forma, colocada como porcentagem da mesma (anomalia positiva ou negativa). Na Figura 12a, observa-se uma anomalia positiva para o EET-I, considerando que a diferença encontrada corresponde a 23% do total da década de referência, ou seja, aproximadamente um quarto a mais de chuva para o EET-I no período de 2040-2050. Para ilustrar o cálculo aqui descrito, tem-se a Equação 4 logo abaixo.

$$Var (\%) = \frac{Total\ de\ Chuva\ (Futuro) - Total\ de\ Chuva\ (Passado)}{Total\ de\ Chuva\ (Passado)} \times 100$$

Equação 4: Cálculo da variação no total de chuva entre duas décadas em termos de porcentagem.

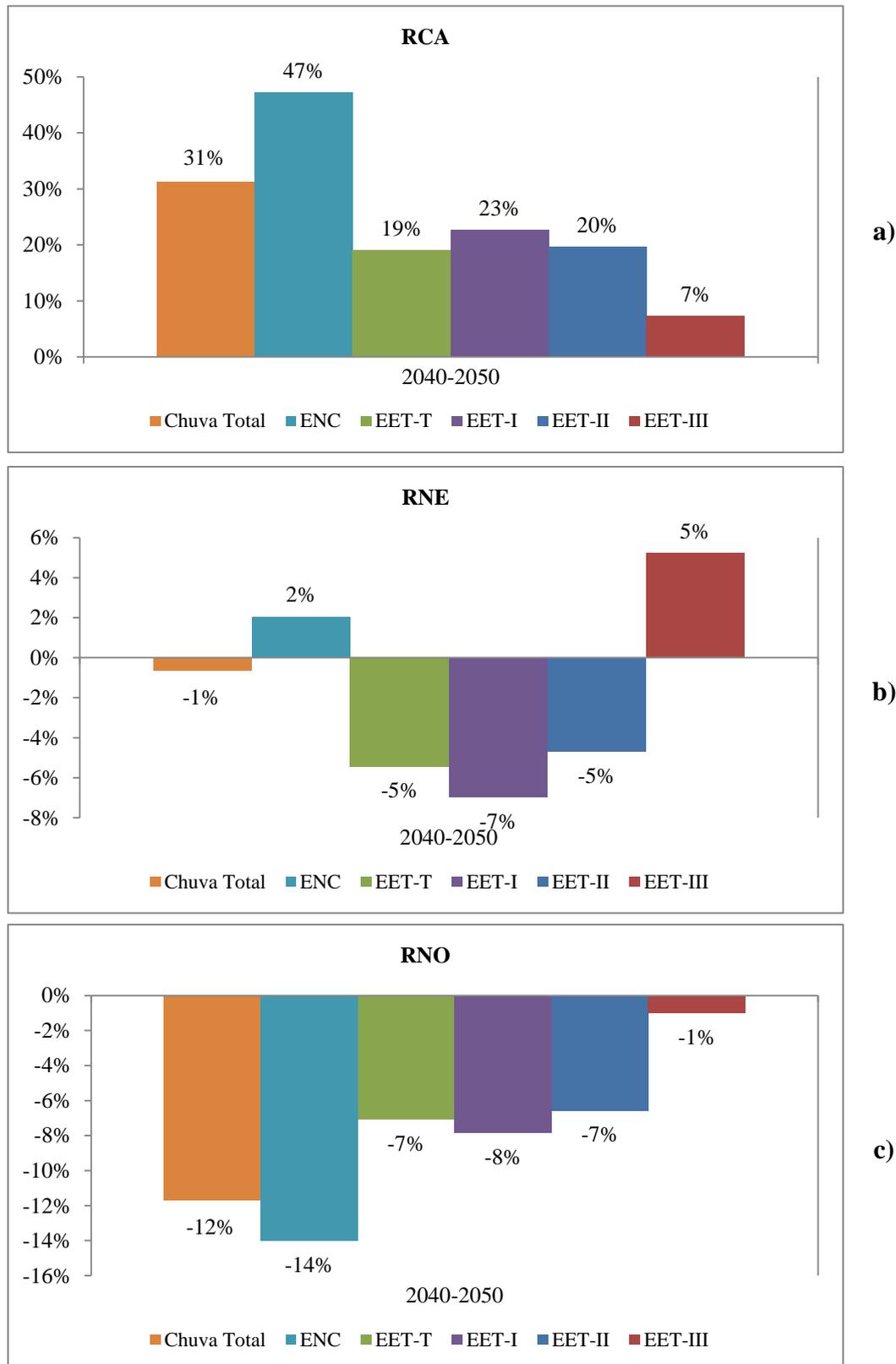


Figura 12. Diferença entre o total de chuva acumulado em cada classe de evento (normais e extremos) no clima futuro (2040-2050) e no clima atual (1980-1990). Chuva Total representa o total de chuva geral precipitado sobre cada uma das regiões.

d) Variação na frequência de eventos: trata-se também de uma diferença, ou anomalia, que foi calculada utilizando-se o total de eventos registrado para cada classe, sendo o mesmo normal ou extremo. É feita a diferença entre os totais obtidos no clima futuro (2040-2050) e o total obtido no clima atual (1980-1990), como pode ser observado na Figura 13a. Essa diferença entre uma década e outra é dividida pelo total de eventos registrados no clima atual, e dessa forma, colocada como porcentagem da mesma (anomalia positiva ou negativa). Ainda na Figura 13a, observa-se uma anomalia positiva para o EET-T, considerando que a diferença encontrada corresponde a 2% a mais do total de eventos registrados na década de referencia. A Equação 5 ilustra o cálculo feito.

$$Var (\%) = \frac{Total\ de\ Eventos\ (Futuro) - Total\ de\ Eventos\ (Passado)}{Total\ de\ Eventos\ (Passado)} \times 100$$

Equação 5: Cálculo variação no total de eventos (frequência) entre duas décadas em termos de porcentagem.



Figura 13. Diferença entre o total de eventos, extremos (prefixo EET) e normais (ENC), registrados no clima futuro (2040-2050) e o clima atual (1980-1990).

Capítulo 2

Fonseca, P. A. M.; Veiga, J. A. P.; Correia, F. W. S.; Brito, A. L. 2013. Estudo do impacto do aumento das concentrações de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos extremos chuvosos no norte da América do Sul para o final do século XXI: 2090-2100. A ser submetido.

Capítulo 2. Estudo do impacto do aumento das concentrações de gases do efeito estufa na frequência e intensidade dos eventos extremos chuvosos no norte da América do Sul para o final do século XXI: 2090-2100. A ser submetido.

RESUMO

A pesquisa teve por objetivo avaliar as alterações ocorridas na frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação para o final do século XXI (2090-2100), de acordo com o cenário de altas concentrações de gases do efeito estufa, A2 do IPCC. Para alcançar os objetivos do trabalho foram realizados dois experimentos numéricos com o modelo regional ETA tendo como condições iniciais e de fronteira os dados provenientes do modelo climático global acoplado CCSM3. A resolução horizontal utilizada nas simulações numéricas é de 40 km. Os experimentos numéricos foram realizados para o período de 1980-1990 e 2090-2100 utilizando-se para análise o trimestre de JFM. Os eventos extremos de precipitação foram divididos em três classes de intensidade, EET-I, EET-II e EET-III, baseado em uma adaptação do índice R5d criado pela OMM. O impacto do aumento dos gases foi quantificado para cada tipo de evento extremo. A primeira abordagem qualitativa feita aos dados indica que a região central da Amazônia (RCA) apresenta as anomalias positivas mais intensas, com as áreas correspondentes à região nordeste (RNE) e extremo norte do continente (RNO) apresentando as maiores anomalias negativas. Os resultados revelam que para a RCA existe um aumento na média de todos os eventos extremos de chuva (EET-I: 75%, EET-II: 58% e EET-III: 43%). Aumento também foi registrado na frequência dos EET-I: 8% e EET-II: 9% seguidos de redução dos EET-III: 8%. Para a RNE, tanto a frequência (EET-I: 3%, EET-II: 6% EET-III: 5%) quanto a média (EET-I: 18%, EET-II: 20% e EET-III: 17%) dos eventos extremos apresentaram redução. Para a RNO, houve redução na média dos eventos extremos (EET-I: 24%, EET-II: 22% e EET-III: 31%), embora na frequência apenas os EET-I e EET-II apresentaram redução de 4% e 13%, respectivamente, enquanto os EET-III tiveram aumento de 8%.

Palavras chave: Extremos de precipitação, América do Sul, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The goal of this study was to evaluate the changes in the frequency and intensity of the extreme precipitation events for the end of 21st century (2090-2100) accordingly to the IPCC high emissions scenarios A2. To achieve this goal two numeric experiments with the ETA regional model were performed, using the CCSM3 global coupled climate model data as the initial and boundary conditions. The horizontal resolution used for the numeric simulations was 40 km. The numeric experiments were performed for the 1980-1990 and 2090-2100 decades and JFM trimester were analyzed. The extreme precipitation events were divided in three types of intensity, EET-I, EET-II and EET-III, based on an adaption from the R5d index created by World Meteorological Organization. The impact of the increase in CO₂ was quantified for each type of extreme event. The first result was qualitative and indicated that the Amazon central region (RCA) is the one that presents the most intense positive anomalies and the areas corresponding to the northeast (RNE) and extreme north of the continent (RNO) presented the highest negative anomalies. The results reveal that the RCA experiences an increase in the mean of all rainfall extreme events (EET-I: 75%, EET-II: 58% and EET-III: 43%). An increase was registered in the frequency of the EET-I: 8% and EET-II: 9% followed by a reduction of EET-III: 8%. In the RNE, both in frequency (EET-I: 3%, EET-II: 6% EET-III: 5%) and in the average (EET-I: 18%, EET-II: 20% and EET-III: 17%) the extreme events were reduced. For the RNO, was observed a reduction in the mean of extreme events (EET-I: 24%, EET-II: 22% and EET-III: 31%) although in the frequency just EET-I and EET-II presented reduction 4% and 13% respectively while the EET-III had an increase of 8%.

Keywords: Precipitation extremes, South America, Climate Change

2.1 INTRODUÇÃO

No dia 9 de maio de 2013 registrou-se um fato histórico para as ciências climáticas. Pela primeira vez, desde 1958, o Observatório Mauna Loa, no Havaii, mantido pela *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA) registrou a marca de 400 ppm (partes por milhão) de concentração de gás carbônico (CO₂). Sendo esta a estação mais antiga a manter medições contínuas deste gás, um dos que mais contribui para o aquecimento da atmosfera global, os dados providos pela mesma são tidos como referência global (NOAA, 2013).

Recentemente o trabalho de Marcott et al. (2013) trouxe a público resultados de uma pesquisa que atribuiu maior peso a esse valor de concentração de CO₂. Via experimentos realizados com modelos climáticos, foi possível recriar registros de temperaturas globais de até 11.300 anos atrás. Embora os autores afirmem que o período de 2000 a 2009 não tenha registrado temperaturas que batessem o recorde do início do Holoceno (entre 10.000 e 5.000 anos antes de 1950), as temperaturas encontradas nesta década excedem a distribuição reconstruída em 82% do período e mesmo depois de feito os ajustes e suavizações na série esse percentual ficou em 72%.

Cook et al. (2013) realizaram um levantamento entre artigos científicos que passaram por revisão entre os anos de 1991 e 2011 e encontraram que entre os artigos que endossam a posição de que o aquecimento global tem causas antropogênicas, 97,1% endossam, também, o consenso de que os seres humanos estão causando o aquecimento global. Embora, saiba-se que a influencia antropogênica no clima é fato, não é fácil quantificar essa interferência. A estatística auxilia na identificação das tendências (aumento/diminuição na frequência de eventos extremos), mas um trabalho de análise mais elaborado é necessário para entrar no quesito de atribuição, de maneira a chegar nas relações de causa e efeito, conforme coloca Coumou e Rahmstorf (2012). Nesse sentido são utilizados modelos climáticos com os quais são feitos os experimentos controlando as forçantes climáticas que podem alterar o comportamento médio das variáveis atmosféricas envolvidas.

O químico sueco Svante Arrhenius (1896) foi o primeiro pesquisador a expressar preocupação no que concerne ao aumento das concentrações de CO₂ para o clima. Naquela época foi estimado que caso houvesse um aumento de até 3 vezes nas concentrações de CO₂ da época, poderia ocorrer o aumento da temperatura atmosférica entre 8-9°C, o que não difere

muito do que os modelos climáticos computacionais de hoje em dia simulam (Trenberth, 1992). Esses modelos não conseguem simular o aquecimento observado na segunda metade do século XXI sem as forçantes antropogênicas (Min et al., 2009). Quando estas são incluídas, é possível inclusive simular o padrão geográfico do aquecimento que vem ocorrendo (IPCC, 2007).

A maior parte desse aumento na concentração de CO₂, em particular, vem da queima de combustíveis fósseis (IPCC, 2007). Gases como metano (CH₄) e o óxido nitroso (NO₂) são oriundos de atividades agrícolas e, apesar de apresentarem menores concentrações na atmosfera, têm capacidade de aquecimento muito maior que o CO₂.

Seguindo o aumento nas concentrações de CO₂, tem-se o aumento da temperatura atmosférica, que conseqüentemente aumentará a capacidade da mesma absorver umidade. De maneira geral, tem-se que essa característica climática segue a relação de Clausius-Clayperon, a qual diz que para cada grau celsius de aumento da temperatura da atmosfera próxima a superfície, considerando a umidade relativa constante, produz o aumento de aproximadamente 7% na capacidade da atmosfera em reter umidade (Chou e Lan, 2012; Coumou e Rahmstorf, 2013). Quanto maior a quantidade de umidade na atmosfera, maior a probabilidade de que se ocorram chuvas, uma vez que se tenham condições atmosféricas locais para tanto (Coumou e Rahmstorf, 2013).

Diante do exposto, esse trabalho visa contribuir para os estudos que avaliam os impactos do aquecimento global nos eventos extremos chuvosos através de experimentos numéricos utilizando o modelo ETA

2.2 MATERIAL E MÉTODO

2.2.1 DADOS E MODELO UTILIZADOS

Os resultados aqui analisados e discutidos referem-se aos experimentos realizados para as décadas de 1980-1990 e 2090-2100 utilizando o modelo regional ETA (Chou et al. 2011) que apresenta essa nomenclatura por utilizar o sistema de coordenadas verticais homônimas descrita em Black (1994). O modelo foi configurado para apresentar resolução horizontal de 40 x 40 km. Esta versão utiliza a parametrização de cumulus descrita em Janjic (1994), de microfísica de nuvens descrito em Zhao et al. (1997) e esquema de superfície conforme Chen et al. (1997) e Ek et al. (2003). Para os experimentos realizados, mantiveram-se os dados de

vegetação do Projeto de Atualização da Representação da vegetação nos Modelos Numéricos (PROVEG), que conforme descrito em Sestini et al. (2002) inclui dados de desflorestamento do INPE até o ano 2000 (INPE, 2010). O projeto gerou mapas de vegetação mais detalhados para modelos hidrológicos e atmosféricos de maneira a melhor simular processos de superfície que possam influenciar na previsão do tempo.

As condições iniciais e de contorno do modelo regional foram fornecidas pelo *Community Climate System Model* (CCSM3) descrito em Meehl et al. (2006), modelo de circulação atmosférica global desenvolvido pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCAR). Este modelo simulou o clima futuro com base em diferentes cenários de emissão do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, da sigla em inglês) e cujos resultados são discutidos em Meehl et al. (2006). A resolução horizontal do modelo é de 1.4° x 1.4° latitude-longitude, o que corresponde a 150 km aproximadamente.

Os dados provenientes do modelo climático global acoplado CCSM3 utilizados nos experimentos correspondem ao período de 1980-1990, sendo este considerado o período de referência, ou clima atual, e ao período de 2090-2100, aqui também chamado de clima futuro. Para o clima atual, a concentração de CO₂ é de aproximadamente 369 ppm e para o final do século é de aproximadamente 771 ppm, correspondente ao valor médio para o referido período segundo o cenário de emissão A2. Este cenário é considerado como pessimista (Nakicenovic et al., 2001). Utilizam-se como referência as concentrações de CO₂, mas o aumento das concentrações ocorre para todos os gases do efeito estufa inserido no modelo. O dado serve apenas para que se tenha uma noção do quanto maiores estarão esses valores de uma década para outra. As saídas desse modelo global para os diferentes cenários de emissões compõem os resultados da terceira fase do *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP-3), cujos dados foram utilizados nas análises realizadas para o quarto relatório (AR4, da sigla em inglês) do IPCC.

Os experimentos realizados tiveram início em 01/12/1989 e 01/12/2089. Cada um deles foi executado para o período de dezembro a março do ano seguinte. O primeiro mês foi desprezado, analisando-se então os resultados obtidos para os meses de janeiro, fevereiro e março. Dessa forma, foram produzidos 20 trimestres de dados para analisar, sendo 10 trimestres por década, um total de 900 dias por década. O Quadro 2 apresenta um resumo da configuração utilizada para os mesmos.

2.2.2 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS

No que concerne a caracterização de um evento extremo chuvoso neste trabalho, utilizou-se o método listado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e utilizada por Frich et al. (2002) e Gao et al. (2006). O método consiste em analisar a série histórica em intervalos de 5 dias, e encontrar o maior valor de chuva em cada subconjunto (índice R5d). A partir desse conjunto, é feita uma média que servirá de parâmetro na escolha dos eventos extremos: qualquer evento que apresentar valor de chuva em milímetros igual ou superior à média será considerado um evento extremo chuvoso. Uma vez determinado quais eventos são extremos é calculado a média destes eventos, também chamada de climatologia dos extremos (C_{MAX}). Desse ponto em diante, é feita a classificação dos eventos, de acordo com as classes definidas da seguinte forma:

a) Caso o valor da chuva registrado no ponto de grade do domínio avaliado seja igual ou superior ao da climatologia dos máximos para o ponto de grade em questão (C_{MAX}) e menor do que a climatologia dos máximos mais uma vez o desvio padrão dos máximos (1D_PMax), o evento será considerado evento extremo tipo I (EET - I). Isto é, $C_{MAX} \leq EET-I < C_{MAX} + 1D_{P}Max$.

b) Caso o valor da chuva registrado seja igual ou superior à climatologia dos máximos mais uma vez o desvio padrão dos máximos e menor do que a climatologia dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos máximos, o evento será considerado evento extremo tipo II (EET-II). Isto é, $C_{MAX} + 1D_{P}Max \leq EET-II < C_{MAX} + 2D_{P}Max$.

c) Caso o valor da chuva registrado seja igual ou superior à climatologia dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos máximos o evento será considerado evento extremo muito forte (EET-III). Isto é, $C_{MAX} + 2D_{P}Max \leq EET-III$.

2.3 RESULTADOS

Nesta seção será feita uma análise das alterações ocorridas na intensidade e frequência dos eventos extremos chuvosos, especialmente nas regiões norte e nordeste do Brasil e parte dos países que compõe a Amazônia internacional. Além dos mapas gerados indicando as anomalias, tanto na média dos eventos como na frequência dos mesmos serão discutidas as alterações observadas por região conforme mostra a Figura 1. Essas regiões foram definidas

através de análise visual, com o objetivo de priorizar as áreas que apresentavam as anomalias mais intensas.

Para a média dos eventos tipo I e II foi realizado o teste *t-student* para identificar as áreas que apresentavam diferença significativa ao nível de 95%. No tópico a seguir, o resultado do teste será comentado.

2.3.1 ANÁLISE QUALITATIVA POR TIPO DE EVENTO

2.3.1.1. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- I.

Na Figura 14 têm-se o *bias* para a média dos EET-I e a primeira área analisada será a região central da Amazônia (RCA) onde se observa anomalias positivas que ficam em torno de 10 e 20 mm. No centro da RCA destaca-se a porção sul da região norte brasileira, notoriamente, o estado de Rondônia, que apresenta cerca de 90% de sua área com anomalia positiva na média dos eventos, assim como estreita faixa no sul do Amazonas e leste do Acre, sudoeste do Pará, região norte do Mato Grosso, e sul do Tocantins. A Figura 15 indica as áreas onde as diferenças encontradas são significativas ao nível de 95% de acordo com o teste *t-student* e é possível observar que toda a extensão da RCA apresenta diferenças positivas significativas. De acordo com a Figura 16 a RCA apresenta sensível redução na frequência dos eventos o que sugere aumento da intensidade dos mesmos na região.

Para a região Nordeste, daqui em diante designada por RNE, a Figura 14 apresenta uma extensa faixa que cobre o litoral norte da região se estende ao sertão e atinge inclusive os estados do Maranhão e Piauí. Em toda essa área, nota-se redução significativa nos valores de chuva em torno de 1 e 10 mm. Sobre o estado do Maranhão a redução chega a 20 mm cobrindo área superior a 50% do território do estado. A região nordeste apresenta diferenças negativas significativas em praticamente toda sua extensão (Figura 15). No que diz respeito às anomalias na frequência de eventos, observa-se a partir da Figura 16 que parte do sertão nordestino apresenta área com aumento de até 80 eventos comparado com o período 1980-1990. O mesmo padrão é encontrado no estado do Piauí. Tem-se uma pequena faixa próxima ao litoral nordestino que apresenta redução em torno de 80 eventos também. Porém, e a projeção indica redução na quantidade de chuva associada aos EET-I na região.

A região do estado de Roraima e parte das Guianas apresentam as menores reduções na média dos EET-I, de acordo com a Figura 14. Esta área corresponde à região norte, e será

designada por RNO. Roraima apresenta vasta área com redução de 10 mm. No ponto mais extremo do continente, tem-se pequena área com até 50 mm de redução na média dos eventos da classe. De maneira geral, o extremo norte não só do Brasil, mas a área das Guianas também apresenta redução em torno de 10 mm na média, conforme discutido, o que não deixa de ser um valor expressivo, considerando que se trata de diferenças médias ao longo de uma década. Essa região também apresenta predominância de áreas com diferenças negativas significantes, conforme apresentado na Figura 15. Em relação ao número de eventos extremos, a partir da Figura 16 nota-se que parte norte do continente apresenta redução em torno de 10 eventos entre as duas décadas. Há pontos nos quais a redução chega a 80 eventos. O estado de Roraima é o que apresenta área territorial mais afetada, com anomalia negativa de 20 eventos.

2.3.1.2. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- II

A primeira área onde se observam alterações na média das chuvas para a classe EET-II é a região central da Amazônia (Figura 17), aproximadamente equivalente a RCA. Porém esta área estende-se pelo leste do estado do Acre e áreas maiores nos estados de Rondônia, Amazonas, Pará, Mato Grosso e Tocantins, em relação ao que se observa para a média dos EET-I (Figura 14). Adicionalmente, cobre parte da Bolívia e das regiões sul e sudeste do Brasil. Nessa região, que em maior parte de sua extensão apresenta anomalias positivas em torno de 10 a 15 mm na média das chuvas, ainda é possível distinguir área de menor extensão com valores em torno de 20 e 25 mm. Na Figura 18, destacam-se as áreas onde as diferenças obtidas são significantes, e pode-se constatar que na RCA, em relação a média dos EET-I, essa área é bastante reduzida. Em termos de frequência de eventos extremos, conforme visto na Figura 19, não são observadas áreas com grandes alterações. Na fronteira entre os estados do Amazonas, Pará e Mato Grosso nota-se uma pequena área com aumento no número de casos (entre 20 e 25 eventos). No entanto, não se pode afirmar que o aumento é homogêneo na região em questão uma vez que há pontos que apresentam redução/aumento de 10 eventos em relação ao período de referencia de maneira irregular.

Áreas no nordeste e extremo norte do continente apresentam reduções na média dos eventos que também se destacam comparadas ao restante do continente, conforme se observa na Figura 17. A mesma faixa que se delimitou para os EET-I (Figura 1), passando pela região

litorânea nordestina, parte do agreste, sertão e meio norte (estados do Piauí e Maranhão), apresenta redução em torno de 15 e 20 mm e afastando-se do litoral chega a 25 mm. Em termos de significância, a Figura 18 evidencia que a faixa litorânea do nordeste é a que se destaca com valores negativos significativos, enquanto o restante da RNE praticamente não apresenta diferenças relevantes. Observando a Figura 19, não é possível distinguir uma área com anomalias de frequência bem definida, conforme se tem para a média dos eventos. Porém maior parte da região apresenta um aumento na frequência que pontualmente pode chegar a 20 eventos pelo menos. Pequenas áreas nos estados do Ceará, Piauí e Maranhão têm pontos com anomalias que indicam redução de até 30 eventos.

Na Figura 17, é possível destacar que o estado de Roraima, extremo norte da região norte brasileira, apresenta vasta região com anomalias negativas entre 15 e 20 mm. Alguns pontos com valores de até 25 mm são encontrados nesta área. Observando o extremo norte do continente, tem-se parte do estado do Amapá, Amazonas e Guianas com intervalos semelhantes aos citados anteriormente. Ainda, assim, conforme se observa na Figura 18, nem toda extensão da RNO apresenta valores significativos, de acordo com o teste *t-student* aplicado aos dados. No que condiz às anomalias da frequência (Figura 19) essa região é a que apresenta a área mais distinta com faixas indicando redução entre 15 e 20 eventos. Nas Guianas, há pequenos pontos com aumento no número de EET-II, entre 10 e 20 eventos a mais quando comparado ao período de referência.

2.3.1.3. EVENTO EXTREMO DE CHUVA FORTE – EET- III

Último intervalo analisado neste estudo refere-se aos EET- III, cujo *bias* em relação a média dos eventos extremos no período 2090-2100 e 1980-1990, é mostrado na Figura 20. Observa-se que a região mais afetada por anomalias positivas de chuva é, assim como observado nas duas primeiras classes de extremos, a parte central da Amazônia. A região com anomalias cobre quase todo o estado do Mato Grosso, Rondônia, Acre, todo o sul do Amazonas e sudoeste do Pará, e ainda se estende por vasta área na Bolívia, Uruguai, Paraguai e Argentina, além das regiões sudeste e sul do Brasil. As anomalias positivas variam de 20 a 30 mm, alguns pontos até 30 mm. Ainda assim o teste de significância ao nível de 95% não encontrou valores significativos. As alterações na frequência não acompanham o mesmo padrão espacial da média dos eventos, conforme observado na Figura 21. O que pode ser um indicativo de aumento da intensidade dos eventos extremos em alguns pontos. Pequenas

áreas, dentro da RCA indicam redução de aproximadamente 3 eventos em relação a década 1980-1990.

Na Figura 20, observa-se que o meio norte brasileiro (nordeste brasileiro) se destaca pela redução na média em milímetros de chuva por evento. Piauí, Maranhão e parte leste do Pará apresentam reduções de 10 a 40 mm. Na frequência dos eventos, cujo *bias* é mostrado na Figura 21, pequena faixa no estado do Maranhão acompanha a redução na média dos eventos, apresentando variação em torno de 3 a 9 eventos.

Conforme se observa na Figura 20 os estados de Roraima e Amapá apresentam reduções na média dos eventos extremos também, da ordem de 10 a 40 mm. Dessa região apenas uma pequena área no extremo norte do Amapá apresenta aumento no número de eventos, neste caso, 9 a mais que no período de 1980-1990, de acordo com a Figura 21. As demais áreas indicam redução no número de casos.

2.3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A Figura 22 apresenta o resultado da análise feita a cerca de alterações na contribuição de cada classe para o total de chuva em cada região. Os valores para RCA, mostrados na Figura 22a revelam uma redução em torno de 5% para EET-I, 3% para os EET-II e 4% para os EET-III. Para a RNE (Figura 22b) nota-se uma queda de 2% na contribuição dos EET-I, de 1% em EET-II e mantendo-se constante em 3% para EET-III. No caso da RNO, observando a Figura 22c, houve um aumento na contribuição de 3% para EET-I e a manutenção dos valores para EET-II e EET-III em 8% e 2% respectivamente.

É possível observar as alterações ocorridas na média dos eventos extremos de cada classe em cada uma das regiões avaliadas na Figura 23. Os valores para RCA são apresentados na Figura 23a onde se destaca que a região apresentou anomalias positivas para todas as classes: de 75%, equivalente a 10 mm para os EET-I, de 13 mm na média dos eventos, correspondente a 58% para EET-II e de 16 mm, o que corresponde a 43% para EET-III. Para RNE (Figura 23b) as anomalias para todas as classes foram negativas: 7 mm, equivalente a 18% para EET-I, 11 mm, o que representa 20% para EET-II e de 12 mm, equivalente a 17% para EET-III. Na Figura 23c, têm-se os valores obtidos para RNO, onde as anomalias encontradas para as três classes também são negativas: de 13 mm, correspondendo a 24% para EET-I, de 16 mm, o que corresponde a 22% para EET-II e de 21 mm, ou 31% para EET-III.

Na Figura 24 são mostradas as diferenças entre os dois períodos analisados para o total de chuva associado a cada tipo de evento em cada região. Para RCA, a Figura 24a indica anomalias positivas para as três classes: EET-I com 85%, EET-II com 75% e EET-III com 30%. Observando a Figura 24b, têm-se os valores obtidos para RNE, onde todas as anomalias foram negativas: de 23% em EET-I, de 26% para EET-II e de 24% para EET-III. Da mesma forma, na Figura 24c, observam-se apenas anomalias negativas na RNO: 20% para EET-I e EET-II e de 21% para EET-III.

E por último, as anomalias para a frequência nas três regiões são apresentadas na Figura 25. A RCA, cujos valores são mostrados na Figura 25a, apresenta anomalias positivas para EET-I e EET-II de 8% e 9% respectivamente e anomalia negativa de 8% para EET-III. Na Figura 25b, apresentam-se os valores da RNE, e pode-se observar que as anomalias são todas negativas: de 3% para EET-I, de 6% para EET-II e de 5% para EET-III. Para RNO, as alterações são mostradas Figura 25c, onde se observa que as anomalias são negativas para EET-I, de 4%, e para EET-II de 13%, enquanto EET-III apresentou aumento de 8% no número de eventos.

2.4 DISCUSSÃO

Para a RCA, localizada na Amazônia Central, observou-se um aumento na média dos eventos de chuva para todos os tipos de extremo. A contribuição do total de chuva de cada tipo de extremo apresentou redução, para os tipos I, II e III, embora o total absoluto de chuva de cada tipo especificamente tenha aumentado. Isso pode ser explicado pelo fato de que houve um aumento no total de chuva geral (evento normais + eventos extremos), porém, a maior parte desse incremento foi para o tipo de evento considerado normal, e por isso a contribuição das chuvas provenientes de eventos extremos apresentou queda. Diante da redução na frequência de eventos para classe EET-III, pode-se dizer que os eventos desta classe ficaram mais intensos no final do século do que se pode assumir para o EET-I e EET-II, que apresentou aumento no número de eventos em concordância com o aumento no total de chuva desse tipo de evento. Ou seja, se houve um incremento na média dos eventos de chuva, e no total de chuva desse tipo de extremo, todavia com redução no número de eventos espera-se que os eventos restantes fiquem muito mais intensos nos experimentos realizados para o final do século. Contudo, se houve um aumento na média dos eventos e um aumento na frequência dos eventos o incremento no número de eventos pode amenizar a intensidade dos mesmos.

O trabalho de Marengo et al. (2007) trouxe resultados que corroboram com o que foi encontrado nos resultados apresentados. Utilizando o modelo HadAM3, os autores aplicaram diferentes índices de extremos para o cenário A2 do IPCC no período de 2070-2100 e encontraram anomalias negativas no nordeste brasileiro, assim como no extremo norte do continente. Um dos índices, R95p, dias com chuvas acima do 95º percentil, também citado no trabalho de Frich et al. (2002), aponta anomalias positivas para eventos chuvosos na região central da Amazônia. Marengo et al. (2009) apontam que haverá aumento na frequência de extremos de precipitação na Amazônia e na frequência de dias secos no nordeste, acompanhado de uma redução nos extremos de chuva, que também foi encontrado nos resultados aqui avaliados.

Para a RNE, localizada no nordeste brasileiro, a média dos eventos extremos de chuva, o total de chuva produzido e a frequência dos eventos para os três tipos analisados apresentaram queda em relação ao período de referência. A contribuição do total de chuva associado a eventos extremos para o total geral de chuva também diminuiu, porém, poucos pontos percentuais para EET-I e EET-II, e manteve-se constante para a classe de eventos extremos EET-III. O total de chuva geral e o total de chuva considerado normal também apresentaram queda.

A RNO, no extremo norte do continente, apresentou queda na média dos extremos de chuva e no total de chuva para os três tipos de eventos. No entanto houve queda na frequência para os eventos EET-I e EET-II, porém, aumento para os EET-III. Quanto à contribuição das chuvas de cada tipo de extremo para o total de chuva geral, houve pequeno aumento nos extremos EET-I, enquanto EET-II e EET-III mantiveram-se aproximadamente constantes. Nesse caso, não podemos afirmar que houve uma intensificação dos eventos extremos, especialmente se considerarmos que a média de chuvas do mesmo apresentou declínio.

Sörensson et al. (2010) realizaram experimentos para o período de 1980-1999 e 2080-2099 com o *Rosby Centre Regional Atmospheric Model* (RCRAM) utilizando dados do modelo de circulação geral acoplado ECHAM5/MPI-OM como condições iniciais e de contorno. Para o experimento de controle foram utilizados dados para o clima presente (20C3M) e para o segundo período, dados do cenário SRES A1B. Ambos os conjuntos compõem os dados gerados para o 4º relatório do IPCC. Em termos de média sazonal de chuva para DJF foi encontrado o *bias* positivo para a bacia amazônica, nordeste do Brasil e a região da ZCAS. Os resultados aqui encontrados são consistentes com os do trabalho citado

para a região central da Amazônia, uma vez que o total de chuva na área de fato aumentou. A área aqui delimitada corresponde também à área de atuação de ZCAS. Além disso, os autores analisaram também índices de eventos extremos, como o 95º percentil e o índice 5rd também utilizado aqui. Embora os experimentos sejam diferentes dos que foram realizados neste trabalho, qualitativamente, observa-se que o viés entre o período de controle e o período futuro no referido trabalho indica aumento na média de extremos de precipitação anuais tanto no extremo norte do continente, como na região leste da Amazônia, para esta última área, condizente com o que foi observado nos resultados aqui apresentados, apesar dos autores terem realizado a análise para os meses de DJF.

O relatório do IPCC de 2007 já apontava no sentido de que o aumento na frequência de chuvas poderia ocorrer bem como o aumento do acumulado de chuva em virtude de eventos extremos em partes da América do Sul. O mesmo relatório explica que as emissões de vapor de água para atmosfera também contribuem para a forçante radiativa. Quanto mais quente também, menor a absorção oceânica do CO₂ atmosférico, o que aumenta a quantidade de emissões antropogênicas que permanecem na atmosfera, fato que caracteriza um *feedback* positivo para o CO₂, uma vez que esse comportamento acarretará na potencialização do efeito estufa, embora se acredite que os aerossóis possam atenuar esse efeito. O referido relatório também apontava no sentido de que haveria substituição da floresta amazônica na parte leste por vegetação mais resistente ao clima seco, teoria esta apoiada por Malhi et al. (2009). O relatório especial sobre eventos extremos lançado em 2012 (IPCC, 2012) ressalta ainda que para as regiões tropicais há probabilidade entre 66 e 100%, de acordo com análises realizadas a partir das saídas dos modelos, de que ocorra um aumento na frequência de chuvas fortes ou na quantidade de chuva causadas por esses tipos de eventos. Por outro lado, há pouca confiança no fato de que os eventos extremos de precipitação possam ser influenciados por ações antropogênicas, embora faltem experimentos que confirmem essa relação.

Ghosh et al. (2011) ao estudarem séries temporais de precipitação para a Índia, observaram que a falta de coerência e a heterogeneidade no comportamento da série sugerem que fatores regionais poderiam influenciar a frequência e intensidade dos eventos extremos de chuva. Isso poderia se aplicar no caso da RCA e RNE que apresentam características que poderiam afetar o comportamento das chuvas. A RCA aproxima-se da região conhecida como arco do desmatamento, área onde o desmatamento avança com mais força.

2.5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às instituições responsáveis pelo Programa de Pós Graduação em Clima e Ambiente, Universidade do Estado do Amazonas e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. À Prefeitura Municipal de Rio Branco, Acre, pela possibilidade de afastamento com intuito de contribuir futuramente com o conhecimento adquirido durante o curso de mestrado. À Rede de Mudanças Climáticas da Amazônia (FINEP/REMCLAM) pelo apoio financeiro (Convênio 01.10.0470.00) e ao Programa Primeiros Projetos (PPP/FAPEAM) Processo N^o. 2680/2009.

2.6 QUADROS E FIGURAS

2.6.1 QUADROS

Quadro 2: Detalhamento dos experimentos numéricos.

| Configurações | Clima Atual 1980-1990 | Clima Futuro 2090-2100 |
|---------------------------------|--|---------------------------|
| Tempo de Integração | 10 anos | |
| Inicialização | 1/12/1979 | 1/12/2089 |
| Condições de Contorno | CCSM3 (Downscaling Dinâmico) | |
| Cenário Climático | Atual | A2* |
| Concentração de CO ₂ | 369 ppmv** | 771 ppmv** |
| Vegetação | Sestini et al., 2002 | |
| TSM (MCG) | Climatológica fornecida pelo modelo global (CCSM3) | |
| Resolução Espacial | 40 km | |
| Dimensão da Grade | 150 X 180 pontos | |

* Ver Nakicenovic et al. (2000)

**Fonte: Valores disponíveis em: <http://www.ipcc-data.org/ancillary/tar-isam.txt>. Acesso em 21/03/2012.

2.6.2 FIGURAS

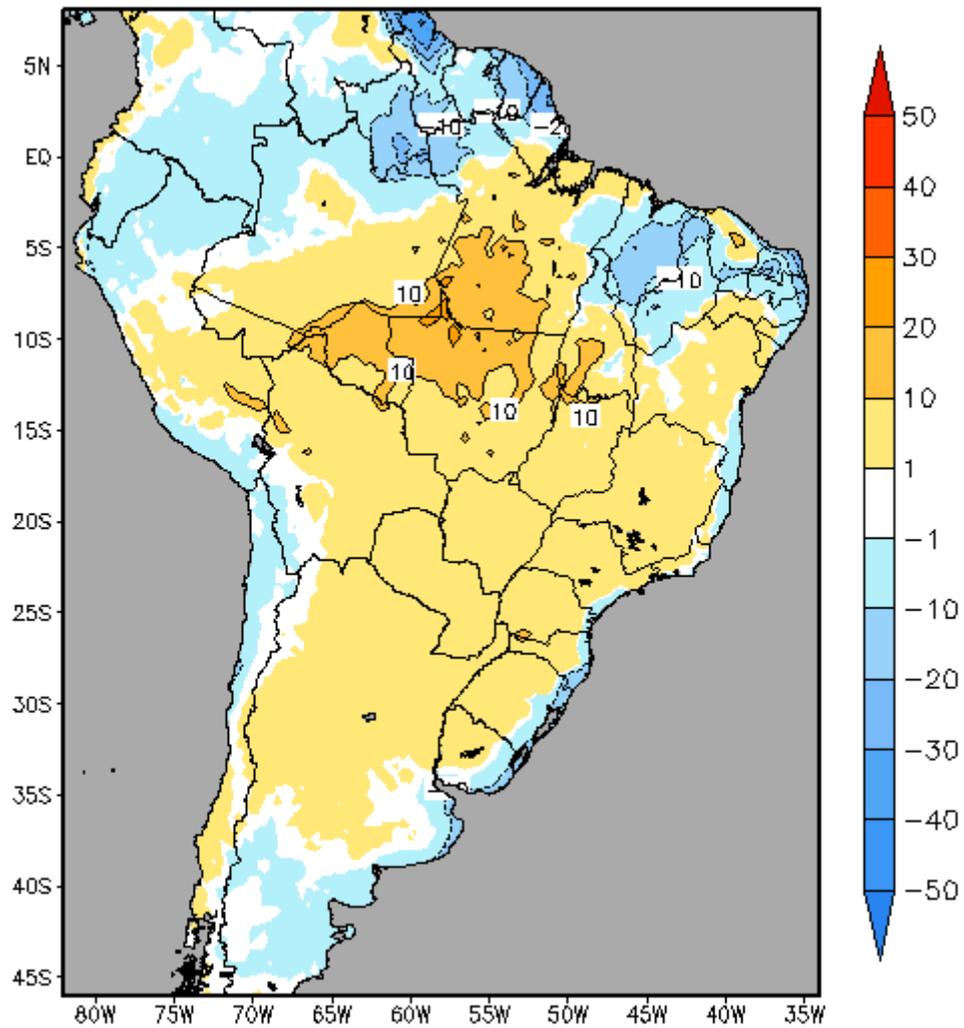


Figura 14. *Bias* da média dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre a média dos EET-I para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

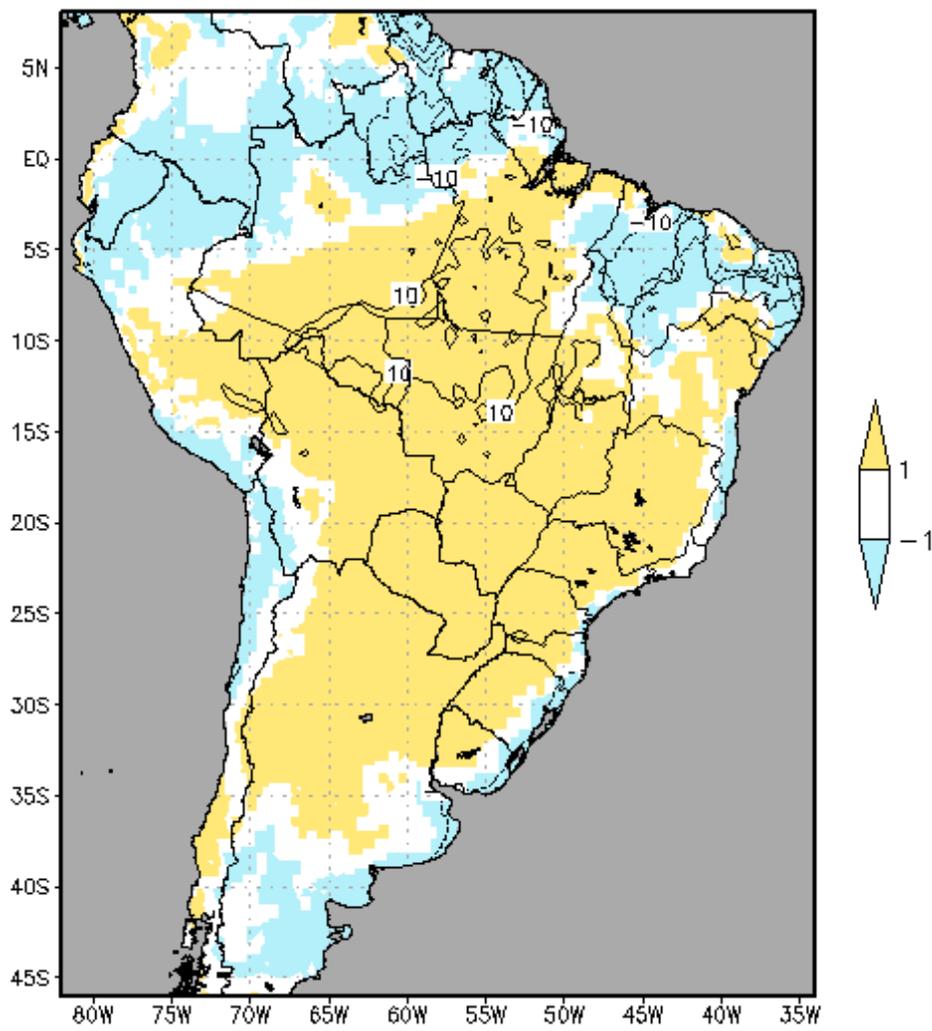


Figura 15. *Bias* da média dos eventos extremos tipo I, EET-I com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca.

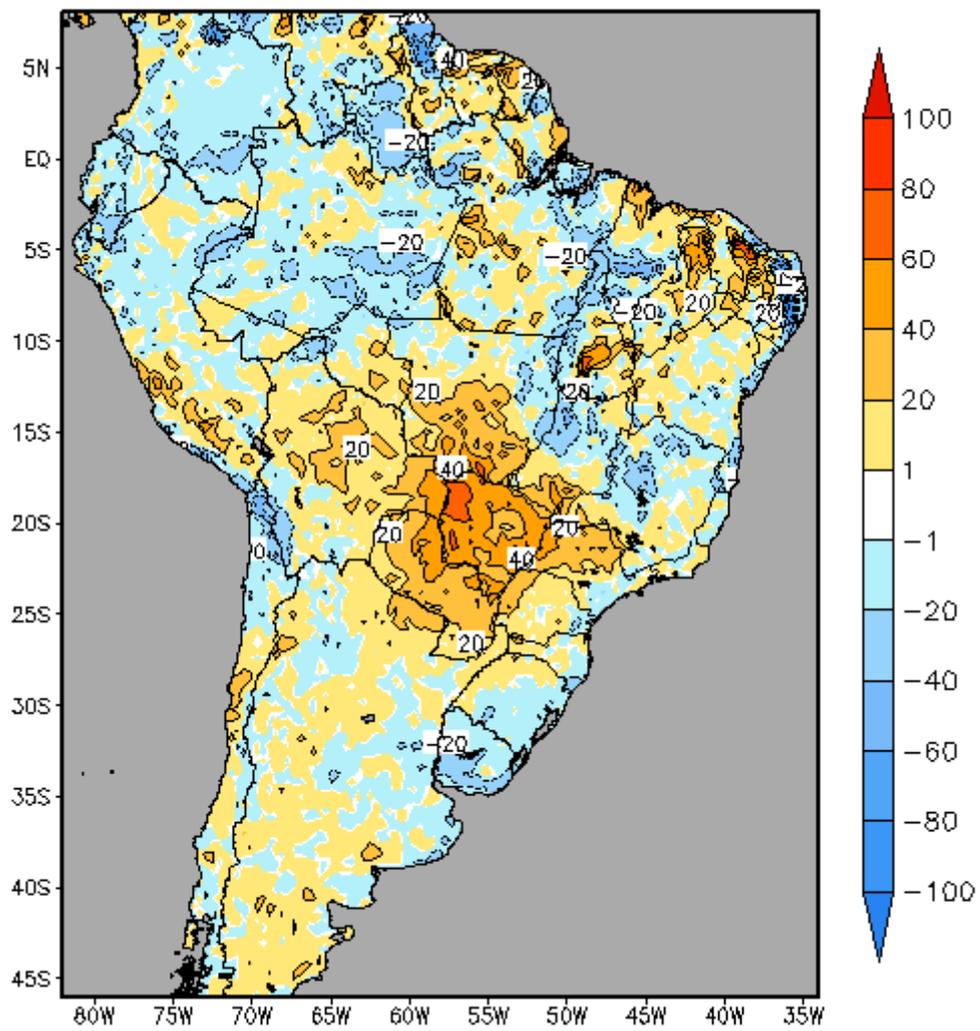


Figura 16. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo I, EET-I, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-I para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

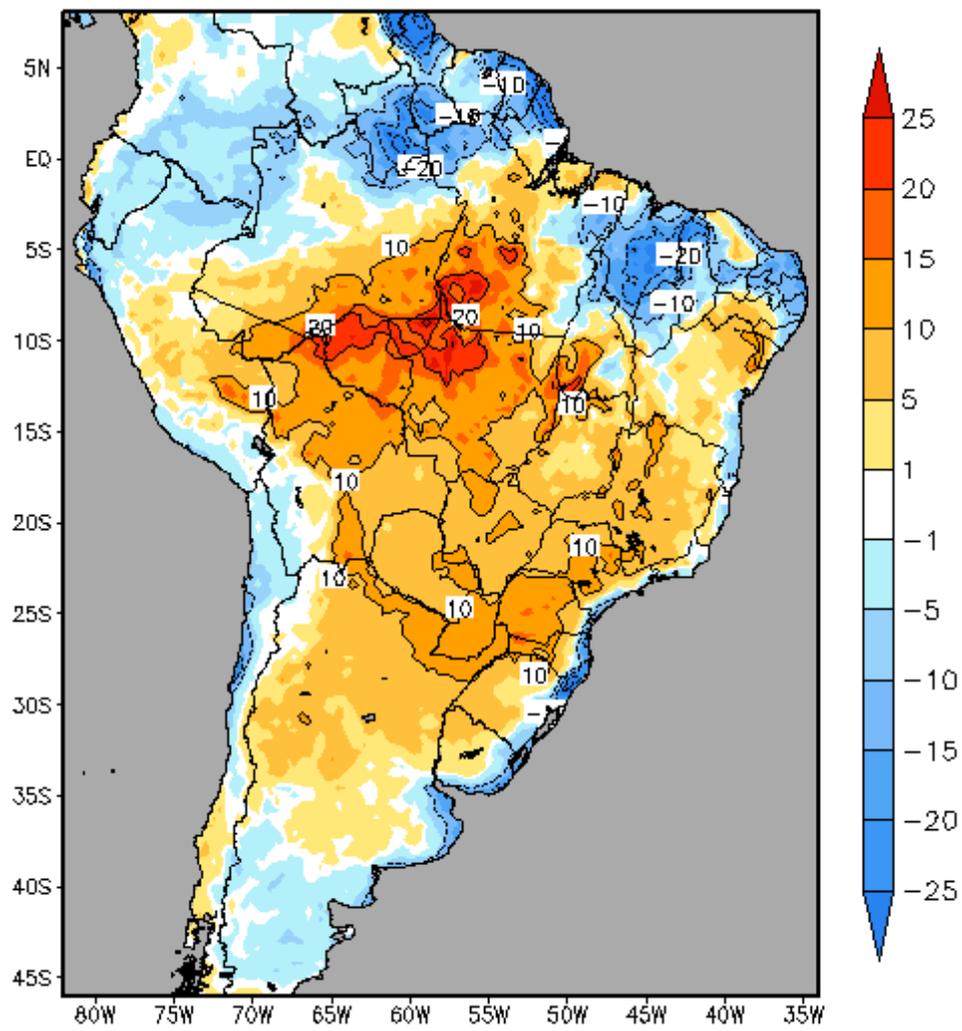


Figura 17. *Bias* da média dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre a média dos EET-II para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

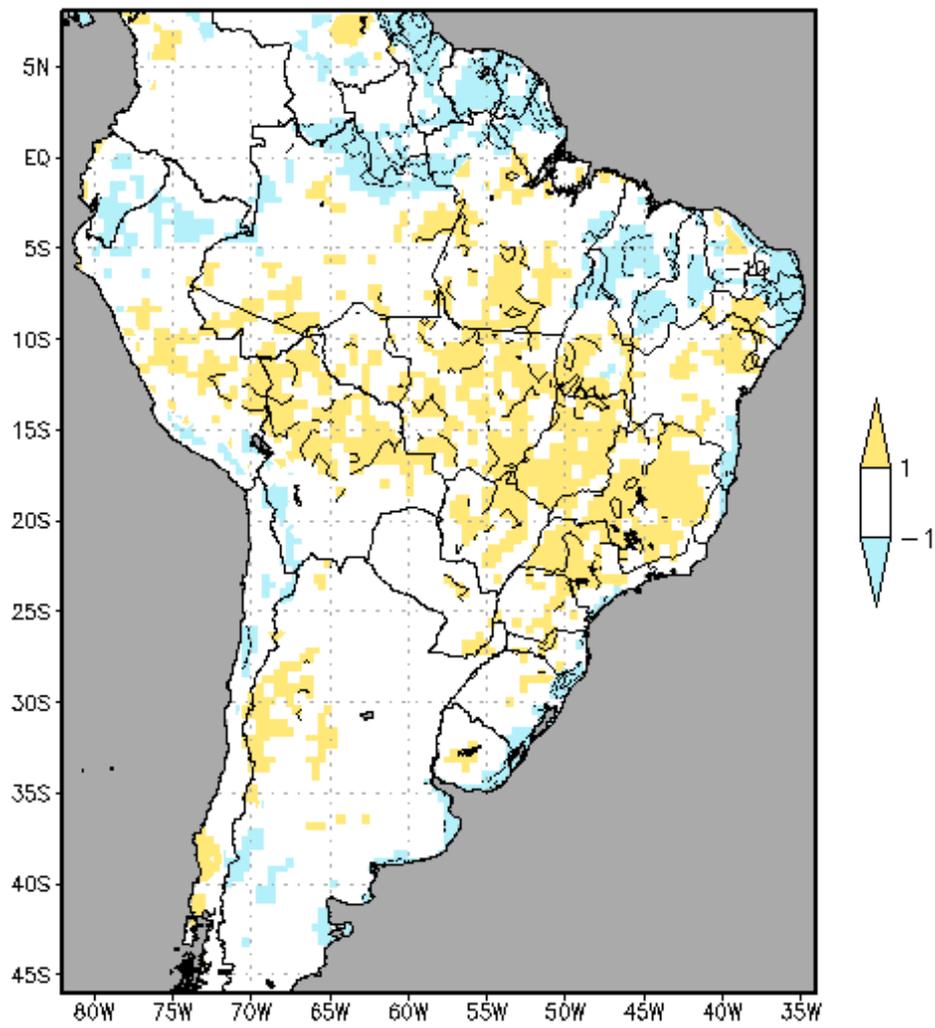


Figura 18. . *Bias* da média dos eventos extremos tipo II, EET-II com significância estatística a 95%. Áreas em laranja indicam que a diferença significativa foi positiva, e em azul que foi negativa. Áreas com valores não significativos correspondem aos trechos em cor branca, conforme Figura 15.

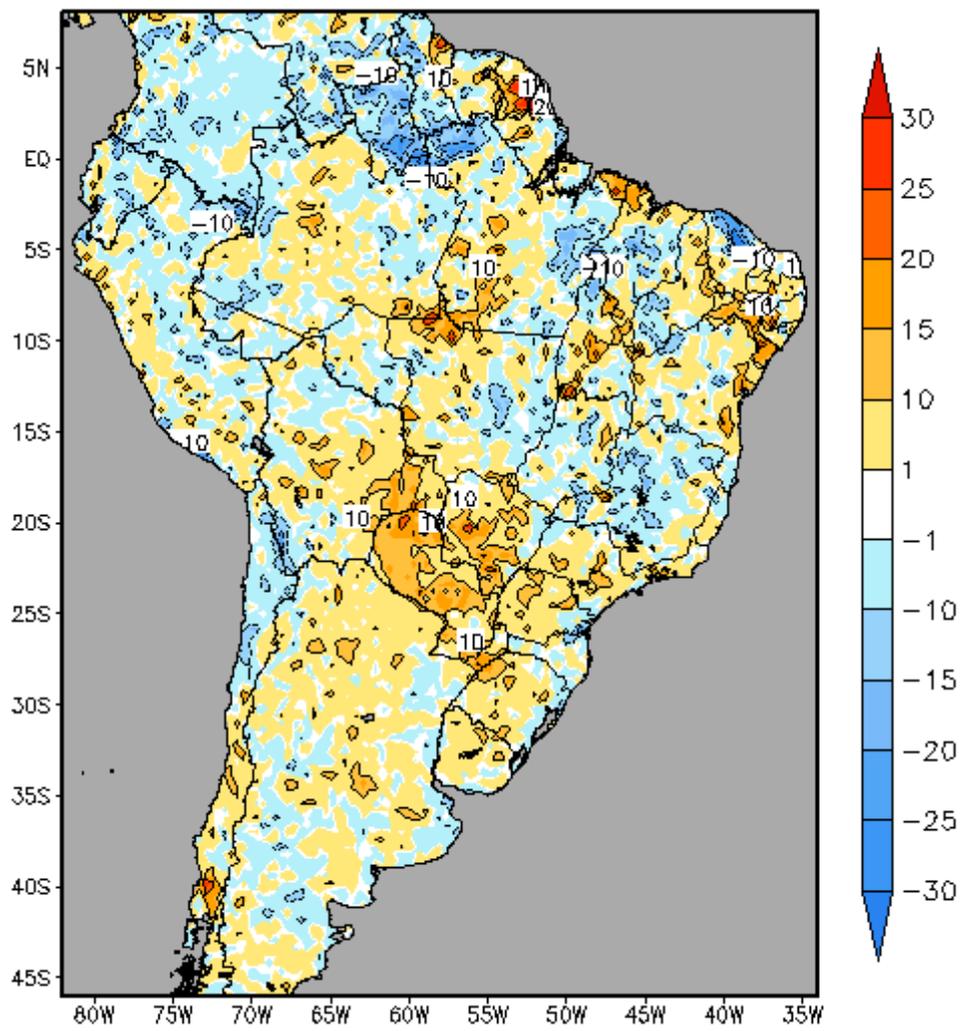


Figura 19. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo II, EET-II, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-II para a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

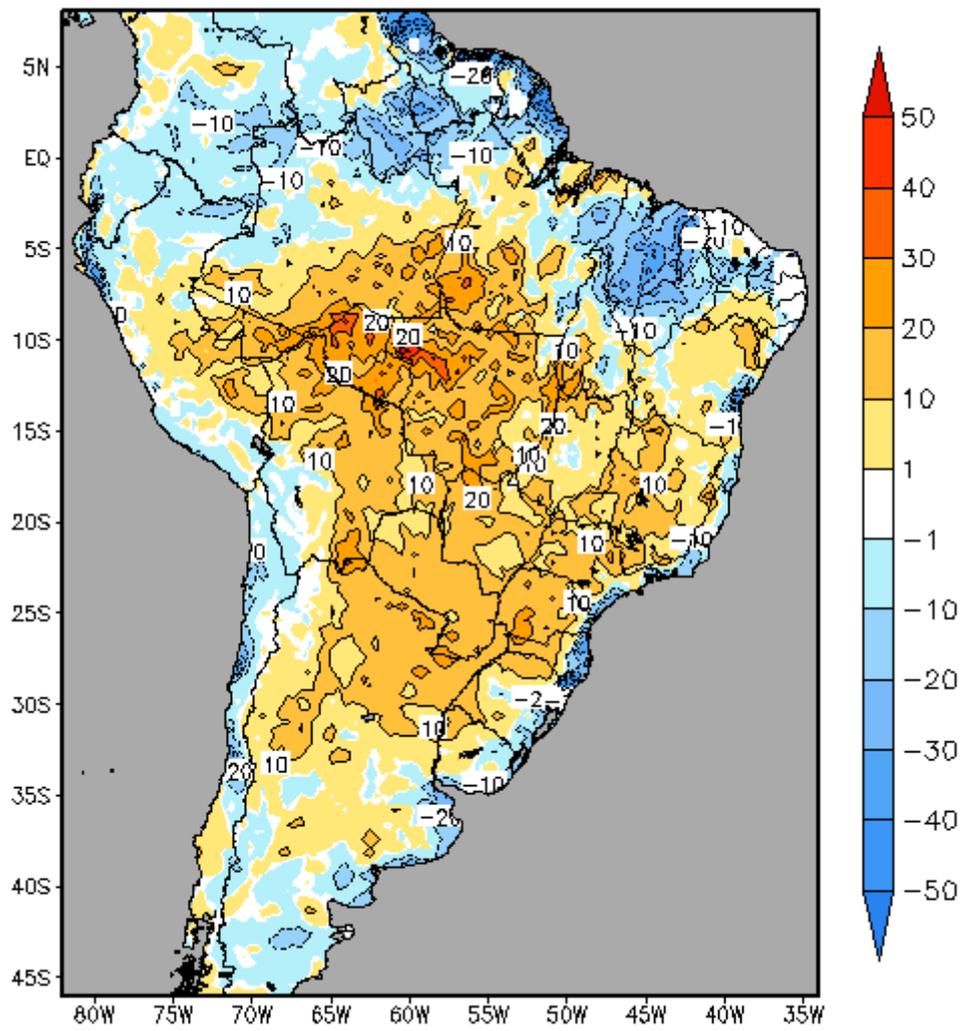


Figura 20. *Bias* da média dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre a média dos EET-III para o fim a década de 2090-2100, séc. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

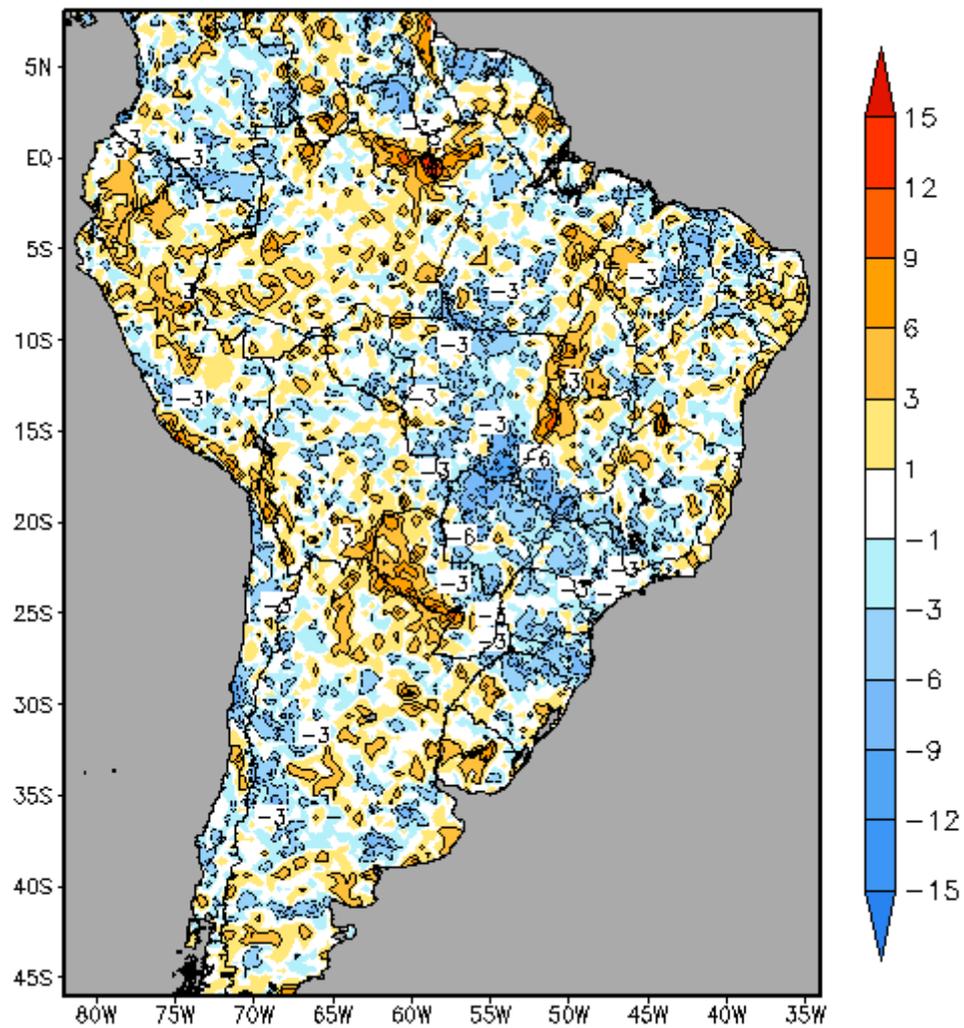


Figura 21. *BIAS* da frequência dos eventos extremos tipo III, EET-III, calculado através da diferença entre o total de eventos da classe EET-III para a década de 2090-2100, sec. XXI, e 1980-1990, no séc. XX.

2.7 MATERIAL SUPLEMENTAR

2.7.1 ÍNDICES CALCULADOS E GRÁFICOS

Para avaliar as alterações ocorridas entre as décadas nas áreas delimitadas na figura 1, foram calculados alguns índices.

- a) Contribuição dos eventos extremos para o total geral de chuvas (%): A partir do total de chuva obtido na área é calculada qual a contribuição do total de cada classe de evento extremo para o referido total de chuva acumulado (em cada uma das regiões delimitadas), em termos de percentual. Por exemplo, analisando a Figura 22a, dados referentes a década de 1980-1990, tem-se que dos 100% de chuvas na área, 57% é atribuído aos eventos considerados extremos na região através da metodologia aplicada, e a diferença (100% - 57%) de 43% (barra não mostrada na figura) é atribuída aos eventos chuvosos considerados normais. Esses 57% de extremos, dividem-se em: 32% das chuvas geradas pelos EET-I, 15% pelos EET-II, e 10% pelos EET-III. A Equação 6 ilustra o que foi explicado acima.

$$EET (\%) = \frac{\text{Total de Chuva Extrema}}{\text{Total de Chuva (Geral)}} \times 100$$

Equação 6: Cálculo da contribuição do total de chuva associado a cada tipo de evento extremo de chuva para o total precipitado na área.

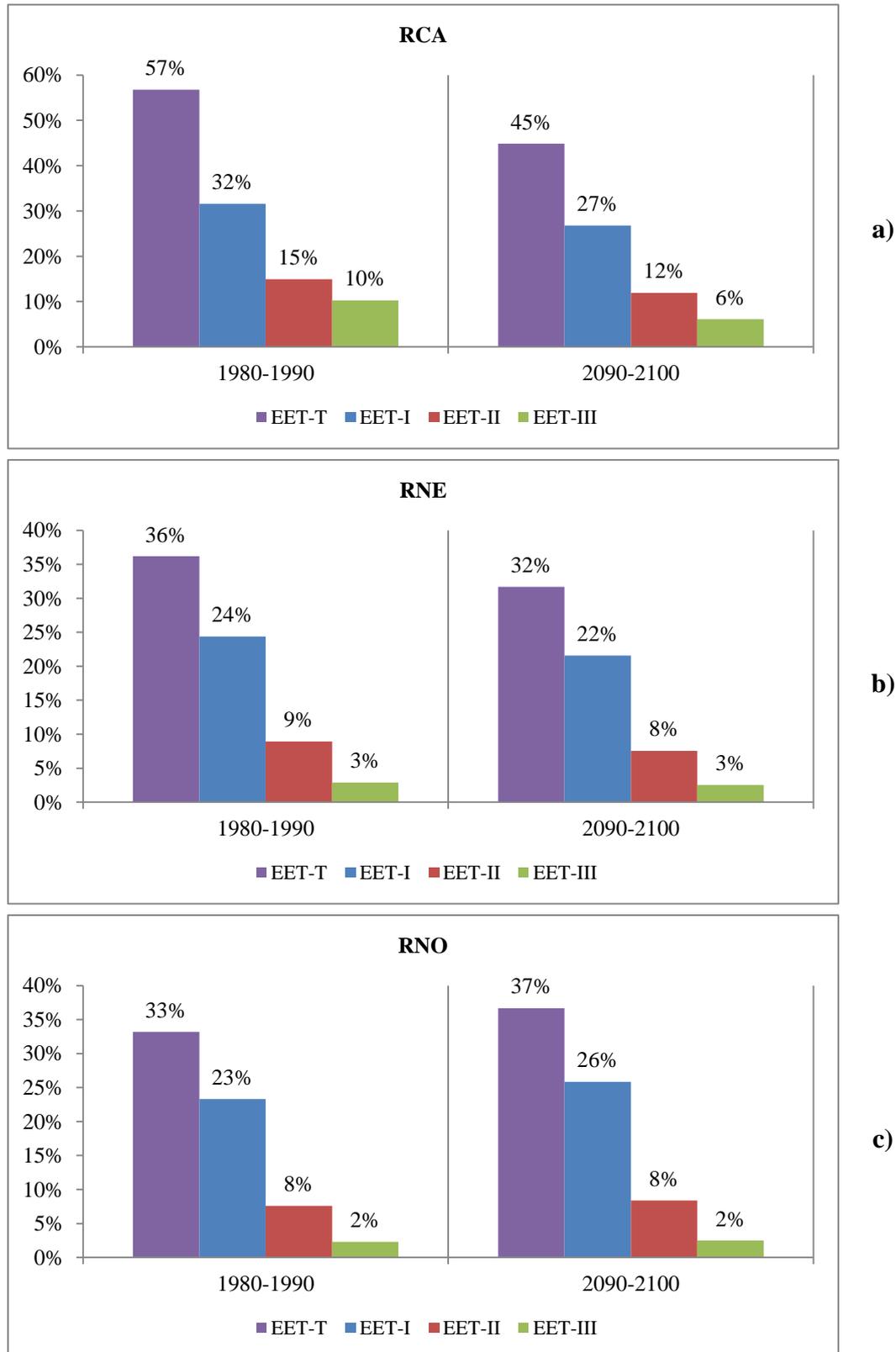


Figura 22. Contribuição do total de chuva associada a cada classe de evento extremo chuvoso em relação ao total de chuva precipitado na área. EET-T representa a soma de todos os eventos extremos de chuva.

- b) Média do evento extremo por tipo (mm): Para trabalhar a diferença entre a média das chuvas entre uma década e outra, calcula-se o *bias*, que nada mais é que a diferença entre a média dos eventos de chuva de um tipo no clima futuro (2090-2100) e a média dos eventos do mesmo tipo no clima atual (1980-1990). Esse *bias* é calculado por ponto de grade e quando é feito o recorte para determinada região, como se observa na Figura 23a, pode-se calcular uma média na área, utilizando os valores médios dos pontos compreendidos naquele limite geográfico. Assim que se obtêm os valores médios de chuva em milímetros para cada tipo de evento analisado: evento normal de chuva (ENC), total de evento extremo (EET-T), e as classes de evento EET-I, EET-II e EET-III. A Equação 7, ilustra a operação realizada.

$$Média\ Eventos = \frac{\sum_1^n Média\ dos\ Eventos\ da\ Classe}{N\ (Região)}$$

Equação 7: Cálculo da média dos eventos extremos por tipo de evento para a região. N refere-se ao número de pontos de grade compreendidos na área delimitada.

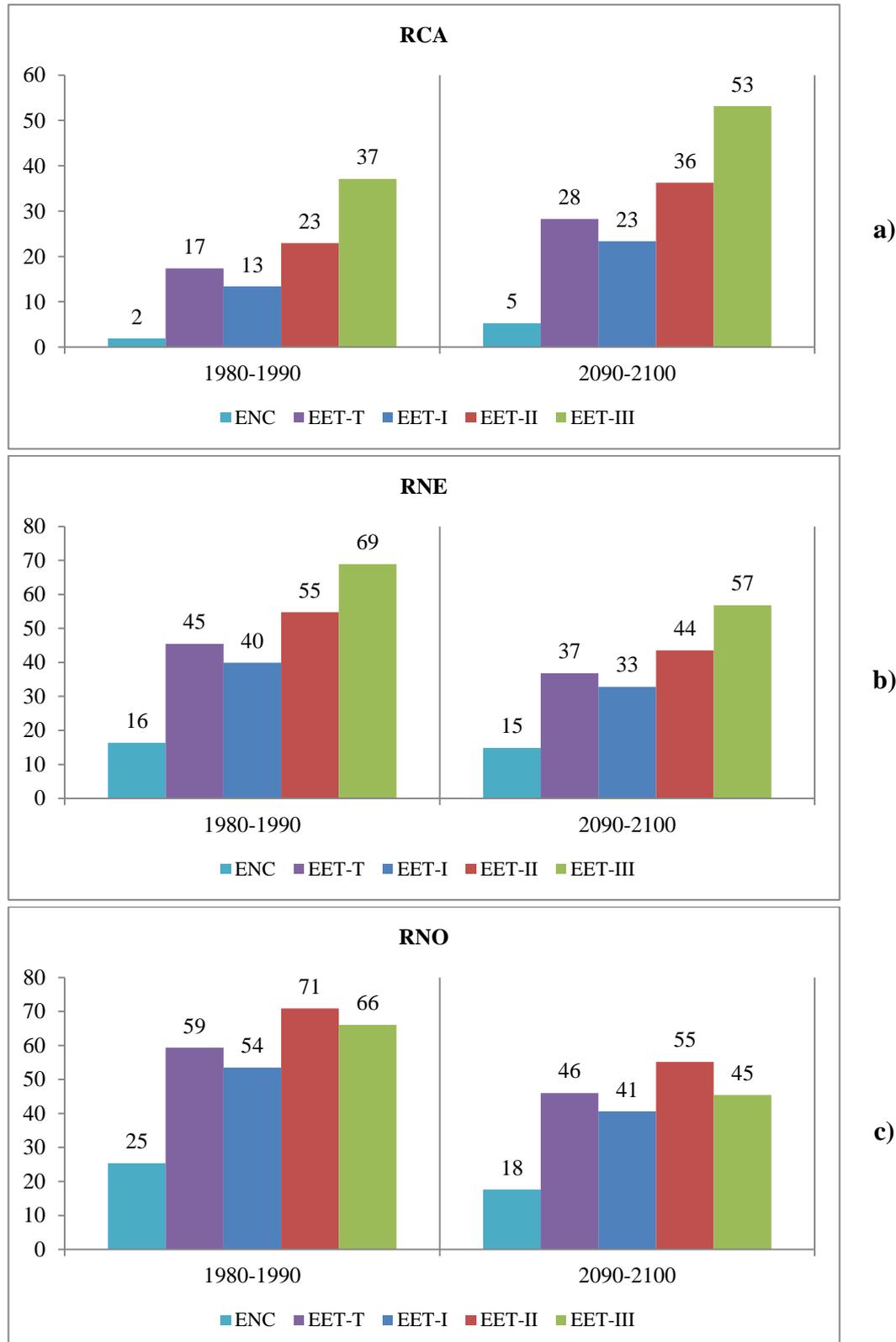


Figura 23. Valor médio do evento chuvoso na região para cada classe de evento extremo. ENC representa o valor médio do evento chuvoso considerado normal (não classificado como extremo).

- c) Variação do total de chuva por tipo de evento: Essa variação foi calculada utilizando o total de chuva gerado por cada classe de evento, sejam aqueles considerados normais ou extremos. É feita a diferença entre o total obtido no clima futuro (2090-2100) e o total obtido no clima atual (1980-1990). Essa diferença entre uma década e outra é dividida pelo total obtido no clima atual, e dessa forma, colocada como porcentagem da mesma (anomalia positiva ou negativa). Na Figura 24a, observa-se uma anomalia positiva para o EET-I, considerando que a diferença encontrada corresponde a 85% do total da década de referencia,. Para ilustrar o cálculo aqui descrito, tem-se a Equação 8 logo abaixo.

$$Var (\%) = \frac{Total\ de\ Chuva\ (Futuro) - Total\ de\ Chuva\ (Passado)}{Total\ de\ Chuva\ (Passado)} \times 100$$

Equação 8: Cálculo da variação no total de chuva entre duas décadas em termos de porcentagem.

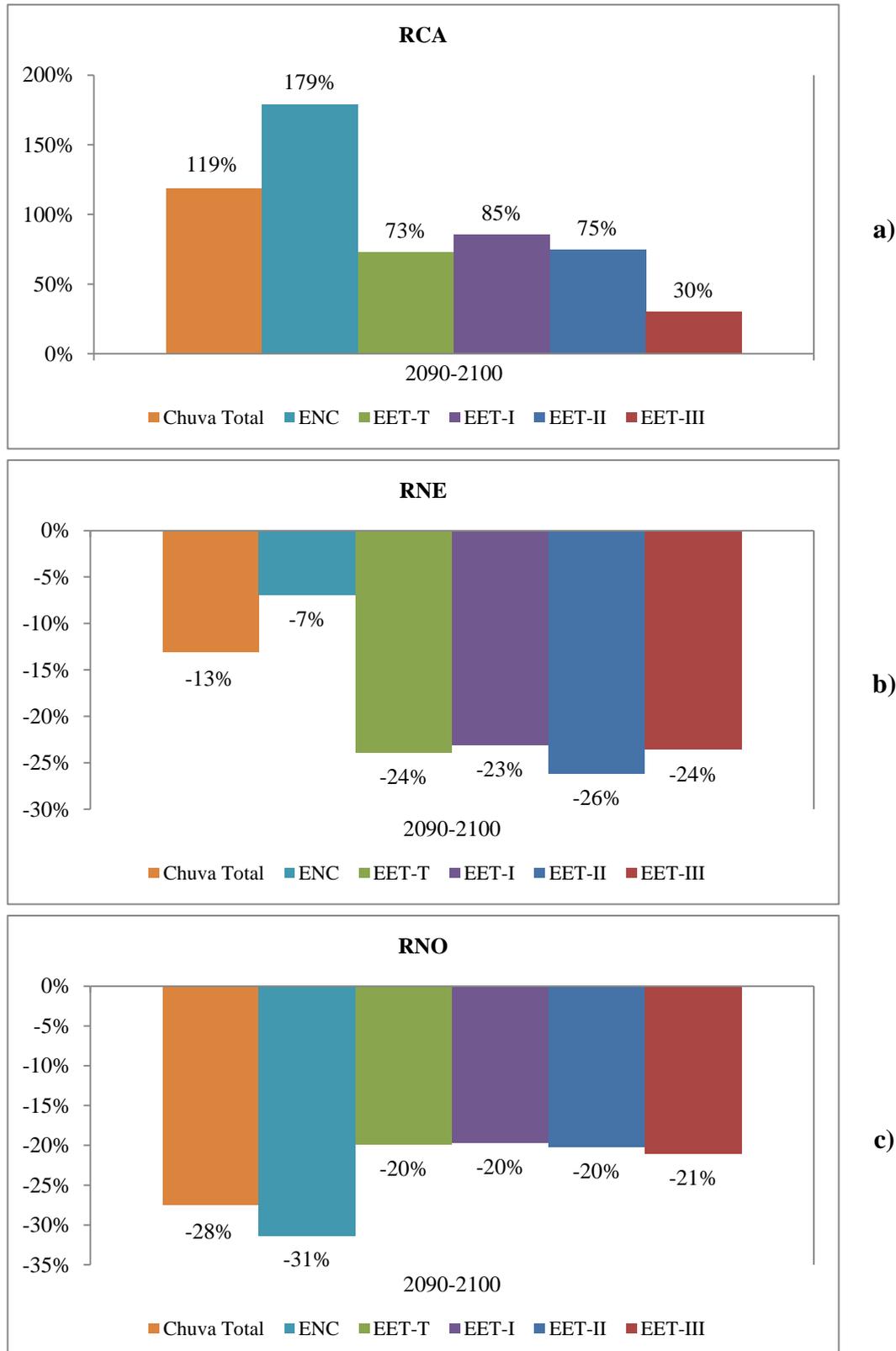


Figura 24. Diferença entre o total de chuva acumulado em cada classe de evento (normais e extremos) no clima futuro (2090-2100) e no clima atual (1980-1990). Chuva Total representa o total de chuva geral precipitado sobre cada uma das regiões.

- d) Variação na frequência de eventos: trata-se também de uma diferença, ou anomalia, que foi calculada utilizando-se o total de eventos registrado para cada classe, sendo o mesmo normal ou extremo. É feita a diferença entre os totais obtidos no clima futuro (2090-2100) e o total obtido no clima atual (1980-1990), como pode ser observado na Figura 25a. Essa diferença entre uma década e outra é dividida pelo total de eventos registrados no clima atual, e dessa forma, colocada como porcentagem da mesma (anomalia positiva ou negativa). Ainda na Figura 25a, observa-se uma anomalia positiva para o EET-T, considerando que a diferença encontrada corresponde a 7 % a mais do total de eventos registrados na década de referência. A Equação 9 ilustra o cálculo feito.

$$Var (\%) = \frac{Total\ de\ Eventos\ (Futuro) - Total\ de\ Eventos\ (Passado)}{Total\ de\ Eventos\ (Passado)} \times 100$$

Equação 9: Cálculo variação no total de eventos (frequência) entre duas décadas em termos de porcentagem.



Figura 25. Diferença entre o total de eventos, extremos (prefixo EET) e normais (ENC), registrados no clima futuro (2090-2100) e o clima atual (1980-1990).

CONCLUSÕES GERAIS

A pergunta chave deste trabalho consistia em saber qual seria o efeito do aumento das concentrações de gases do efeito estufa sobre a frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação. Através da aplicação de uma metodologia da Organização Meteorológica Mundial adaptada foi possível observar a variação não só no número de eventos extremos, mas também qual a intensidade dos eventos que estão passando por alterações, ou seja, quais classes de evento extremo estão ficando mais intensas.

Em suma, quanto à intensidade dos eventos extremos chuvosos para a década de 2040-2050 encontrou-se redução na média para as classes EET-I e EET-II e aumento na classe EET-III para RNE e RNO enquanto houve aumento na média de todas as classes para RCA. Para o final do século XXI, houve redução na intensidade para todas as classes de eventos extremos chuvosos na RNE e RNO e aumento para todas as classes na RCA.

Em termos de frequência, sintetizando os resultados para meados e final do século, encontrou-se aumento para EET-I e EET-II e redução para EET-III na RCA. Para a RNE e RNO, em ambas as décadas, houve redução da frequência dos EET-I e EET-II. A classe EET-III apresentou aumento na RNE e pequena redução em RNO na metade do século XXI. Para o final do século, RNE apresentou redução na frequência de todas as classes e a RNO apresentou redução em EET-I e EET-II e aumento em EET-III.

Em ambos os períodos analisados, seja o referente a meados do século XXI, 2040-2050, ou referente ao final do século XXI, 2090-2100, em comparação com o clima atual, representado por 1980-1990, há indícios de que o total de chuva associado aos eventos extremos chuvosos apresentará redução nas regiões norte e nordeste, e haverá aumento na região central da Amazônia. Essas alterações estão sintetizadas nos Quadro 3 e Quadro 4 para meados e final do século XXI, respectivamente.

As variações observadas em termo de média dos eventos extremos por classe em cada uma das regiões delimitadas devem ser observadas com cautela. Por se tratar de médias de valores médios na área, reduções ou aumentos não dão certeza de aumento na média dos eventos localmente. Trata-se de uma média para a área como um todo.

Ressalta-se que as maiores alterações em termos absolutos são observadas para a década de 2090-2100, enquanto a região central da Amazônia é a que apresenta as anomalias, sempre positivas, mais intensas: tanto na quantidade de chuva total, como na quantidade de chuva associada a eventos extremos. A região norte é a que apresenta apenas reduções, tanto para total de chuva, quanto associada a extremos. Para a região nordeste tem-se que no final do século os valores de redução serão mais intensos do que na década de 2040-2050, onde a chuva associada a eventos normais apresentou pequeno aumento apesar da redução do total de chuva na área, o que se pressupõe que para ocorrer o aumento houve apenas uma redistribuição entre as classes de eventos e não aumento de fato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ambrizzi, T., Rocha, R. P., Marengo, J. A., Pisnitchenko, I., Alves, L. M., Fernandez, J. P. R. Projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. 2007. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. 108f.

Chen, F.; Janjić, Z.; Mitchell, K. Impact of atmospheric surface-layer parametrization in the new land-surface scheme of the NCEP mesoscale eta model. *Boundary-layer Meteorology*: 85: 391–421.

Chou, C.; Lan, C. W. 2012. Changes in the Annual Range of Precipitation under Global Warming. *Journal of Climate*, 25: 222-235.

Cook, J.; Nuccitelli, D.; Green, S. A.; Richardson, M.; Winkler, B., Painting, R., Way, R.; Jacobs, P.; Skuce, A. 2013. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8: 7 pp.

Coumou, D.; Rahmstorf, S. 2013. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2: 491-496.

Durack, P. J.; Wijffels, S. E.; Matear, R. J. 2012. Ocean Salinities Reveal Strong Global Water Cycle Intensification During 1950 to 2000. *Science*, 336: 455-458.

Ek, M. B.; Mitchell, K. E.; Lin, Y.; Rogers, E.; Grummen, P.; Koren, V.; Gayno, G.; Tarpley, J. D. 2003. Implementation of NOAA land surface advances in the National centers for environmental prediction operational mesoscale Eta model. *Journal of Geophysical Research*, 108: 8851.

Frich, P.; Alexander, L. V.; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Klein Tank, A. M. G., Peterson, T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19: 193-212.

Gao, X.; Pal, J. S.; Giorgi, F. 2006. Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation. *Geophysical Research Letters*, 33: L03706.

Ghosh, S. Das, D.; Kao, S. C.; Ganguly, A. R.; 2012. Lack of uniform trends but increasing spatial variability in observed Indian rainfall extremes. *Nature Climate Change* 2: 86–91

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2010. Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira Por Satélite: 2008-2009. São José dos Campos, Brasil.

IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA 582 pp.

Janjić, Z. 1994. The Step-Mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer, and Turbulence Closure Schemes. *Monthly Weather Review*, 122: 927-945.

Malhi, Y.; Aragão, L. E. O. C.; Galbraith, D., Huntingford, C.; Fisher, R.; Zelazowska, P.; Sitche, S.; McSweeney, C.; Meir, P. Exploring the likelihood and mechanism of a climate-change-induced dieback of the Amazon rainforest. 2009. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA (PNAS)* vol. 106 no. 49: 20610–20615 pp.

Marcott, S. A. Shakun, J. D.; Clark, P.U. ; Mix, A. C. 2013. A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science* 339: 1198-1201.

Marengo, J. A., Nobre, C. A.; Pisnitchenko, I.; Tarasova, T.; Valverde, M.; Laborbe, R.; Obregón, G.; Fernandez, J. P. R.; Soares W. R.; Alves, L. M.; Ambrizzi, T.; Rocha, R. P.; Ferraz, S. T.; Quadra, S. V.; Salati, E.; Campanhol, T. Nova, N. V. 2007. Caracterização do

clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. *Relatório 1*. 2007. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. 185pp

Marengo, J. A., Alves, L. M., Valverde, M. C., Rocha, R. P., Laborde, R. 2007. Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. *Relatório 5*. Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. 73pp

Marengo, J.A.; Schaeffer, R.; Pinto, H.S.; Zee, D.M.W. 2009. Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil. Rio de Janeiro: FBDS. 76pp.

Meehl, G. A.; Washington, W. M.; Collins, W. D.; Arblaster, J. M.; Hu, A.; Lawrence, D. M.; Teng, H.; Buja, L. E.; Strand, W. G. 2006. Climate Change Projections for the Twenty-First Century and Climate Change Commitment in the CCSM3. *Journal of Climate*, 19: 2597–2616.

Min, S.; Zhang, X; Zwiers, F. W.; Friederichs, P. Hense, A. 2009. Signal detectability in extreme precipitation changes assessed from twentieth century climate simulations. *Climate Dynamics*, 32: 95–111.

Machado, R. D.; Rocha, R. P. 2011. Previsões Climáticas Sazonais Sobre o Brasil: Avaliação do REGCM3 aninhado no modelo global CPTEC/COLA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.1: 121 – 136.

Nakicenovic, N.; Alcamo, J.; Davis, G.; De Vries, B.; Fenhann, J.; Gaffin, S.; Gregory, K.; Grubler, A.; Jung, T. Y.; Kram, T.; Lebre La Rovere; E., Michaelis; L., Mori; S., Morita; T., Pepper; W., Pitcher; H., Price; L., Riahi; K., Roehrl; A., Rogner; H. H., Sankovski; A., Schlesinger; M., Priyadarshi Shukla; P., Smith; S. Swart; R., Van Rooijen, S.; Victor, N.; Dadi, Z. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 599pp.

National Oceanic and Atmospheric Administration (2013, May 10). Carbon dioxide at NOAA's Mauna Loa Observatory reaches new milestone: Tops 400 parts per million. *ScienceDaily*. Acesso em 11 de setembro de 2013, em <http://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130510180610.htm>

Pall, P.; Aina, T.; Stone, D. A.; Stott, P.A.; Nozawa, T.; Hilberts, A. J.; Lohmann, D.; Allen, M. R. 2011. Anthropogenic greenhouse gas contribution to flood risk in England and Wales in autumn 2000. *Nature*, 470: 382-386.

Rocha, V. M.; Correia, F. W. S.; Fialho, E. S.. 2012. A Amazônia frente às mudanças no uso da terra e do clima global e a importância das áreas protegidas na mitigação dos impactos: um estudo de modelagem numérica da atmosfera. *ACTA Geográfica, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica*, 31-48 pp.

Rooijen, S.; Victor, N.; Dadi, Z. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 599pp.

Sestini, M. F.; Alvalá, R. C. D. dos S.; Mello, E. L. K.; Valeriano, D. de M.; Chou, S. C.; Nobre, C. A.; Paiva, J. A. de C. P.; Reimer, E. da S. 2002. *Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos*. São José dos Campos, INPE: 64pp.

Sörensson, A. A.; Menéndez, C. G.; Ruscica, R.; Alexander, P.; Samuelsson, P. Willén, U. 2010. Projected precipitation changes in South America: a dynamical downscaling within CLARIS. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 19, No. 4: 347-355.

Trenberth, K. E. (Ed). 1992. *Climate System Modeling*. Cambridge University Press: 788pp.

Wohl, E.; Barros, A.; Brunzell, N., Chappell, N. A., Coe, M., Giambelluca, T., Goldsmith, S., Harmon, R., Hendrickx, J. M. H., Juvik, J., McDonnell, J.; Ogden, F. 2012. The hydrology of the humid tropics. *Nature Climate Change*, 2: 655–662.

Zhao, Q.; Black, T. L.; Baldwin, M. E. 1997. Implementation of the Cloud Prediction Scheme in the Eta Model at NCEP. *Weather and Forecasting*, 12: 697-712.

APÊNDICE

A seguir apresenta-se dois quadros que sintetizam as alterações encontradas através do *bias* calculado para cada uma das áreas. Estes dados são derivados dos gráficos gerados e dispostos nos dois artigos e foram utilizados para elaboração das conclusões deste trabalho. As siglas na 3ª linha de ambos os quadros correspondem a: PClasses, contribuição da classe de extremo para o total de chuva observado (mesmo que Figura 10 e Figura 22); MClasses, média da classe de evento extremo na área (mesmo que Figura 11 e Figura 21); SClasses, total de chuva associado a classe de evento extremo (mesmo que Figura 12 e Figura 24) e por último, CClasses, total de eventos extremos na área para a classe em questão (mesmo que Figura 13 e Figura 25).

Quadro 3: Síntese do resultado entre o *bias* calculado entre 2040-2050 e 1980-1990, considerado clima presente.

| 2040-2050 X 1980-1990 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| RCA | | | | RNE | | | | RNO | | | | |
| | PChuva | MClasse | SClass | CConta | PChuva | MClasse | SClass | CConta | PChuva | MClasse | SClass | CConta |
| EET-I | ↓2% | ↑22% | ↑23% | ↑2% | ↓1% | ↓1% | ↓7% | ↓3% | ↑1% | ↓8% | ↓8% | ↓3% |
| EET-II | ↓1% | ↑17% | ↑20% | ↑3% | =9% | ↓2% | ↓5% | ↓2% | =8% | ↓7% | ↓7% | ↓6% |
| EET-III | ↓2% | ↑12% | ↑7% | ↓5% | =3% | ↑2% | ↑5% | ↑4% | ↑1% | ↑33% | ↓1% | ↑12% |

PORCENTAGEM CALCULADA EM CIMA DO TOTAL ACUMULADO

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|------|--|--|--|-----|--|--|--|--|------|--|
| EET-T | | ↑19% | | | | ↓5% | | | | | ↓7% | |
| ENC | | ↑47% | | | | ↑2% | | | | | ↓14% | |
| TChuva | | ↑31% | | | | ↓1% | | | | | ↓12% | |

Quadro 4: Síntese do resultado entre o *bias* calculado entre 2090-2100 e 1980-1990, considerado clima presente.

| 2090-2100 X 1980-1990 | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|
| RCA | | | | RNE | | | | RNO | | | | |
| | PChuva | MClasse | SClasse | CConta | PChuva | MClasse | SClasse | CConta | PChuva | MClasse | SClasse | CConta |
| EET-I | ↓ 5% | ↑ 75% | ↑ 85% | ↑ 8% | ↓ 2% | ↓ 18% | ↓ 23% | ↓ 3% | ↑ 3% | ↓ 24% | ↓ 20% | ↓ 4 |
| EET-II | ↓ 3% | ↑ 58% | ↑ 75% | ↑ 9% | ↓ 1% | ↓ 20% | ↓ 26% | ↓ 6% | = 8 % | ↓ 22% | ↓ 20% | ↓ 13% |
| EET-III | ↓ 4% | ↑ 43% | ↑ 30% | ↓ 8% | = 3% | ↓ 17% | ↓ 24 % | ↓ 5% | = 2% | ↓ 31% | ↓ 21% | ↑ 8% |

PORCENTAGEM CALCULADA EM CIMA DO TOTAL ACUMULADO

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|--------|--|--|--|-------|--|--|--|-------|--|--|
| EET-T | | ↑ 73% | | | | ↓ 24% | | | | ↓ 20% | | |
| ENC | | ↑ 179% | | | | ↓ 7% | | | | ↓ 31% | | |
| TChuva | | ↑ 119% | | | | ↓ 13% | | | | ↓ 28% | | |