

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
IMPACTO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
BALANÇO HÍDRICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

AUTOR: AILTON MARCOLINO LIBERATO

MARÇO - 2009



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

**IMPACTO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO
HÍDRICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL**

AILTON MARCOLINO LIBERATO

CAMPINA GRANDE - PB
Março de 2009

AILTON MARCOLINO LIBERATO

**IMPACTO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO
HÍDRICO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Meteorologia da
Universidade Federal de Campina
Grande, em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de Mestre.**

Área de concentração: **Meteorologia de Meso e Grande Escalas**

Sub-área: **Climatologia**

Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito
(Orientador)

CAMPINA GRANDE - PB

Março de 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

L695i

2009

Liberato, Ailton Marcolino.

Impacto de cenários de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia Ocidental / Ailton Marcolino Liberato. — Campina Grande, 2009. 85 f.: il.

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

Referências.

Orientador: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito.

1. Cenários. 2. Balanço Hídrico. 3. El Niño. 4. La Niña. 5. Amazônia. I. Título.


CDU – 551.583(811)(043)

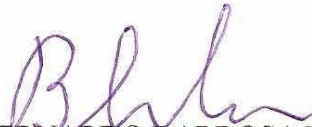
AILTON MARCOLINO LIBERATO


IMPACTO DE CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO
DA AMAZÔNIA OCIDENTAL

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 06/03/2009

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dra. MARIA LUCIENE DIAS DE MELO
Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

DEDICATÓRIA

A toda minha família. Em especial: Antônio Jaime Liberato e Zeni Dorcilio Marcolino Liberato (meus pais), Aelton Dorcilio Liberato e Luciane Marcolino Liberato (meus irmãos), José Liberato Filho e Josefa da Costa Liberato (meus avôs), Moises Liberato e Leunice Liberato (meus tios).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas bênçãos, oportunidades, experiências, força e proteção recebidas.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET pelo fornecimento de dados para realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. JoséIVALDO Barbosa de Brito, pela sugestão do tema de estudo e orientação.

Aos professores Bernardo Barbosa da Silva e Pedro Vieira de Azevedo da UFCG, e José de Souza Nogueira da UFMT pelos valiosos comentários e sugestões na avaliação do projeto de dissertação.

Aos membros da Banca Examinadora, pela predisposição em analisar este trabalho e pelas relevantes contribuições recebidas;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pela atenção e ensinamentos ministrados.

A secretária do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Divanete Cruz Rocha Farias, pela atenção e assistência prestada durante o curso.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Soetânia Santos de Oliveira e Leandro Vélez da Silva, pelo apoio no início do curso.

Aos professores Fernando Luiz Cardoso, Carlos Mergulhão Júnior, Jorge Luis Nepomuceno de Lima e Edgar Martinez Marmolejo, pela oportunidade recebida durante meu curso de graduação, para participar de trabalhos de campo e iniciação científica.

As minhas queridas colegas e amigas Deizilene de Souza Barbosa Gomes (minha irmãzinha), Eliane Silva Leite e Anailde Ferreira da Silva, pelas atividades acadêmicas desenvolvidas em grupo quando estávamos no curso de graduação.

Ao prof. Lenilson Sergio Candido por facilitar minha estadia em Campina Grande, longo no início do curso.

A UMP/IPCG, pelos vários momentos agradáveis que passamos juntos em 2008.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Nosso caráter é o que somos, é o que determina quão úteis podemos ser naquilo que nos é confiado e quanta responsabilidade somos capazes de assumir”

Pr. Isac Pereira

SUMÁRIO

	Pg.
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE SIGLAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Ocupação da Amazônia Brasileira.....	4
2.2 Experimentos de Campo na Amazônia.....	8
2.3 IPCC.....	10
2.4 Balanço Hídrico.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Dados Climatológicos.....	20
3.2 Métodos.....	23
3.2.1 Balanço Hídrico.....	23
3.2.1.1 Armazenamento de água no solo (ARM).....	25
3.2.1.2 Evapotranspiração Potencial (ETP).....	26
3.2.1.3 Evapotranspiração Real (<i>ETR</i>).....	27
3.2.1.4 Excedente Hídrico (<i>EXC</i>).....	27
3.2.1.5 Deficiência Hídrica (<i>DEF</i>).....	28
3.2.1.6 Índice de Aridez (<i>Ia</i>).....	28
3.2.1.7 Índice de Umidade (<i>Iu</i>).....	28
3.2.1.8 Índice de Umidade Efetiva (<i>IM</i>).....	29
3.3.2 <i>El Niño</i> e <i>La Nina</i>	29
3.3.3 Surfer 7.0.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Precipitação pluviométrica.....	30

4.2 Temperatura média do ar.....	32
4.3 Balanço Hídrico Climatológico.....	35
4.4 Evapotranspiração Potencial (<i>ETP</i>).....	35
4.5 Evapotranspiração Real (<i>ETR</i>).....	37
4.6 Excedente Hídrico (<i>EXC</i>).....	40
4.7 Deficiência hídrica (<i>DEF</i>).....	43
4.8 Armazenamento d' Água (<i>ARM</i>).....	46
4.9 Índice de Aridez (<i>Ia</i>).....	49
4.10 Índice de Umidade (<i>Iu</i>).....	51
4.11 Índice de Umidade Efetiva (<i>IM</i>).....	53
4.12 Impactos do fenômeno <i>La Niña</i> 1988/89 e <i>El Niño</i> 1997/98.....	57
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICES.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Novas fronteiras e futuros eixos de desenvolvimento na Amazônia Brasileira.....	5
Figura 2.	Taxa de desmatamento anual (km ² /ano) de 1988 a 2007 na Amazônia Legal. (a) média entre 1977 e 88, (b) média entre 1993 e 1994 e (c) taxas anuais consolidadas.....	7
Figura 3.	Comparação das mudanças observadas de escalas continental e global na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçamentos naturais e antrópicos.....	13
Figura 4.	Médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos.....	14
Figura 5.	Distribuição espacial das estações convencionais na Amazônia Ocidental...	21
Figura 6.	Distribuição espacial da precipitação média anual no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários com aumento em 15% (b) e redução em 15% (c) na precipitação segundo IPCC até 2100, para a Amazônia Ocidental.....	32
Figura 7.	Distribuição espacial da temperatura média do ar para o período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 (b) e B2 (c) até 2100, para a Amazônia Ocidental.....	34
Figura 8.	Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 (b) e B2 (c) até 2100, para a Amazônia Ocidental.....	37
Figura 9.	Distribuição espacial da evapotranspiração real no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.....	39

- Figura 10.** Distribuição espacial do excesso de água no solo no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com o aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com o aumento **(c)** e redução **(e)** da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 42
- Figura 11.** Distribuição espacial da deficiência hídrica na atmosfera no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com aumento **(c)** e redução **(e)** da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 45
- Figura 12.** Distribuição espacial do armazenamento de água no solo no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com aumento **(c)** e redução **(e)** da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 48
- Figura 13.** Distribuição espacial do índice de aridez no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com aumento **(c)** e redução **(e)** da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 50
- Figura 14.** Distribuição espacial do índice de umidade no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com aumento **(c)** e redução **(e)** na precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 52
- Figura 15.** Distribuição espacial do índice de umidade efetiva no período de 1961 a 2005 **(a)**, e projeções para os cenários A2 com aumento **(b)** e redução **(d)** da precipitação média, e B2 com aumento **(c)** e redução **(e)** da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental..... 55
- Figura 16.** Distribuição espacial da precipitação média anual e temperatura do ar, durante a ocorrência dos fenômenos *La Niña* 1988/89 **(a, c)** e *El Niño* 1997/98 **(b, d)**, respectivamente, para a Amazônia Ocidental..... 59

- Figura 17.** Distribuição espacial da evapotranspiração potencial **(a)** e real **(b)**, excesso de água **(c)**, deficiência hídrica **(d)** e armazenamento de água no solo **(e)**, para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89..... 61
- Figura 18.** Distribuição espacial dos índices de aridez **(a)**, umidade **(b)** e umidade efetiva **(c)**, para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89..... 62
- Figura 19.** Distribuição espacial da evapotranspiração potencial **(a)** e real **(b)**, excesso de água **(c)**, deficiência hídrica **(d)** e armazenamento de água no solo **(e)**, para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98..... 63
- Figura 20.** Distribuição espacial dos índices de aridez **(a)**, umidade **(b)** e umidade efetiva **(c)**, para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98..... 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Balauço Hídrico para a região da Amazônia, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário A2.....	18
Tabela 2	Balauço hídrico para a região da Amazônia, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário B2.....	19
Tabela 3	Coordenadas Geográficas das estações meteorológicas na Amazônia Ocidental.....	22
Tabela 4	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental, para o período de 1961 a 2005 (cenário atual).....	78
Tabela 5	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário A2 do IPCC, com aumento na precipitação em 15% até 2100).....	79
Tabela 6	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100).....	80
Tabela 7	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário B2 do IPCC, com aumento na precipitação em 15% até 2100).....	81
Tabela 8	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100).....	82
Tabela 9	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (período que ocorreu o fenômeno <i>La Niña</i> 1988-1989).....	83
Tabela 10	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário atual utilizando o mesmo número de estações da Tabela 9).....	83
Tabela 11	Balauço hídrico para a Amazônia Ocidental (período que ocorreu o	

	fenômeno <i>El Niño</i> 1997-1998).....	84
Tabela 12	Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário atual utilizando o mesmo número de estações da Tabela 11).....	85

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

SÍMBOLOS

<i>P</i>	- precipitação pluviométrica (mm/mês);
<i>T</i>	- temperatura média do ar (°C);
<i>ETP</i>	- evapotranspiração potencial (mm/mês);
<i>ETR</i>	- evapotranspiração real (mm/mês);
<i>EXC</i>	- excesso d'água (mm/mês);
<i>DEF</i>	- deficiência d'água (mm/mês);
<i>ARM</i>	- armazenamento d'água (mm/mês);
<i>Ia</i>	- índice de aridez (%);
<i>Iu</i>	- índice de umidade (%);
<i>IM</i>	- índice de umidade efetiva (%);
<i>TE</i>	- índice de eficiência térmica (%);
<i>CAD</i>	- capacidade de água disponível (mm);
<i>A2</i>	- altas emissões;
<i>B2</i>	- baixas emissões;

SIGLAS

<i>INMET</i>	- Instituto Nacional de Meteorologia;
<i>CEPLAC</i>	- Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira;
<i>NCEP</i>	- National Centers for Environmental Prediction;
<i>NCAR</i>	- The National Center for Atmospheric Research;
<i>IPCC</i>	- Intergovernmental Panel on Climate Change.

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo investigar possíveis alterações em componentes do balanço hídrico climático, associadas a diferentes cenários (A2 e B2) das mudanças climáticas do IPCC, para a Amazônia Ocidental (Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima). Usou-se como referência as condições climatológicas atuais e analisou-se a variabilidade interanual climática durante a ocorrência de *La Niña* 1988/89 e *El Niño* 1997/98 para verificar se as tendências observadas nos cenários estavam além da flutuabilidade natural do clima. Os dados climatológicos de temperatura do ar e totais de precipitação pluvial usados como referência neste estudo, são oriundos do INMET (1961-2005), da CEPLAC (1983-1999) e da reanálise do NCEP/NCAR (1983-1995). O método utilizado na elaboração do balanço hídrico é o de Thornthwaite e Mather (1957). Os resultados das projeções mostram tendência de clima mais seco, diminuição na umidade do solo, redução na vazão dos rios, aumento no risco de incêndio, aumento da evapotranspiração potencial em taxa mais elevada que evapotranspiração real produzindo uma diminuição na umidade relativa da atmosfera, diminuição no escoamento superficial e sub-superficial para a Amazônia Ocidental até 2100. As projeções indicam que o clima se torne sub-úmido ou sub-úmido seco, devido ao aumento do grau de aridez no leste da Amazônia Ocidental e nos estados de Rondônia e Acre. Também foram verificadas variabilidades interanuais das componentes do balanço hídrico através das análises destes componentes em um ano de *La Niña* e em outro de *El Niño*. Observou-se que no período de *El Niño* as condições da atmosfera da Amazônia Ocidental são mais seca que a média climatológica, e no de *La Niña* mais úmida. Contudo, as magnitudes das anomalias desta variabilidade interanual foram inferiores às estimadas para o cenário A2, com aumento e diminuição da precipitação, e B2, com diminuição.

Palavras-chave: Cenários, Balanço Hídrico, El Niño, La Niña, Amazônia

ABSTRACT

The main objective of this study was investigate possible alterations in the climatic water budget components associated with different scenarios (A2 and B2) of the IPCC to Amazonian Western (Acre, Amazonas, Rondônia and Roraima). It was used as reference the current conditions and the climatic interannual variability during an episode of *La Niña* 1988/89 and another of *El Niño* 1997/98. The climatological data of air temperature and precipitation from the INMET (1961-2005), CEPLAC (1983-1999) and NCEP/NCAR reanalysis (1983-1995) were used in the present study. The Thornthwaite and Mather (1955) method was used in the elaboration of the climatic water budget. The results of the projections show drier climate trends and decrease of the soil moisture, reduction in the rivers discharge, increase in the fire risk, showing that the potential evapotranspiration presents higher value than actual evapotranspiration, producing an increase of the atmospheric relative humidity, decrease in the runoff for the Amazonian Western up to 2100. The projections indicate that the climate becomes sub-humid or sub-humid dry, due to the increase of the aridity degree in the east of the Amazonian Western and in the Rondônia and Acre states. Also, has been verified interannual variability of the water budget components through of the analysis of them in a episode of *La Niña* and another in *El Niño*. In *El Niño* episode the atmospheric conditions over the Amazonian Western present dryer than the climatic average, however, in the *La Niña* the results were inferior than the obtained to A2 scenario showing increase and decrease of the precipitation and B2 presenting decrease.

Keywords: Scenarios, Water Budget, *El Niño*, *La Niña*, Amazonian

1. INTRODUÇÃO

Durante os últimos 30 anos, o mundo todo passou por uma intensiva alteração no ciclo hidrológico, na qualidade da água, nos recursos hídricos e no balanço de água. Os recursos hídricos, sua dinâmica no tempo e distribuição pelo território, são agora determinados não apenas por variáveis climáticas naturais, como eram anteriormente, mas também por atividades humanas. Em diversas regiões e países, os recursos hídricos estão quantitativamente esgotados e muito contaminados. A região amazônica pode ser categorizada como uma região de grande risco ambiental e social devido à mudança e variabilidade climática (LBA2, 2007). O risco não se deve apenas às mudanças climáticas projetadas, mas também pelas interações sinérgicas com o processo desordenado de ocupação da região, tais como o desmatamento e as mudanças de uso da terra.

Com base no que é conhecido sobre a variabilidade climática na Amazônia e sobre o papel do transporte de umidade dentro e fora da bacia, como sugerem estudos observacionais e de modelagem, uma questão surge: quais seriam os possíveis impactos do desmatamento em escala regional e/ou do aumento da concentração de gases de efeito estufa no clima da Amazônia e nas regiões vizinhas (Freitas *et al.*, 2005; Marengo, 2005)? A recente seca de 2005 que afetou uma grande extensão da Bacia Amazônica ocidental demonstrou a vulnerabilidade da população amazônica a eventos climáticos extremos. Os impactos na economia local refletiram principalmente no fechamento dos aeroportos devido à grande quantidade de fumaça e o fechamento de portos devido ao baixíssimo nível dos rios que não permitia a navegação dos barcos maiores. A isso deve-se adicionar os problemas decorrentes do colapso da agricultura local e outras conseqüências na população, como o número de pessoas atendidas nos hospitais em função de estresse térmico, problemas respiratórios e doenças causadas pela fumaça dos incêndios florestais e pela água contaminada, indicando que as pessoas na Amazônia são vulneráveis à seca e que essa vulnerabilidade pode ser agravada por um clima mais quente e seco no futuro, como sugerem alguns cenários. Esta foi a seca mais severa dos últimos 40 anos e também uma das mais intensas dos últimos 100 anos. O fenômeno perturbou o funcionamento básico da Amazônia, provocando impactos ambientais, sociais e econômicos (Marengo *et al.*, 2008).

De acordo com [Hutyra et al. \(2005\)](#), eventos climáticos extremos como secas, induzidas tanto pela variabilidade climática natural (por exemplo, dos padrões de circulação do Atlântico, que causaram a seca de 2005 na Amazônia ocidental, e dos eventos *El Niño*) quanto pelas atividades humanas (mudanças no uso do solo), podem fragmentar a Floresta Amazônica e transformar grandes áreas em savana. [Hutyra et al. \(2005\)](#) chegaram a esta conclusão por meio das análises do mapeamento de áreas de floresta mais sensíveis à seca utilizando registros de pluviosidade dos últimos 100 anos. A região que se estende do Tocantins à Guiana seria a mais afetada. Essas projeções corroboram com resultados de modelos de simulação para o futuro do clima na Amazônia, que indicam uma maior frequência e intensidade de eventos de seca ao longo da segunda metade do século XXI ([Betts et al., 2004](#)). Como salientado pelos autores desses trabalhos, as incertezas dos modelos ainda são altas, mas a tendência de uma parte da Amazônia ter clima mais seco é evidenciada.

No contexto de mudanças climáticas, cenários gerados pelo CPTEC/INPE até o final do século XXI indicam reduções de chuva de até 40% e aquecimento de até 8°C na região Amazônica ([Marengo et al., 2008](#)). O maior impacto sobre a redistribuição de espécies e biomas seria sentido no nordeste da Amazônia e o menor impacto no oeste ([Salazar et al., 2007](#)). Estudos de tendências de longo prazo parecem não apresentar uma redução na precipitação da Amazônia, como consequência de um aumento do desmatamento ([Marengo, 2004](#)). Porém, modelos regionais sugerem que o desmatamento pode reduzir as chuvas em determinados locais e aumentar em outras regiões, mostrando assim que em simulações de alta resolução a topografia, os sistemas de grandes rios e diferentes coberturas do solo têm um papel importante nos padrões anômalos de precipitação, ventos e energia ([Silva-Dias et al., 2002](#); [Gandu et al., 2004](#)), ou em escala mais ampla, a partir de um patamar de desmatamento ([Baidya Roy & Avissar, 2002](#)).

Devido à grande demanda atual por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água dentro de uma bacia hidrográfica, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração. De acordo com [Camargo \(1971\)](#), para saber se uma região apresenta deficiência ou excesso de água durante o ano, é indispensável comparar dois elementos opostos do balanço hídrico: a precipitação que fornece a umidade para o solo e a

evapotranspiração que consome a umidade do solo. Segundo [Pereira et al. \(2002\)](#), a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência, permitindo, dessa forma, o planejamento das atividades agrícolas e a quantificação de irrigação.

O balanço hídrico é um método contábil de estimativa da disponibilidade de água no solo e baseia-se na aplicação do Princípio de Conservação de Massa em uma área de solo vegetado, contabilizando as entradas e saídas de água do solo ([Pereira et al., 2002](#)). O balanço hídrico de uma região tende a se manter sem grandes alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado da água, as ações antrópicas podem acabar interferindo no ciclo hidrológico, por meio das taxas de precipitação, de infiltração no solo, da evapotranspiração e do escoamento superficial e profundo.

Diante do exposto o objetivo geral deste trabalho é avaliar o impacto dos cenários futuros das mudanças climáticas nos componentes do balanço hídrico da Amazônia Ocidental. Especificamente, investigar mudanças na evapotranspiração potencial e real, umidade do solo, índices de aridez, umidade e umidade efetiva, escoamento superficial e sub-superficial, utilizando as projeções futuras de temperatura do ar na superfície e total anual de precipitação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas para a Amazônia Ocidental. Verificar também a variabilidade interanual climática através do balanço hídrico para um período de *La Niña* e outro de *El Niño*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ocupação da Amazônia Brasileira

Antes da década de 60 a presença humana na Amazônia estava limitada à região costeira, nas áreas próximas às margens dos principais rios navegáveis e na cidade de Manaus (Machado, 1998). A maior mudança na região começou na década de 60 e 70, durante o regime militar, devido às ações governamentais tais como a construção das rodovias Belém-Brasília (BR 153), Cuiabá – Porto Velho – Rio Branco (BR 364), Cuiabá – Santarém (BR 163) e Transamazônica (BR 230), com o objetivo de povoar a região e integrá-la ao resto do país. De acordo com Alves (2001; 2002), o desflorestamento tende a ocorrer numa faixa de 100 km das principais rodovias e zonas de desenvolvimento da década de 70 (Costa, 1997), como ilustrado na Figura 1. Estradas que oferecem acesso mais fácil para outras partes do Brasil concentram uma grande proporção de desflorestamento, indicando que embora o desflorestamento esteja inicialmente associado à criação das zonas de desenvolvimento e estradas durante o governo militar, permaneceu mais elevado nas áreas que estabeleceram sistemas de produção financeiramente vantajosos encadeando à cobiça de parte da população de áreas mais prósperas do Brasil, como o Sul e o Sudeste (Alves, 2001; 2002).

A Figura 1 também mostra áreas consolidadas ainda sob alta pressão de desflorestamento, novas fronteiras de desmatamento (Becker, 2004, 2005) e possíveis eixos futuros de desenvolvimento (Escada *et al.*, 2005). O processo de ocupação humana na região durante a última década tem sido associado com a concentração da posse de terra, desigualdades sociais, conflitos relacionados com a terra, violência e atividades ilegais (Brito, 1995; GEOMA, 2003; Machado, 1998). O crescimento da demanda regional e externa por carne bovina (Arima *et al.*, 2005; Faminow, 1997; Margulis, 2004) e o potencial de expansão de colheitas mecanizadas são as principais ameaças à floresta (Becker, 2005; Fearnside, 2001).

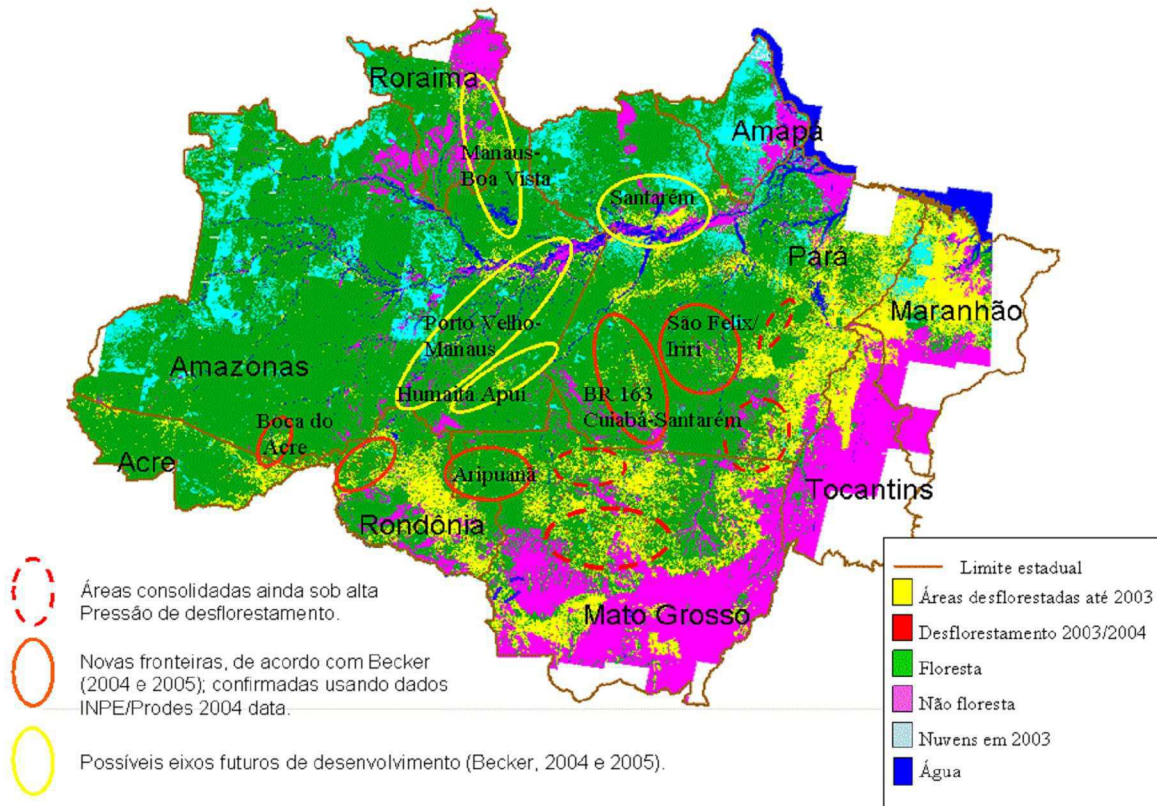


Figura 1. Novas fronteiras e futuros eixos de desenvolvimento na Amazônia Brasileira (fonte: adaptado de (Escada *et al.*, 2005)).

Como mostra a Figura 1, a maioria das áreas desflorestadas estão concentradas nas partes leste-sudeste-sul-sudoeste da Amazônia, a área usualmente conhecida como “Arco do Desflorestamento”, como proposto por Becker (2005), onde a maioria dos centros urbanos, estradas e cerne das atividades econômicas estão localizadas. Atualmente, porém, a área mais vulnerável é a Amazônia Central. Esta é a área cruzada pelos novos eixos de desenvolvimento, do centro do estado do Pará até a região leste do estado do Amazonas, onde a fronteira da nova ocupação está localizada (Becker, 2005; GEOMA, 2003). A Amazônia Ocidental é a região mais preservada da influência dos eixos das principais rodovias (Becker, 2005).

A partir dos anos 90, o plantio de soja também se expandiu na região. A expansão inicial de agriculturas de larga escala ocorreu na região de cerrado no sul da Amazônia e posteriormente, esta expansão começou a ocorrer também em áreas da floresta. De acordo com Margulis (2004), a agricultura não compete com a criação de gado em termos de reuso das áreas da floresta; existem barreiras geográficas e ecológicas para a expansão de

agriculturas de larga escala; áreas com quantidade de chuva superior a 2000 mm não são adequadas para o plantio de soja (Margulis, 2004). Culturas de larga escala tendem a ocupar regiões com terrenos planos e solos melhores, sem limitações estruturais, nos quais as deficiências químicas possam ser facilmente corrigidas. Agricultura de pequena escala ocorrem principalmente em áreas de ocupação antiga, tais como o nordeste do Pará e o Maranhão, e em áreas do Pará (especialmente e ao longo da rodovia Transamazônica), Mato Grosso e Rondônia que foram colonizadas por projetos de reforma agrária do governo. Cabe notar que existe na Amazônia um histórico de expulsão de pequenos produtores por atores mais capitalizados (Brito, 1995; GEOMA, 2003).

A extração de madeira é associada principalmente à exploração predatória da floresta. De acordo com Schneider *et al.* (2000), o setor de extração de madeira é uma das principais atividades econômicas da região e corresponde a 15% da economia dos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, gerando cerca de 500 mil empregos. De acordo com Lentini *et al.* (2005), pelo menos 5% da população economicamente ativa na Amazônia Brasileira trabalham com atividades madeireiras, direta ou indiretamente. Conforme Nepstad *et al.* (1999), 90% da extração de madeira são ilegais e contribui para o empobrecimento da floresta e a torna mais suscetível a queimadas. Quando se esgota a floresta em uma determinada região, a indústria de extração de madeira migra para novas áreas. No início dos anos 90, a indústria de extração de madeira estava concentrada no sul do Pará, norte do Mato Grosso e Rondônia. Posteriormente, houve uma migração para o oeste do Pará e para o sul do Amazonas. De acordo com pesquisas recentes, 36% da produção de madeira são vendidas para o mercado internacional (Lentini *et al.*, 2005).

Após o corte da floresta, a terra na região é apropriada por pessoas físicas, na maior parte das vezes através de corrupção do sistema de cadastro de terras (GEOMA, 2003). Apenas muito recentemente, em 2005, o governo brasileiro iniciou ações para evitar o uso inadequado do sistema de cadastro. Quando a floresta é removida, seu uso geralmente passa a ser para a criação de gado. Margulis (2004) mostra que a criação de gado responde por 70% do uso das áreas da floresta convertida, e que o motor do processo dos desmatamentos da Amazônia brasileira é a viabilidade financeira dos grandes e médios pecuaristas da fronteira consolidada. Inicialmente, mas associada a médios e grandes pecuaristas, a criação de gado é

cada vez mais praticada também por pequenos proprietários em diversas localidades (Veiga *et al.*, 2001; Mertens *et al.*, 2002, Homma, 2005). De 1990 até 2003, o tamanho do rebanho bovino na Amazônia cresceu de 26,6 milhões para 64 milhões (IBGE, 2006). O mercado nacional absorve a maior parte da carne produzida na Amazônia, especialmente nas regiões Nordeste e Sudoeste (Arima *et al.*, 2005). Faminow (1997) mostrou que a demanda local para produtos relacionados à criação de gado, tais como carne e leite, é outra causa no aumento da produção de gado e, conseqüentemente, do desflorestamento.

Analisando os dados de estimativas de desmatamento nos estados da Amazônia Legal, segundo levantamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o período de 1988 a 2007, foram observados as seguintes taxas de desmatamento em relação à área total de cada estado até 2007: Rondônia (21,1%), Mato Grosso (14,3%), Pará (9,2%), Acre (7,4%), Amazonas (1,1%), Roraima (2,4%), Tocantins (2,9%), Maranhão (6%) e Amapá (0,8%). A Figura 2 apresenta as estimativas de desmatamento anual para a Amazônia Legal, para o período de 1988 a 2007, observa-se que os estados que mais desmata na Amazônia é, Mato Grosso, Pará e Rondônia.

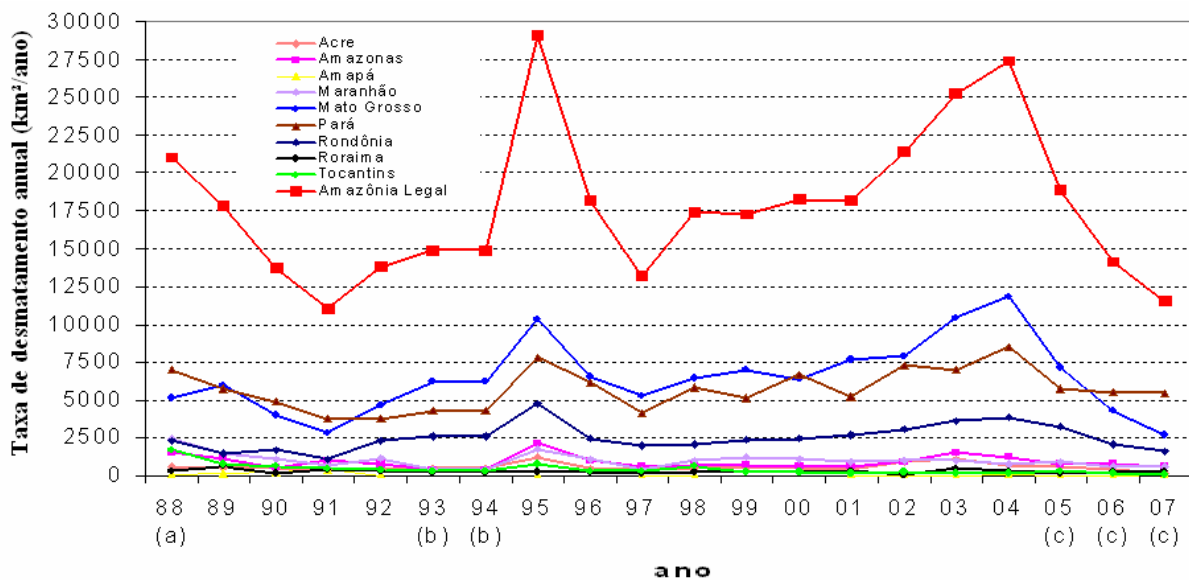


Figura 2. Taxa de desmatamento anual (km²/ano) de 1988 a 2007 na Amazônia Legal. (a) média entre 1977 e 88, (b) média entre 1993 e 1994 e (c) taxas anuais consolidadas. Fonte: PRODES/INPE – www.obt.inpe.br/prodes

2.2 Experimentos Meteorológicos de Campo na Amazônia

Durante a década de 80 e 90, vários experimentos micrometeorológicos foram realizados na região Amazônica, com o objetivo de aumentar os conhecimentos sobre a interação entre a floresta tropical e a atmosfera (Fisch *et al.*, 1998).

O experimento *Amazonian Research Micrometeorological Experiment* – ARME (1983 – 1986) de colaboração entre o Instituto de Hidrologia do Reino Unido, os Institutos Nacionais da Amazônia e de Pesquisas Espaciais (INPA e INPE), Universidade Federal do Pará (UFPA), Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), coletou conjuntos de dados na Reserva Florestal Ducke, nas imediações de Manaus, Amazônia Central, que se tornaram clássicos na literatura científica. Os dados micrometeorológicos de partição de energia pela floresta amazônica e estimativas de evapotranspiração tem sido utilizadas para calibrar muitos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) correntemente em uso, inclusive o modelo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do INPE (Shuttleworth, 1988). Além disso, também foi observado que a floresta tropical não sofre o efeito da deficiência hídrica provocada pela falta de chuvas (Shuttleworth, 1988).

Posteriormente, o experimento *Amazon Boundary Layer Experiment* – ABLE (1985 2A, 1987 2B) foi realizado em Manaus (AM) com o intuito de coletar dados da estrutura da atmosfera da região amazônica para estudar liberação e ciclos de gases e aerossóis. Os principais resultados científicos estão compilados em dois números especiais (ABLE-2A, 1988; ABLE-2B, 1990) e em Garstang *et al.*(1990). O balanço hídrico em larga-escala durante este experimento foi analisado por Souza (1991).

Outro experimento técnico-científico realizado na Amazônia (Novembro e Dezembro de 1989) foi o FLUAMAZON - *Fluxo de Umidade na Região Amazônica*. O objetivo deste experimento foi o de coletar dados de ar superior (radiossondagem) para realizar balanço de umidade na Amazônia, juntamente com medidas isotópicas do vapor d'água e seus resultados foram analisados por Rocha (1991).

Com o intuito de coletar dados dos fluxos de energia e dos elementos climáticos sobre as superfícies de floresta tropical e de pastagem, em três regiões distintas na Amazônia, Manaus (AM), Marabá (PA) e Ji-Paraná (RO), foi realizado o projeto *Anglo Brazilian Amazonian Climate Observation Study* - ABRACOS (1991-1995), que teve a missão de coletar dados em épocas seca e úmida. Vários resultados científicos importantes foram alcançados (Gash *et al.*, 1996), dentre os quais destacam-se as sazonalidades do albedo de floresta tropical (Culf *et al.*, 1995) e da evapotranspiração na área de pastagem, mas não na floresta (Wright *et al.*, 1992).

A influência do desmatamento no clima, principalmente na estrutura da camada limite atmosférica, foi investigada com a realização do experimento *Rondonia Boundary Layer Experiment* – RBLE (1992-1994), com 3 campanhas de coleta de dados durante a época seca, em regiões de floresta e pastagem em Ji-Paraná (RO). As campanhas de coleta de dados foram realizadas em simultâneo com medidas do Projeto ABRACOS. Os principais resultados estão compilados em Fisch (1996) e mostram que a camada limite convectiva sobre a área de pastagem é muito mais desenvolvida do que sobre floresta, sendo esta diferença (em torno de 1.000 metros mais profunda) devido ao mecanismo de partição de energia na pastagem: o fluxo de calor sensível é praticamente igual ao de calor latente. Por outro lado, durante as condições noturnas, a camada limite é mais profunda na floresta (350 m de altura) do que na pastagem (230 m), pois, a rugosidade e a conseqüente turbulência mecânica (ventos) auxiliam no transporte de energia na floresta. A descontinuidade térmica na pastagem é superior a da floresta. Ainda de acordo com Fisch (1996) o estudo mostrou que a estrutura da camada limite atmosférica (CLA) sobre a região de floresta em Ji-Paraná apresenta-se compatível com as observações realizadas na floresta tropical do Congo (África do Sul), ressaltando que a CLA sobre a área de pastagem é, em média, 66% superior a da floresta, além de não entrar em “colapso” ao final da tarde/início da noite, mantendo um aspecto estacionário durante todo o período noturno.

O papel da vegetação de floresta tropical na liberação/absorção de CO₂ atmosférico foi estudado com a realização de uma campanha de coleta de dados *Manaus Atmospheric CO₂ Experiment* – MACOE, realizado em novembro de 1995, na região de Manaus (AM). O objetivo deste experimento foi o de coletar dados do perfil de CO₂ na camada limite noturna

em regiões de floresta tropical. Os principais resultados obtidos foram que a concentração dentro do dossel da floresta é fortemente influenciada pela formação de inversões térmicas próximo à superfície e que existe grande variabilidade espacial dos fluxos de CO₂ liberados pela floresta (Culf *et al.*, 1999). Esta última conclusão foi baseada na realização de balanço de CO₂ na camada limite atmosférica (Culf *et al.*, 1999).

Desde 1999 até o presente, esta em execução o Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia – LBA, na Amazônia e Cerrado Brasileiro. Os experimentos de campo realizados na Amazônia, contribuíram para um melhor entendimento da relação entre a floresta e atmosfera na região, vale ressaltar a necessidade de estudos de balanço hídrico e de tendências climáticas para região.

2.3 IPCC

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC foi criado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM ou WMO, em inglês) e pelo programa das Nações Unidas para Meio Ambiente (UNEP), em 1988. O IPCC é aberto a todos os países membros da UNEP e da OMM, e se reúne normalmente em sessões plenárias uma vez por ano. Estas sessões decidem a estrutura, princípios, procedimentos e programa de trabalho do IPCC, além de eleger a presidência de suas comissões. Também é responsável por definir o escopo dos relatórios do IPCC e aceitá-los. As sessões plenárias são conduzidas nas seis línguas oficiais da ONU e geralmente são atendidas por centenas de representantes de governos e organizações participantes. A presidência e as comissões do IPCC são apoiadas pelo Secretariado do IPCC.

O papel do IPCC é fornecer informações confiáveis a respeito dos conhecimentos científicos pertinentes às mudanças climáticas. O IPCC não conduz nenhuma pesquisa científica propriamente, mas revisa milhares de documentos sobre mudanças climáticas publicadas na literatura especializada todos os anos e resume o “nível de conhecimento” sobre o assunto em Relatórios de Avaliação que são publicados a cada cinco anos, em média. Todos os cientistas e especialistas envolvidos em produzir e revisar o trabalho do IPCC o fazem de forma voluntária (IPCC, 2001).

O IPCC está dividido em três Grupos de Trabalho, Grupo de Trabalho I: “avalia os aspectos científicos do sistema climático e das mudanças climáticas”. Isto é, responde sobre o que se sabe das mudanças climáticas – se está acontecendo, por que está acontecendo e em que velocidade ocorreu ou está ocorrendo. Grupo de Trabalho II: “avalia a vulnerabilidade dos sistemas sócio-econômicos e naturais das mudanças climáticas, conseqüências negativas e positivas das mudanças climáticas e as opções de adaptação”. Em outras palavras, revela os impactos das mudanças climáticas na vida das pessoas e no meio ambiente, e que mudanças podem reduzir estes impactos. Grupo de Trabalho III: “avalia opções para limitar as emissões de gases do efeito estufa e, assim, mitigar as mudanças climáticas”. Isto é, observa maneiras pelas quais se pode barrar as mudanças climáticas induzidas pelo homem, ou ao menos, desacelerá-las.

Cada um dos relatórios dos três Grupos de Trabalho inclui um Sumário para Tomadores de Decisão (SPM, em inglês), publicados em todas as línguas oficiais da ONU. O SPM é escrito de tal maneira a ser compreendido por não-especialistas.

Pode-se destacar uma significativa influência das avaliações anteriores do IPCC, tais como, a criação da Convenção-Quadro sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês) pela Assembléia Geral da ONU em 1990 e contribuição para as negociações da Convenção do Protocolo de Kyoto em 1995.

O IPCC conclui no seu Terceiro Relatório de Avaliação – TAR ([IPCC 2001](#)), que a temperatura média da atmosfera tem aumentado em $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ durante o século XX. Os modelos globais analisados pelo IPCC têm mostrado que entre 1900 e 2100 a temperatura global pode aquecer entre 1,4 e $5,8^{\circ}\text{C}$, o que representa um aquecimento mais rápido do que aquele detectado no século XX e que, aparentemente, não possui precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos.

O [IPCC \(2007\)](#) divulgou o primeiro de uma série de relatórios que formam o 4º Relatório de Avaliação (AR4, em inglês). “Climate Change 2007: The Physical Science Basis 1” (“Mudanças Climáticas 2007: a Base Científica Física”) avalia o atual conhecimento científico sobre as forças naturais e humanas das mudanças climáticas, as mudanças

observadas no clima, a habilidade da ciência em atribuir diferentes causas às mudanças climáticas, e projeções para cenários futuros dessas mudanças.

É provável que tenha havido um aquecimento antrópico significativo ao longo dos últimos 50 anos, considerando-se a média de todos os continentes exceto a Antártica. Os padrões observados de aquecimento, inclusive um aquecimento maior sobre a terra do que sobre o oceano e suas mudanças no tempo são simulados apenas em modelos que incluem forçamento antrópico (Figura 3). A capacidade dos modelos climáticos acoplados de simular a evolução da temperatura observada em cada um dos seis continentes fornece uma evidência mais contundente da influência humana no clima do que havia quando da publicação do Terceiro Relatório de Avaliação.

Desde a publicação do [IPCC \(1990\)](#), as projeções avaliadas sugeriram aumentos da temperatura média global entre 0,15 e 0,3°C por década para 1990 a 2005. Essas projeções agora podem ser comparadas com os valores observados de cerca de 0,2°C por década, fortalecendo as projeções de curto prazo ([IPCC, 2007](#)).

Onze dos últimos doze anos (1995 a 2006) estão entre os anos mais quentes de registro instrumental da temperatura da superfície global (desde 1850). A tendência linear atualizada de 100 anos (1906 a 2005) de $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ é, portanto, mais elevada do que a tendência correspondente para o período de 1901 a 2000 apresentada no 3º Relatório de Avaliação, de $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$. A tendência linear de aquecimento ao longo dos últimos 50 anos ($0,13 \pm 0,3^\circ\text{C}$ por década) é quase o dobro da dos últimos 100 anos. O aumento total de temperatura de 1850-1899 a 2001-2005 é de $0,76 \pm 0,19^\circ\text{C}$. Os efeitos das ilhas de calor urbano são reais, mas locais, exercendo uma influência insignificante (menos de $0,006^\circ\text{C}$ por década sobre a terra e zero sobre os oceanos) [IPCC \(2007\)](#).

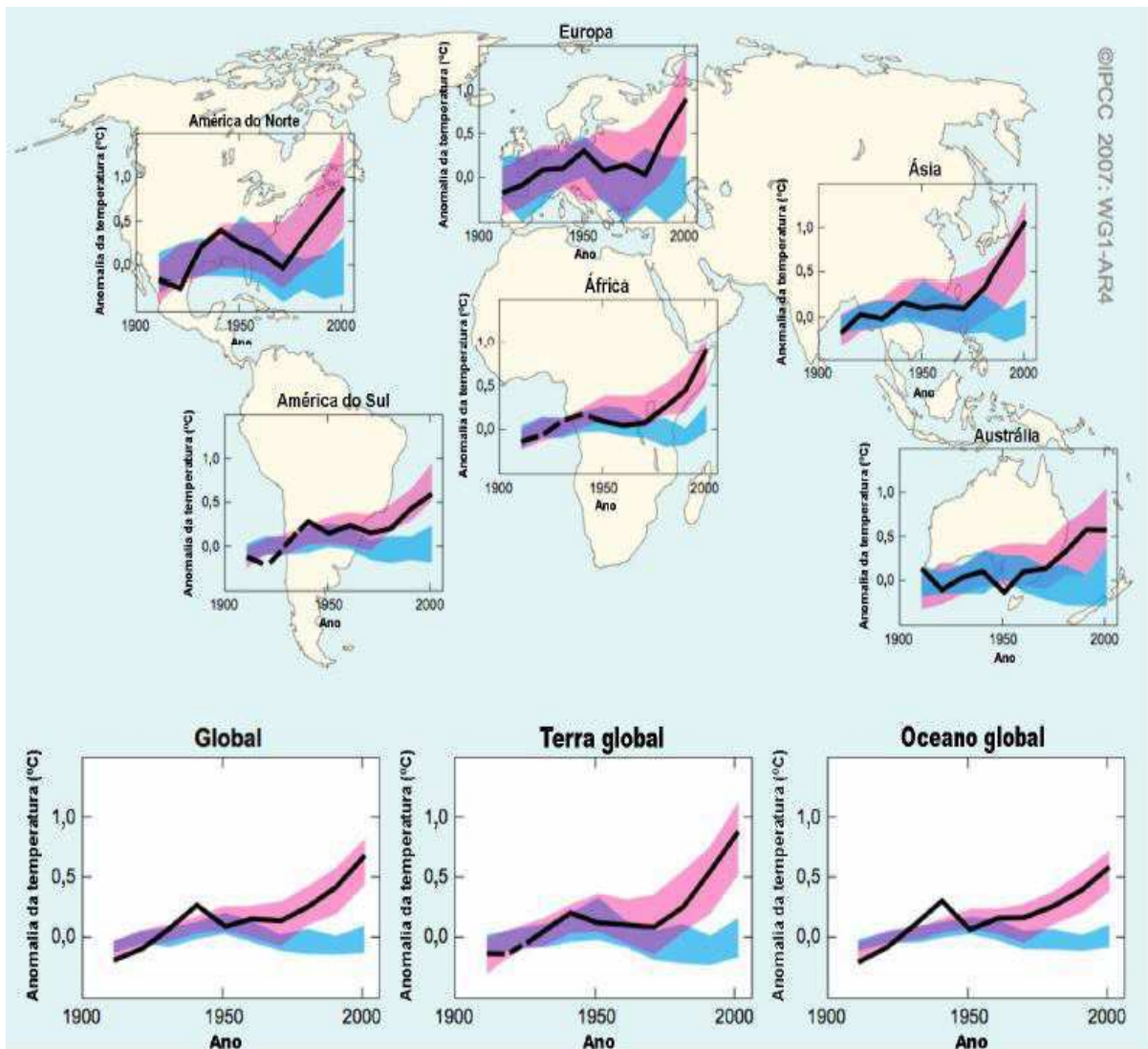


Figura 3. Comparação das mudanças observadas de escalas continental e global na temperatura da superfície com resultados simulados por modelos climáticos, usando-se forçamentos naturais e antrópicos. As médias decenais das observações são apresentadas para o período de 1906 a 2005 (linha preta) plotadas sobre o centro da década e relativas à média correspondente para 1901-1950. As linhas são tracejadas quando a cobertura espacial é inferior a 50%. As zonas azuis indicam a faixa de 5 a 95% para as 19 simulações dos 5 modelos climáticos com o uso apenas dos forçamentos naturais devidos à atividade solar e aos vulcões. As zonas vermelhas mostram a faixa de 5 a 95% para as 58 simulações dos 14 modelos climáticos com o uso dos forçamentos natural e antrópico. Fonte: [IPCC \(2007\)](#)

Estimativas e faixas prováveis para o aquecimento médio global do ar na superfície para seis cenários marcadores de emissões do Relatório Especial sobre cenários de emissões do IPCC (2000), foram apresentado na avaliação de 2007 (Figura 4). Os resultados mostram que para o cenário B1 é de um aumento de aproximadamente 1,8°C (a faixa provável é de 1,1°C a 2,9°C), cenário A1T de 2,4°C (a faixa provável é de 1,4 a 3,8°C), cenário B2 também de 2,4°C (a faixa provável é de 1,4 a 3,8°C), cenário A1B de 2,8°C (a faixa provável é de 1,7 a 4,4°C), cenário A2 3,4°C (a faixa provável é de 2,0 a 5,4°C) e o cenário A1FI de 4,0°C (a faixa provável é de 2,4 a 6,4°C). Embora essas projeções sejam amplamente condizentes com a faixa mencionada no Terceiro Relatório de Avaliação (1,4 a 5,8°C), elas não são diretamente comparáveis (ver a Figura 4). O Quarto Relatório de Avaliação é mais avançado, uma vez que fornece melhores estimativas e uma faixa de probabilidade avaliada para cada um dos cenários marcadores. A nova avaliação das faixas prováveis agora se baseia em um número maior de modelos do clima, de crescente complexidade e realismo, bem como em novas informações acerca da natureza dos processos de realimentação do ciclo do carbono e das restrições sobre a resposta do clima a partir de observações.

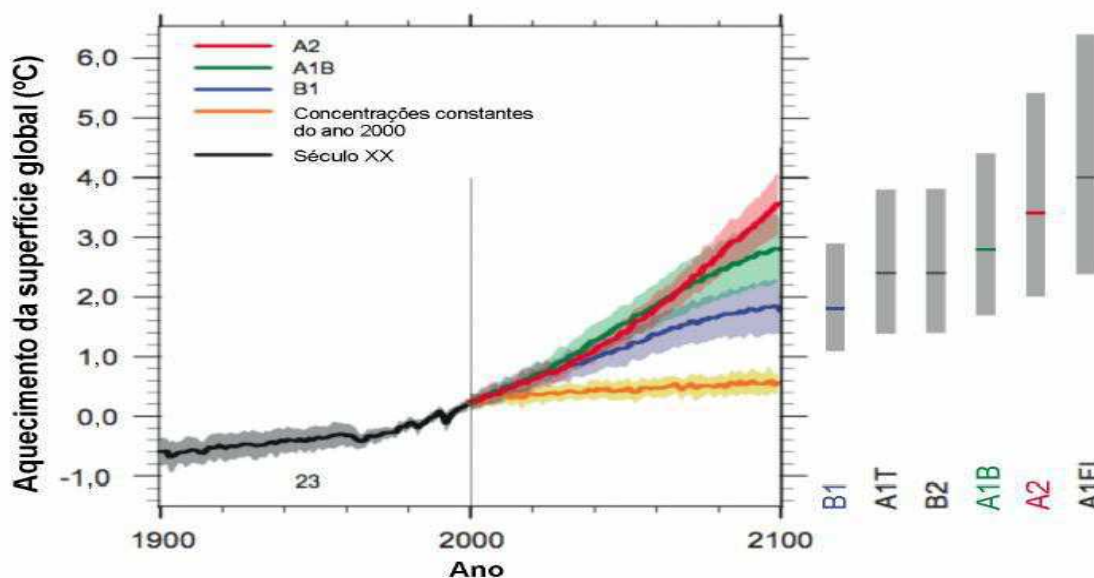


Figura 4. Médias globais do aquecimento da superfície produzidas por vários modelos. Fonte: IPCC (2007)

Desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC e particularmente para o Quarto Relatório (IPCC 2007), há uma compreensão cada vez melhor dos padrões

projetados de precipitação. É muito provável que ocorra aumento da quantidade de precipitação nas altas latitudes, e reduções na maior parte das regiões continentais subtropicais (em até cerca de 20% no cenário A1B em 2100), continuando os padrões observados nas tendências recentes. Entretanto, há ainda muita incerteza em relação às possíveis mudanças na precipitação pluviométrica em escala regional. De acordo com [Li et al. \(2006\)](#), os modelos climáticos globais do Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (IPPC AR4) prevêem diferentes padrões da precipitação na Amazônia sob a influência do cenário SRES A1B para mudança climática global. Cinco de onze modelos estudados prevêem um aumento da precipitação anual, três modelos prevêem um decréscimo e os outros três não indicam padrão significativo de mudança da precipitação na Amazônia. Incertezas nos padrões previstos de mudança na TSM (Temperatura da Superfície do Mar) no Pacífico e Atlântico tropicais, representação de nuvens e realimentações da superfície na Amazônia são as principais fontes de incertezas na previsão de mudanças na precipitação da Amazônia.

Segundo [Nobre \(2001\)](#), para a Amazônia, se houver redução de precipitações induzidas pelas mudanças climáticas globais, estas se somam às reduções previstas como resposta ao desmatamento ([Nobre et al., 1991](#)), aumentando sobremaneira a suscetibilidade dos ecossistemas amazônicos ao fogo e causando a redução de espécies menos tolerantes à seca, podendo até induzir uma “savanização” de partes da Amazônia.

2.4 Balanço Hídrico

Existe uma variedade de modelos para determinação do balanço hídrico. O modelo mais utilizado para fins agroclimáticos é o desenvolvido por [Thornthwaite & Mather \(1957\)](#), que consiste na comparação entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração, considerando-se uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo.

O balanço hídrico climatológico, segundo [Pereira et al. \(1997\)](#), é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água no solo, simbolizado pelas precipitações (PRE) e da demanda atmosférica, simbolizada pela evapotranspiração potencial (ETP), e com uma capacidade de água disponível apropriada ao tipo de planta cultivada, o balanço hídrico

fornece estimativas da evapotranspiração real (*ETR*), da deficiência (*DEF*), do excedente (*EXC*), e do armazenamento de água no solo (*ARM*).

Trabalhos de [Villa Nova et al. \(1976\)](#) e [Salati & Marques \(1984\)](#) indicaram que o desmatamento altera o balanço hídrico. [Polcher e Leval \(1994\)](#) realizaram um experimento desmatando as florestas tropicais na Amazônia, África e Indonésia e substituído por gramíneas, com um modelo integrado por um ano, verificou uma redução na evapotranspiração e um aumento na temperatura do solo.

[Salati et al. \(2007\)](#) apresentam resultados do balanço hídrico realizado para a Região Norte. Nesse estudo foram comparados os balanços hídricos realizados com os dados médios de precipitação e temperatura do ar obtidas nas “Normais Climatológicas” do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o período de 1961 a 1990, com os balanços hídricos realizados com os dados médios de temperatura e precipitação estimados pelos modelos AOGCMs (*Atmosphere Ocean General Circulation Models*) do IPCC: HadCM3 (*Hadley Centre for Climate Prediction and Research*, da Inglaterra), GFDL-CM2 (National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA-*Geophysical Fluids Dynamic Laboratories*); e pelas médias das precipitação e temperatura dos cinco modelos (HadCM3, GFDL, CCCMA (*Canadian Center for Climate Modeling and Analysis*, do Canadá), CSIRO-Mk2 (*Australia’s Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, da Austrália) e CCSR/NIES (*Center for Climate Studies and Research /National Institute for Environmental Studies*)) para cenários A2 - Alta Emissão (O cenário A2 é “o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo, onde a regionalização é dominante. Outras características são um crescimento populacional alto e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido” ([Marengo & Silva Dias, 2006](#))) e B2 – Baixa Emissão (O cenário B2 é o “cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para as sustentabilidades econômica, social e ambiental. A mudança tecnológica é mais diversa com forte ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais” ([Marengo & Silva Dias, 2006](#))). Os intervalos dos períodos utilizados foram: 2011 a 2040 (centrado em 2025), 2041 a 2070 (centrado em 2050) e 2071 a 2100 (centrado em 2075).

As Tabelas 1 e 2 apresentam resultados encontrados para o balanço hídrico para os cenários A2 e B2, respectivamente. Os dados contraditórios para os balanços hídricos obtidos pelos dois modelos (HadCM3 e GFDL – Cenários A2 e B2) e para as médias dos valores dos modelos HadCM3, GFDL, CCCma, SCIRO e NIES – Cenários A2 e B2 para a região da Amazônia indicam a necessidade de um aprimoramento nos processos das estimativas futuras dos efeitos das mudanças climáticas globais sobre os elementos meteorológicos (Salati *et al.*, 2007). De qualquer forma, a tendência é de um aumento da temperatura da região. Victoria *et al.*(1998) encontraram um aumento de temperatura igual a 0,56°C nos últimos 100 anos para essa região e também foi observado um aumento da temperatura no período de 1991 a 2004 quando comparado com o período de 1961 a 1990.

Os balanços hídricos realizados para o modelo HadCM3, para os dois cenários analisados (A2 e B2) indicam que haverá uma diminuição do excesso de água na região da Amazônia de até 73,4% entre 2071 a 2100, quando comparados com os dados do balanço hídrico para o período de 1961 a 1990. Para os balanços hídricos realizados com o modelo GFDL, existe uma diferença entre os cenários A2 e B2, sendo que para os cenários A2 os dados indicam que haverá uma diminuição do excesso de água na região, de até 96 %, para o período de 2071 a 2100, quando comparados os balanços hídricos do período de 1961 a 1990 e para o cenário B2 o balanço hídrico futuro será praticamente igual ao atual. Para os balanços hídricos realizados com as médias dos valores dos modelos HadCM3, GFDL, CCCma, SCIRO e NIES, para os dois cenários analisados (A2 e B2) indicam que haverá uma redução do excesso de água na região de até 33 % para o período de 2071 a 2100, quando comparados os balanços hídricos do período de 1961 a 1990 (Salati *et al.*, 2007).

Analisar o balanço hídrico dando ênfase nas variações conjuntas da temperatura e precipitação para a Amazônia Ocidental, é relevante para definição das características bióticas dos ecossistemas e a oferta de recursos hídricos, e também um fator determinante no potencial da produção agropecuária e da energia hidroelétrica. Qualquer variação na disponibilidade hídrica terá efeitos sócio-econômicos e terá que ser levado em consideração em planejamento futuros de desenvolvimento.

Tabela 1. Balanço Hídrico para a região da Amazônia, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário A2. Fonte: [Salati et al. \(2007\)](#).

Período/Modelo	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
Dados Observados (NC)* 1961 a 1990	2123	1520	721	118	7,8	47,4	42,8	<48	B2r A'a'
Modelo GFDL	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
2011 a 2040	1390	1597	235,2	442,1	27,7	14,7	-1,9	<48	C1w A'a'
2041 a 2070	1231,3	1869,3	92,5	730,5	39,1	4,9	-18,5	<48	C1d A'a'
2071 a 2100	1088,1	2086	26,2	1023,9	49,1	1,3	-28,2	<48	Dd A'a'
Modelo HadCM3	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
2011 a 2040	1982	1786	530,9	335,1	18,8	29,7	18,5	<48	C2w A'a'
2041 a 2070	1781	1987,6	327,5	534,2	26,9	16,5	0,4	<48	C2w A'a'
2071 a 2100	1574	2154,2	209,3	789,5	36,6	9,7	-12,3	<48	C1d A'a'
Média dos Modelos	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática
2011 a 2040	2105,7	1699,4	618,7	212,4	12,5	36,4	28,9	<48	B1r A'a'
2041 a 2070	2080	1841	532,4	293,5	15,9	28,9	19,4	<48	C2r A'a'
2071 a 2100	2069,4	1996,26	466,7	393,6	19,7	23,4	11,5	<48	C2w A'a'

Observações: *Normais Climatológicas; P = Precipitação anual (calculada no balanço hídrico); ETP = Evapotranspiração Potencial anual (calculada no balanço hídrico); EXC = Excesso de água anual (calculado no balanço hídrico); DEF = Déficit de água anual (calculado no balanço hídrico); Ia = Índice de Aridez ($Ia = 100 * (DEF/ETP)$); Iu = Índice de Umidade ($Iu = 100 * (EXC /ETP)$); IM = Índice Efetivo de Umidade ($IM = Iu - 0,6 Ia$); TE = Índice de Eficiência Térmica: calculado pela somatória da evapotranspiração dos meses de verão dividida pela evapotranspiração anual.

Tabela 2. Balanço Hídrico para a região da Amazônia, para os períodos de 1961 a 1990 (utilizando os dados das Normais Climatológicas) e para os períodos de 2011 a 2100 para os modelos analisados para o cenário B2. Fonte: [Salati et al. \(2007\)](#).

Período/Modelo	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática	
Dados Observados (NC)* 1961 a 1990	2123	1520	721	118	7,8	47,4	42,8	<48	B2r	A'a'
Modelo GFDL	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática	
2011 a 2040	2275,1	1664,7	725,1	141,7	8,5	43,6	38,5	<48	B2r	A'a'
2041 a 2070	2272,9	1770,8	683,4	181,3	10,2	38,6	32,4	<48	B2r	A'a'
2071 a 2100	2356,1	1815,5	725,7	185	10,2	40	33,9	<48	B2r	A'a'
Modelo HadCM3	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática	
2011 a 2040	1996,4	1780	533,7	317,2	17,8	30	19,3	<48	C2w	A'a'
2041 a 2070	1862,8	1906,8	430,9	474,8	24,9	22,6	7,7	<48	C2s	A'a'
2071 a 2100	1605,6	2069	192	655,3	31,7	9,3	-9,7	<48	C1d	A'a'
Média dos Modelos	P (mm)	ETP (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	Ia (%)	Iu (%)	IM (%)	TE (%)	Fórmula Climática	
2011 a 2040	2109,4	1702,1	614	206,6	12,1	36,1	28,8	<48	B1r	A'a'
2041 a 2070	2085,1	1803	550,1	268	14,9	30,5	21,6	<48	B1r	A'a'
2071 a 2100	2051,3	1898,8	483,4	330,9	17,4	25,5	15	<48	C2s	A'a'

Observações: *Normais Climatológicas; P = Precipitação anual (calculada no balanço hídrico); ETP = Evapotranspiração Potencial anual (calculada no balanço hídrico); EXC = Excesso de água anual (calculado no balanço hídrico); DEF = Déficit de água anual (calculado no balanço hídrico); Ia = Índice de Aridez ($Ia = 100 * (DEF/ETP)$); Iu = Índice de Umidade ($Iu = 100 * (EXC /ETP)$); IM = Índice Efetivo de Umidade ($IM = Iu - 0,6 Ia$); TE = Índice de Eficiência Térmica: calculado pela somatória da evapotranspiração dos meses de verão dividida pela evapotranspiração anual.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados Climatológicos

Neste trabalho foram utilizados dados meteorológicos referentes à temperatura do ar média e totais mensais de precipitação, das vinte e uma estações meteorológicas de superfícies convencionais e uma localidade com dados de reanálise (Tabela 3), espacialmente distribuídas na Amazônia Ocidental (Figura 5). As localidades (Figura 5 e Tabela 3) 2 a 21 pertencem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 1961 a 2005, localidade 22 pertencem a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) para o período de 1982 a 1999 (Scerne *et al.*, 2000) e localidade 1 foram obtidas com dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction - NCEP/The National Center for Atmospheric Research - NCAR período 1982 a 1995. A Amazônia Ocidental é composta pelos estados do Acre, Amazonas, Rondônia e Roraima, são as áreas mais preservadas da região Amazônica.

Foram realizados estudos com os seguintes cenários: atual (dados observados de 1961 a 2005), com aumento e redução na precipitação em 15% até 2100 em relação à média atual (segundo cenários do IPCC), e aumentando em 3,8°C A2 (altas emissões) e B2 (baixas emissões) em 1,3°C a temperatura com base em uma média de seis modelos climáticos do IPCC TAR (Marengo, 2006) em relação à média atual. O cenário A2 – descreve um mundo futuro muito heterogêneo no qual a regionalização é dominante, com alto índice de crescimento populacional, e menos preocupação em relação ao desenvolvimento econômico rápido, nesse mundo existirá um fortalecimento de identidades culturais regionais, com ênfase em valores da família e tradições locais; Cenário B2 – descreve um mundo futuro no qual a mudança tecnológica é mais diversa. A ênfase está em soluções locais, sustentabilidade econômica, social e ambiental, e nas iniciativas comunitárias e inovação social em lugar de soluções globais, esses cenários são os utilizados pelos relatórios de Impacto Climático do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel of Climate Change – IPCC).

Segundo [Marengo \(2006\)](#), existem fontes de incertezas na modelagem de clima para se fazer projeções de clima futuro em nível global e regional na atual geração de modelos usados pelo IPCC, que devem ser considerados, a saber: Incerteza nas emissões futuras de gases de efeito estufa e aerossóis e das atividades vulcânicas e solares que afetam o forçamento radiativo do sistema climático; Incerteza na inclusão de efeitos diretos do aumento na concentração de CO₂ atmosférico nas plantas e do efeito do comportamento das plantas no clima futuro; Incertezas na sensibilidade do clima global e nos padrões regionais das projeções do clima futuro simulado pelos modelos, devido às diferentes formas em que cada modelo de circulação geral da atmosfera representa os processos físicos e os mecanismos de sistema climático.

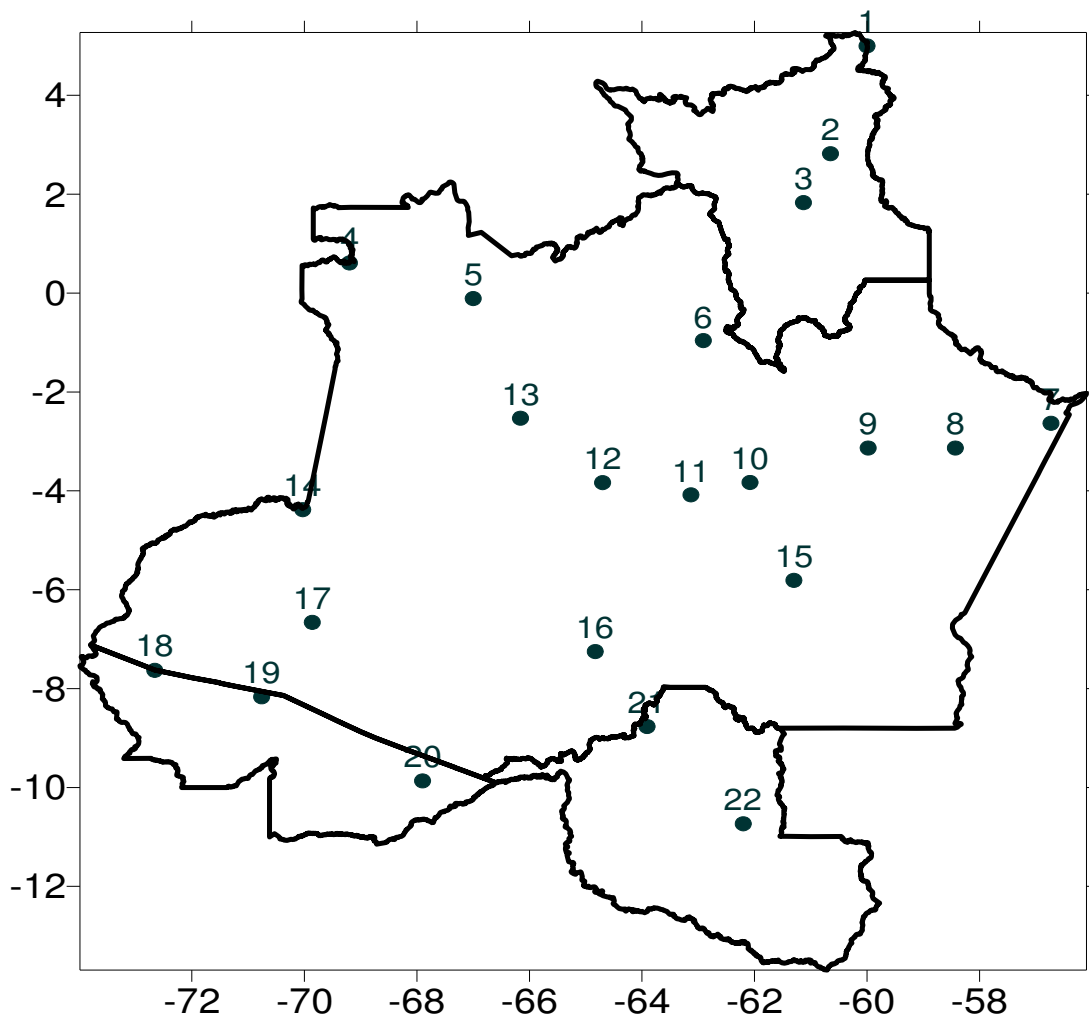


Figura 5. Distribuição espacial das estações convencionais na Amazônia Ocidental.

Tabela 3. Coordenadas Geográficas das estações meteorológicas na Amazônia Ocidental.

Nº	Localidades	Latitude	Longitude	Fonte	Período
1	Uiramutã - RR	5	-60	NCEP/NCAR	1983-1995
2	Boa Vista - RR	2,8	-60,6	INMET	1961-2005
3	Caracaraí - RR	1,8	-61,1	INMET	1961-2005
4	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	INMET	1961-2005
5	S.G. da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	INMET	1961-2005
6	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	INMET	1961-2005
7	Parintins - AM	-2,6	-56,7	INMET	1961-2005
8	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	INMET	1961-2005
9	Manaus - AM	-3,1	-60,0	INMET	1961-2005
10	Codajás - AM	-3,8	-62,1	INMET	1961-2005
11	Coari - AM	-4,1	-63,1	INMET	1961-2005
12	Tefé - AM	-3,8	-64,7	INMET	1961-2005
13	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	INMET	1961-2005
14	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	INMET	1961-2005
15	Manicoré - AM	-5,8	-61,3	INMET	1961-2005
16	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	INMET	1961-2005
17	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	INMET	1961-2005
18	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	INMET	1961-2005
19	Tarauacá - AC	-8,2	-70,8	INMET	1961-2005
20	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	INMET	1961-2005
21	Porto Velho - RO	-8,8	-63,9	INMET	1961-2005
22	Ouro Preto d'Oeste - RO	-10,7	-62,2	CEPLAC	1983-1999

3.2 Métodos

3.2.1 Balanço Hídrico

O cálculo do balanço hídrico foi realizado com a utilização do software desenvolvido por Rolim *et al.* (1998), o qual utiliza a metodologia proposta por Thornthwaite & Mather (1957) com as modificações de Krishan (1980).

O balanço hídrico idealizado por Thornthwaite & Mather (1957) considera-se que o solo oferece certa resistência às perdas de água para a atmosfera, e que esta aumenta com a redução da água armazenada no solo. Este método leva em conta que, quando ocorre, no período considerado, um saldo positivo entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, este é incorporado ao solo, reabastecendo-o e quando o solo atinge sua capacidade de armazenamento pleno, esse saldo passa a ser considerado excesso (escoamento e drenagem profunda); por sua vez, o balanço de água tem, como variáveis básicas de entrada, a precipitação e a evapotranspiração potencial, e como variáveis derivadas (saída) o armazenamento de água no solo, a variação do armazenamento de água do solo, negativo acumulado, a evapotranspiração real, o excesso e a deficiência hídrica.

Negativo acumulado (N_{ac}) e armazenamento de água no solo (ARM) são calculadas simultaneamente, para facilitar o fechamento do balanço. Os primeiros cálculos para balanço hídrico anual com intervalo de tempo mensal, são iniciados pelo último mês do período chuvoso, ou seja, o último mês em que a precipitação (Pr) é superior à evapotranspiração potencial (ETP). Considera-se, neste mês, denotado por j , o solo está plenamente abastecido de água, ou seja:

$$(N_{ac})_j = 0 \quad (1)$$

$$(ARM)_j = \text{lâmina de máximo armazenamento de água (CA)} \quad (2)$$

A lâmina de máximo armazenamento de água (CA) foi tomada como sendo igual à máxima capacidade de retenção de água disponível pelo solo (CAD). O CAD é definido como sendo a diferença entre a quantidade de água existente no solo na capacidade de campo (cc) e a existente no ponto de murcha permanente (PMP), que representa a quantidade de água

máxima retida em determinado tipo de solo que está disponível às plantas ou evaporação. O CAD decresce de solo barro-limoso para solos como areia grossa e pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$CAD = \frac{(cc - pmp) \cdot daps \cdot cprofs}{100} \quad (3)$$

em que, *cc* e *pmp* são os conteúdos de água no solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente, *daps* densidade aparente do solo e *cprofs* comprimento de profundidade do solo em mm. A equação (3) expressa o CAD em unidade de milímetros de água por cem milímetros de profundidade do solo. No presente estudo foi utilizado um CAD igual a 150 mm para toda a Amazônia Ocidental.

A capacidade de campo corresponde a um conteúdo de umidade do solo, em que a força para extrair - lá seja apenas de -0,1 bars, e ocorre depois de uma chuva ou irrigação intensa haver cessado e a força ou potencial gravitacional ter deixado de predominar sobre a água do solo, o que faz com que o movimento da água decresça substancialmente no sentido vertical. A capacidade de campo pode ser determinada empiricamente ou em laboratório; no segundo caso, torrões do solo revestido de resina, através da qual os torrões podem entrar em contato com a areia úmida de uma mesa de tensão a serem equilibrados a 0,1 bars. Depois do equilíbrio, a janela pode ser fechada novamente e a umidade dos torrões determinadas gravimetricamente.

As forças que retêm a água no solo aumentam com a diminuição de umidade. Assim, o solo pode atingir um estágio em que a água não mais passará do solo para as raízes. Logo, a perda por evaporação excederá a entrada de água e as plantas atingirão o estado de murchamento, a partir do qual não se recuperarão, mesmo com o restabelecimento da umidade do solo. Nesse estado, a planta atingiu o seu ponto de murcha permanente, que ocorre quando o conteúdo de umidade do solo é tão baixo que até mesmo forças de -15 bars são incapazes de extrair umidade do solo. Para determinar o ponto de murcha permanente no laboratório, uma amostra do solo é trazida ao equilíbrio de umidade a 15 bars, no aparelho de membrana de pressão, e sua umidade determinada gravimetricamente.

A máxima capacidade de retenção de água disponível pelo solo pode ser grosseiramente avaliada, por método empírico, a partir do conhecimento da textura do solo; com prática, a composição do tamanho das partículas de um solo pode ser determinada friccionando-se uma amostra de solo úmido entre os dedos e decidindo-se subjetivamente sobre a proporção de material fino e grosso contido na amostra. A partir do conhecimento da classificação e espessura de cada horizonte de um solo, é possível estimar-se a capacidade máxima de retenção de água disponível, somando-se a capacidade de água disponível dos horizontes constituintes do solo.

3.2.1.1 Armazenamento de água no solo (ARM)

A partir do mês $j+1$, ou seja, no primeiro mês em que ocorre N_{ac} , o solo começa a perder água. A água que está no solo é uma função do N_{ac} e da máxima capacidade de água disponível, é dada pelas seguintes expressões:

$$(N_{ac})_{j+1} = (N_{ac})_j + (Pr-ETP)_{j+1} \quad (4)$$

$$(ARM)_{j+1} = CAD * \exp((N_{ac})_{j+1}/CAD) \quad (5)$$

conforme modificação sugerida por [Krishan \(1980\)](#).

Após o período em que $Pr-ETP$ é menor que zero, ou seja, no primeiro mês em que $(Pr-ETP)$ é positivo, inicia-se a reposição de água no solo. Nesses meses o armazenamento de água no solo ARM é obtido adicionando o valor de ARM do mês anterior ao valor de $Pr-ETP$ do mês considerado, ou seja:

$$(ARM)_j = (Pr-ETP)_j + (ARM)_{j-1} \quad (6)$$

isto significa que a parte de precipitação não consumida pela evapotranspiração do mês considerado, junta-se ao armazenamento já existente do mês anterior. Se $(ARM)_j$ for menor que CA , o $(N_{ac})_j$ é calculado pela seguinte equação, já incluídas as modificações sugeridas por [Krishan \(1980\)](#):

$$(Nac)_j = CAD * \ln((ARM)_j / CAD) \quad (7)$$

Quando o resultado da equação (6) for igual ou superior à capacidade máxima de água disponível, o valor de $(ARM)_j$ será correspondente a essa capacidade, o excedente considerado excesso e o solo considerado plenamente abastecido. Neste caso $(Nac)_j$ é nulo. Nos casos em que, após o período mais chuvoso (meses consecutivos em que $(Pr-ETP) > 0$) a soma de $(Pr-ETP)$ deste período for inferior a CA, inicia-se o balanço no último mês em que $(Pr-ETP) > 0$, denominado mês k. $(ARM)_k$ é soma $(Pr-ETP)$ do período chuvoso e $(Nac)_k$ é calculado pela equação (7).

Quando, pelo procedimento acima, o valor do armazenamento do mês k, $(ARM)_k$, não atinge a lâmina máxima considerada, deve-se repetir o balanço, partindo-se novamente do mês k com o valor de $(ARM)_k$ encontrado. Tal procedimento é repetido, até que o valor de $(ARM)_k$ encontrado seja igual àquele utilizado para se iniciar o balanço o que significa fechar o balanço.

A variação da quantidade de água armazenada no solo (ΔARM) é sempre igual à ARM do mês j menos ARM do mês j-1.

3.2.1.2 Evapotranspiração Potencial (*ETP*)

O cálculo da evapotranspiração potencial foi realizado pelo método de [Thornthwaite \(1948\)](#) devido à peculiaridade dos dados meteorológicos da região. O método baseia-se na relação de dependência da evapotranspiração potencial em função da temperatura do ar verificado a cada mês, dada por:

$$ETP = 16 \left(\frac{10 \cdot T_i}{I} \right)^a \quad T_i > 0^\circ C \quad (8)$$

em que: T é a temperatura média do ar;

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514} \quad (9)$$

e

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (10)$$

3.2.1.3 Evapotranspiração Real (*ETR*)

A evapotranspiração real ocorre à medida que o solo vai secando, a perda de água pelo processo de evapotranspiração ocorrer abaixo de sua taxa potencial. A evapotranspiração real (*ETR*) é obtida da seguinte maneira:

a) a partir do primeiro mês em que houve água potencial perdida, isto é, em que $Pr - ETP < 0$, tem-se:

$$ETR = Pr + |\Delta ARM| \quad (11)$$

b) a partir do mês em que se reinicia a reposição da água no solo ($Pr - ETP < 0$) tem-se:

$$ETR = ETP \quad (12)$$

3.2.1.4 Excedente Hídrico (*EXC*)

O excesso hídrico (*EXC*) é dado por:

$$EXC = (Pr - ETP) - (\Delta ARM) + DEF \quad (13)$$

que corresponde ao excesso de precipitação não absorvido pelo solo, por este já está com sua capacidade de armazenamento plenamente atingida, ou seja, somente há excesso a partir do momento em que o armazenamento atinge a capacidade de água disponível.

De posse do excesso hídrico, determina-se o escoamento superficial (E_s) e a infiltração (P_e) da seguinte forma:

$$(P_e)_j = k_{rr} [0,4(EXC_j) + 0,1(EXC_{j-1})] \quad (14)$$

e

$$(Es)_j = EXC_j - (Pe)_j \quad (15)$$

sendo, krr igual à razão entre $\frac{1}{2}$ do excesso hídrico anual e 13% da precipitação anual, desde que 13% da precipitação anual sejam superiores a $\frac{1}{2}$ do excesso hídrico; caso contrário, krr é igual a um.

Na equação original de [Thornthwaite e Mather \(1957\)](#) não havia o coeficiente krr, ou seja, este coeficiente era tomado como igual a 1, mas devido às observações de [Zektser e Loaiciga \(1983\)](#) de que a água infiltrada é aproximadamente 10 – 15% da água precipitada, fez-se opção pelo fator de correção krr.

Caso seja observado que em todos os meses ($Pr - ETP$) foi menor que zero, o negativo acumulado não existirá, o armazenamento será nulo, a evaporação real será igual à precipitação, a deficiência hídrica será ($ETP - ETR$) e o excedente, nulo. Após a verificação dos resultados, calculam-se os índices climáticos.

3.2.1.5 Deficiência Hídrica (DEF)

É a água que deixa de ser evapotranspirada pela falta de umidade no solo; corresponde à quantificação da seca. A deficiência hídrica (DEF), é dada por:

$$DEF = ETP - ETR \quad (16)$$

3.3.1.6 Índice de Aridez (I_a)

Vem a ser a deficiência hídrica (DEF) expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial (necessidade). O conceito de deficiência também é o mesmo usado no balanço hídrico.

$$I_a = 100 \frac{(DEF)}{ETP} \quad (17)$$

Como pode-se ver, o campo de variação do índice de aridez está entre zero e 100. É zero quando não existe déficit e 100 quando a deficiência se iguala à evapotranspiração potencial.

3.3.1.7 Índice de Umidade (Iu)

Vem a ser o excesso de água (EXC), expresso em porcentagem da necessidade que é representada por sua vez pela evapotranspiração potencial:

$$Iu = 100 \frac{(EXC)}{ETP} \quad (18)$$

O conceito de EXC vem a ser aquele expresso pelo balanço hídrico. Pode-se notar também, que o campo de variação do índice de umidade estará entre zero e um valor qualquer positivo.

3.3.1.8 Índice de Umidade Efetiva (IM)

Como na maioria dos casos, tem-se durante o ano estações de excesso e falta d'água, exprime-se, então, o índice de umidade efetiva da seguinte maneira:

$$IM = (Iu - 0,6Ia) \quad (19)$$

Pela expressão, no campo do índice de umidade efetiva, o índice de aridez tem menor peso. Assim, se procede provendo que um excesso de 6mm é capaz de prover um déficit de 10 mm devido a redução da taxa de evapotranspiração.

3.3.2 *El Niño e La Niña*

Foram utilizados os dados de precipitação e temperatura média do ar do INMET para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência dos fenômenos *La Nina* 1988/89 e *El Niño* 1997/98 (<http://enos.cptec.inpe.br/>) e realizado o cálculo do balanço hídrico. Os fenômenos *El Niño/La Niña* caracterizam-se pelo aquecimento/esfriamento das águas superficiais do oceano Pacífico Equatorial Central e Leste.

3.3.3 Surfer 7.0

Os mapas de distribuição espacial dos resultados foram elaborados no programa Surfer versão 7.0, pelo método “Kriging”.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados encontrados, e realizada análise e discussão dos mesmos e quando possível comparado com resultados publicados na literatura científica.

4.1 Precipitação pluviométrica

Um dos objetivos do presente estudo é verificar possíveis modificações nas componentes do balanço hídrico climático decorrente dos cenários extremos (mais drástico e mais ameno) de mudanças climáticas desenhados pelo IPCC. Como o balanço hídrico tem como uma variável base de entrada a precipitação se faz necessário realizar uma análise da climatologia da precipitação pluvial atual da Amazônia Ocidental e das previstas nos cenários propostos.

Analisando os resultados apresentados na Figura 6a, observa-se que as localidades que apresentam maiores valores de precipitação para Amazônia Ocidental são Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W), Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) e São Gabriel da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W), com 3322 mm/ano, 3123 mm/ano e 3002 mm/ano, respectivamente. As localidades com menores valores de precipitação foram Uiramutã – RR (5°N e 60°W) e Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W), com valores 1115 mm/ano e 1712 mm/ano, respectivamente. Localidades como Ouro Preto d'Oeste – RO (10,7°S e 62,2°W) e Rio Branco – AC (9,9°S e 67,9°W), apresentam precipitação de 1939 mm/ano e 1954 mm/ano, respectivamente. Conclui-se que as localidades que mais chove na Amazônia Ocidental esta a noroeste de Manaus – AM, e as que menos chove está a nordeste de Roraima.

As Figuras 6b e 6c, apresentam as projeções de precipitação até 2100, com aumento e redução na precipitação em 15%, respectivamente. As projeções com aumento em 15% na precipitação, indicam valores variando entre 1282 mm/ano e 3820 mm/ano para a Amazônia Ocidental. As projeções apontam menores valores de precipitação para Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 1282 mm/ano e Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 1969 mm/ano, e maiores valores para

as localidades de Iauaretê – RR (0,6°N e 69,2°W) 3820 mm/ano, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) 3452 mm/ano e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 3592 mm/ano. Comparando com o cenário atual (Figura 6a), observa-se em média um aumento de 346 mm/ano na precipitação até 2100. Quando comparamos as projeções com redução da precipitação em 15% (Figura 6c) com a atual (Figura 6a) verificou-se uma redução média de 346 mm/ano até 2100.

Estudos realizados por [Salati et al. \(2007\)](#) para a Amazônia Legal, mostram os seguintes valores médios de precipitação: 2123 mm/ano (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 2105,7 mm/ano (2011 a 2040), 2080 mm/ano (2041 a 2070) e 2069,4 mm/ano (2071 a 2100), e cenário B2, 2109,4 mm/ano (2011 a 2040), 2080 mm/ano (2041 a 2070) e 2069,4 mm/ano (2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se reduções.

[Figueroa & Nobre \(1990\)](#) afirmam que a precipitação máxima que ocorre em 5°S na Amazônia pode estar associada com a penetração de sistemas frontais da região Sul, interagindo e organizando a convecção local. Os altos valores de precipitação que ocorrem a noroeste da região estão associados à condensação do ar úmido trazido pelos ventos de leste da Zona de Convergência Intertropical, que são elevados quando o escoamento sobe os Andes provocando chuvas orográficas.

Um segundo fator que contribui com a chuva na região de maneira localizada é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), enquanto a ZCIT atua durante todo o ano numa faixa mais extensa, a ZCAS pode influenciar a chuvas no sul da região norte, durante os meses de novembro a abril ([Oliveira, 1986; Silva Dias, 1988 e Nobre, 1988](#)). Ressalta-se que no verão/outono do Hemisfério Sul (HS) a ZCIT está mais presente na parte da Amazônia ao sul do equador, enquanto no inverno/primavera do HS a ZCIT, em geral, é atuante no norte da Região Amazônica. Um terceiro fator que influencia as chuvas na região é a topografia, pois a cordilheira dos Andes desempenha um papel determinante no regime de precipitação em sua costa. [Figueroa & Nobre \(1990\)](#) mostram que o posicionamento de uma região a sotavento ou a barlavento na cordilheira, induz respectivamente formação de baixos e altos índices de

precipitação e provavelmente contribui com a ocorrência do maior índice pluviométrico para as localidades que se encontram a noroeste da região norte.

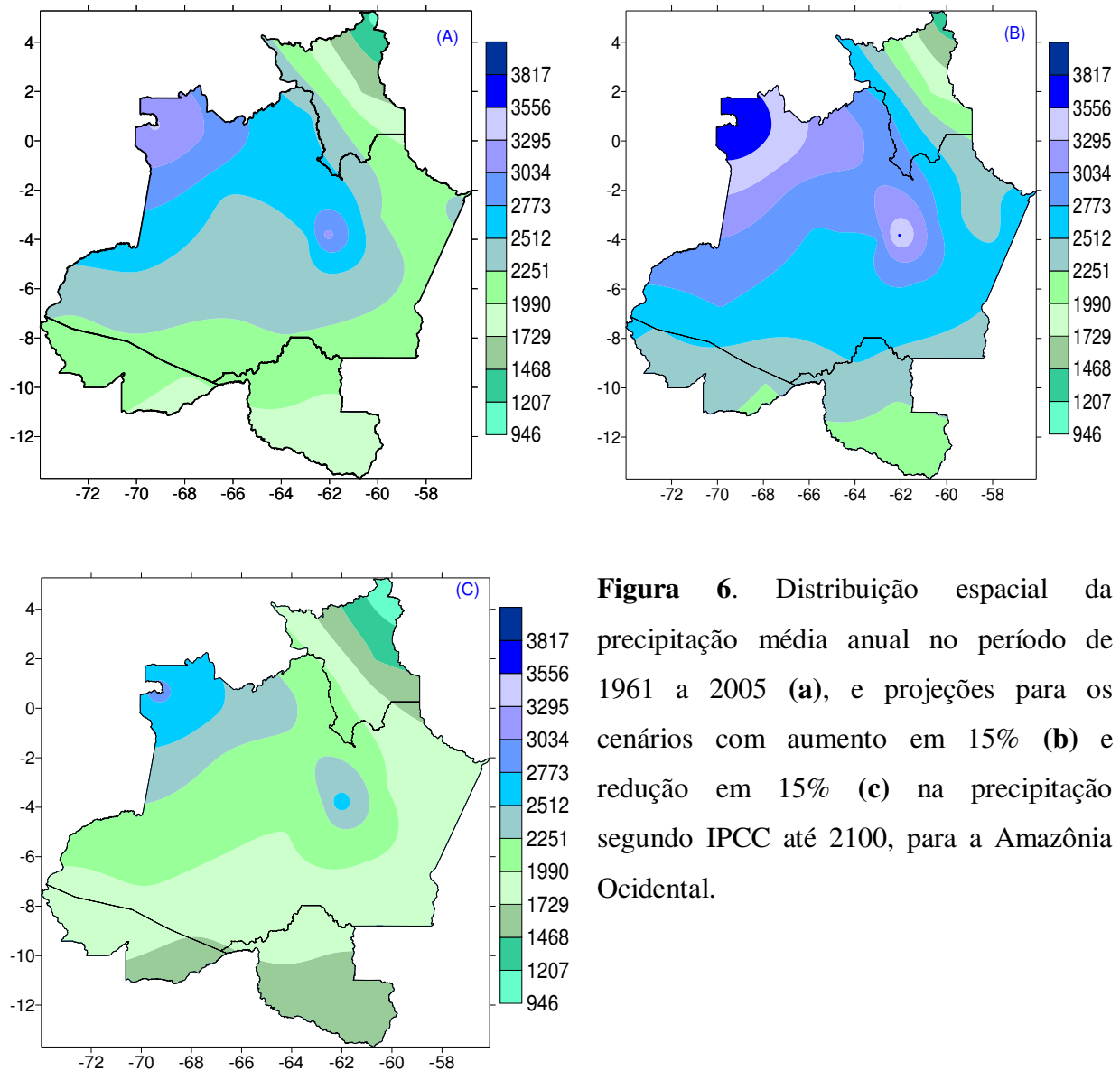


Figura 6. Distribuição espacial da precipitação média anual no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários com aumento em 15% (b) e redução em 15% (c) na precipitação segundo IPCC até 2100, para a Amazônia Ocidental.

4.2 Temperatura média do ar

De acordo com Cândido *et al.* (2007) as projeções climáticas futuras mostram tendência de aquecimento na bacia amazônica como um todo, nos cenários B1(otimista), A1B

(intermediário) e A2 (pessimista), quando compara-se os valores médios previstos em cada um destes cenários para período 2061-2090 com os observados no período 1961-1990. [Cândido *et al.* \(2007\)](#) ainda afirmaram que na avaliação individual dos modelos para toda bacia amazônica e suas sub-bacias, verifica-se um maior aquecimento para os modelos HADCM3, que apresenta variações de temperatura superiores a 3,0°C e 5,0°C nos cenários B1 e A2, respectivamente, e CNRM3 (serviço meteorológico da França) com variações de temperatura do ar de 3,0°C a 4°C para os cenários A1B e A2. O modelo GIER (Instituto de Estudos Especiais Goddard da NASA dos EUA) indica menores tendências de aquecimento, da ordem de 2°C e 3°C, nos cenários B1 e A2 respectivamente. [Marengo \(2007a,c\)](#), usando informações do 4º relatório do IPCC, citou um aumento de 1,3°C e 3,8°C para os cenários B2 (mais otimista) e A2 (mais pessimista), os quais foram também utilizados no presente trabalho.

Assim como a precipitação pluvial, a temperatura do ar é uma variável de entrada chave na elaboração do balanço hídrico. Portanto, uma análise semelhante à executada para precipitação pluvial da Amazônia Ocidental também deve ser feita para a temperatura do ar.

Analisando os resultados apresentados na Figura 7a, para o período de 1961 a 2005, observa-se valores de temperatura do ar média anual variando entre 24,4°C a 28,4°C na Amazônia Ocidental. As localidades que apresentam maiores valores foram Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W) 28°C, Parintins – AM (2,6°S e 56,7°W) 27,4°C e Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 27°C. Os menores valores foram registrados nos municípios de Ouro Preto d'Oeste – RO (10,7°S e 62,2°W) 25°C, Porto Velho – RO (8,8°S e 63,9°W), Rio Branco – AC (9,9°S e 67,9°W) e Tarauacá – AC (8,2°S e 70,8°W) 25°C, Cruzeiro do Sul – AC (7,6°S e 72,7°W) e Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 26°C. A temperatura do ar é variável no tempo e no espaço, e pode ser regulada por vários fatores. O efeito da incidência diferenciada da radiação solar em função da latitude é um dos fatores controladores da temperatura do ar. Na Amazônia Ocidental observou-se que os municípios próximos à linha do equador apresentaram valores mais elevados de temperatura do ar, enquanto as localidades mais ao sul/norte apresentaram valores menores. Ressalta-se que a topografia também é um fator importante na determinação da temperatura do ar, pois áreas elevadas mesmo próximas do equador devem apresentar temperaturas amenas. Porém, como a Amazônia Ocidental Brasileira situa-se em uma grande

planície, com exceção das terras altas do extremo norte do Amazonas, Roraima e extremo sul de Rondônia, o principal fator para a variabilidade espacial da temperatura do ar é a latitude.

Se a temperatura aumentar em $3,8^{\circ}\text{C}$ até 2100 na Amazônia Ocidental, verifica-se que a temperatura do ar média anual apresentará valores variando entre $28,8^{\circ}\text{C}$ a $31,6^{\circ}\text{C}$ (Figura 7b), se aumentar em $1,3^{\circ}\text{C}$, então a temperatura do ar média anual apresentará valores variando entre 26°C a $29,6^{\circ}\text{C}$ (Figura 7c).

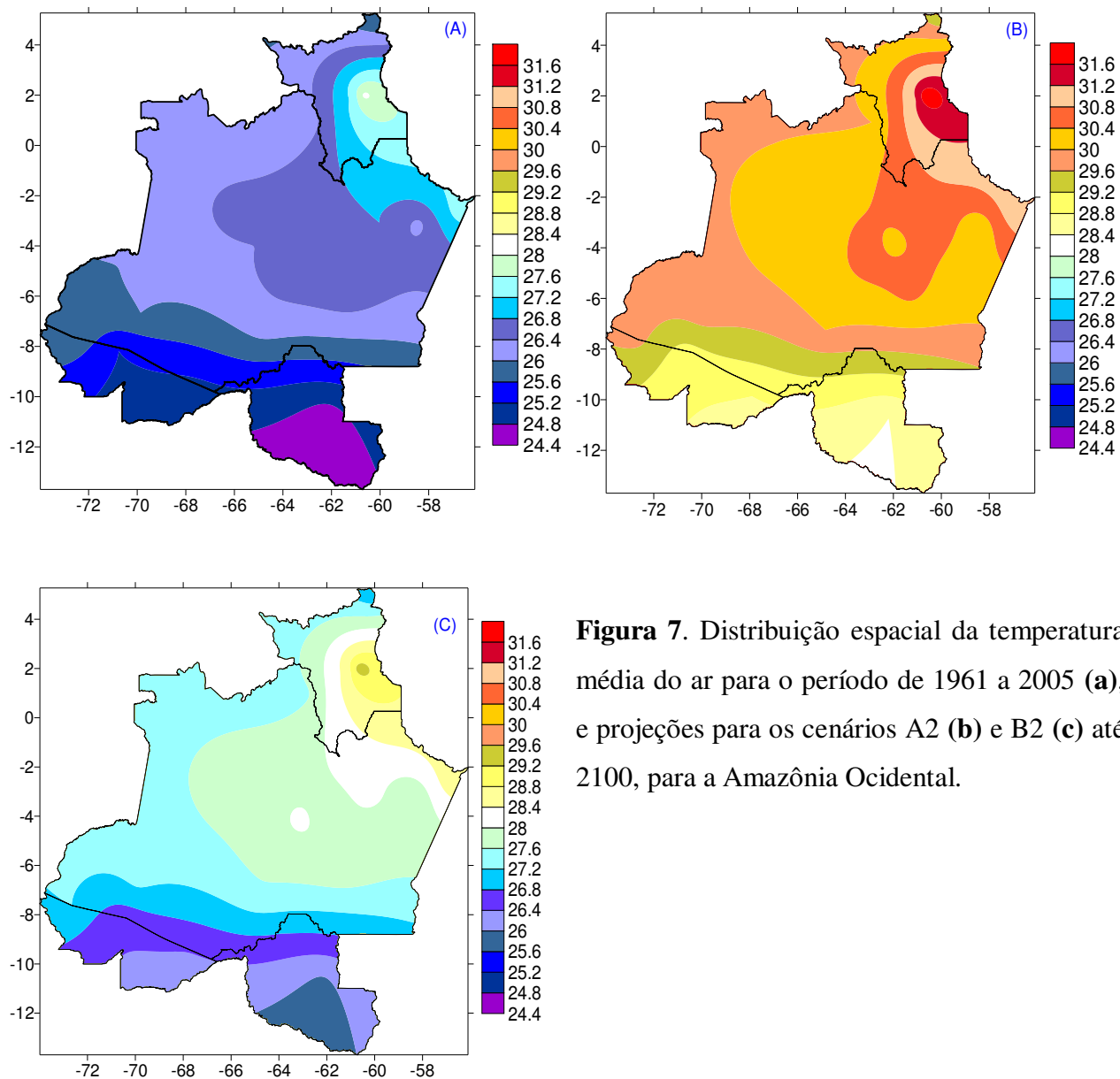


Figura 7. Distribuição espacial da temperatura média do ar para o período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 (b) e B2 (c) até 2100, para a Amazônia Ocidental.

4.3 Balanço Hídrico Climatológico

No presente estudo calculou-se e analisou-se as componentes do balanço hídrico climatológico e índices climáticos para as condições atuais da Amazônia Ocidental, assim como, para os cenários A2 e B2 do IPCC (2007) a partir da condição de uma capacidade máxima de água disponível no solo (CAD) de 150 mm. Foram estimadas e espacializadas a evapotranspiração potencial (*ETP*) e real (*ETR*), o excesso de água no solo (*EXC*), a deficiência hídrica (*DEF*), o armazenamento de água no solo (*ARM*) e os índices climáticos de aridez (*Ia*), umidade (*Iu*) e umidade efetiva (*IM*). Essas componentes fornecem informações não apenas dos períodos de maior e menor magnitude local das quantidades estimadas, mas também permitem comparações com as outras localidades dentro ou fora da própria região, os quais possam ser usados em estudo de classificação e correlação, uma vez que originam parâmetros indispensáveis para avaliação do potencial hídrico da região. Os resultados individuais de cada estação de todos estes parâmetros são mostrados nas Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8 nos APÊNDICES A, B, C, D e F

4.4 Evapotranspiração Potencial (*ETP*)

Analisando a distribuição espacial da climatologia atual da evapotranspiração potencial (*ETP*) para a Amazônia Ocidental (Figura 8a), observam-se maiores valores entre os paralelos 4°S e 3°N e meridianos 58°W a 62°W, numa faixa que abrange o estado do Amazonas e Roraima, com valores entre 1723 mm/ano e 2123 mm/ano. Por outro lado, observa-se que os menores valores de *ETP* foram observados no sul e norte da Amazônia Ocidental, com valores entre 1323 mm/ano e 1523 mm/ano. Numa faixa que se estende entre leste-oeste do Amazonas e sul-norte de Roraima a evapotranspiração potencial varia entre 1523 mm/ano e 1723 mm/ano. A evapotranspiração potencial é dependente da temperatura do ar, portanto, os locais que apresenta maiores temperatura consequentemente apresentam maiores evapotranspiração potencial. Analisando os resultados das projeções de *ETP* para o cenário A2 do IPCC até 2100 para a Amazônia ocidental (Figura 8b), observam-se valores variando entre 2123 mm/ano ao

sul da região e até 3723 mm/ano no centro leste do estado de Roraima, o que representa um aumento de aproximadamente 60% do valor da *ETP* atual. Na parte central do estado do Amazonas observa-se uma variação significativa na evapotranspiração potencial, variando entre 2523 mm/ano a 3123 mm/ano, ou seja, um valor climatológico aproximadamente 80% superior ao atual. Isto mostra que caso esta nova demanda não seja suprida por vapor d'água importado de outras partes e/ou evapotranspiração real local a atmosfera da Amazonas Ocidental torna-se muito seca.

Analisando os resultados das projeções de *ETP* para o cenário B2 do IPCC até 2100 para a Amazônia ocidental (Figura 8c), observam-se valores variando entre 1323 mm/ano ao sul de Rondônia até 2523 mm/ano ao leste do estado de Roraima. Observam-se valores variando entre 1523 mm/ano e 1723 mm/ano numa faixa que estende entre os paralelos 8°S a 14°S e meridianos 60°W a 72°W. Valores variando entre 1723 mm/ano e 1923 mm/ano são observados na faixa leste-oeste paralelo 6°S a 8°S no estado do Amazonas e estende-se até o extremo norte do estado de Roraima. Na parte central do estado do Amazonas, próximo à região de Manaus, são observados valores em torno de 1923 mm/ano a 2123 mm/ano. Estes números mostram que caso o cenário B2 realmente ocorra a *ETP* da Amazônia Ocidental aumentaria de 15% no sul de Rondônia, 20% no Norte de Roraima e 25% no Amazonas e sul de Roraima. Mesmo em um cenário B2 há uma tendência da atmosfera da Amazônia Ocidental torna-se mais seca que a atual, caso a nova demanda de umidade não seja atendida. As análises dos resultados do cenário atual e das projeções de *ETP*, mostram que a Amazônia Ocidental apresenta um tipo climático megatérmico (A'), segundo as subdivisões climáticas propostas por [Thornthwaite \(1948\)](#).

[Salati et al. \(2007\)](#) encontrou os seguintes valores médios de *ETP* para a Amazônia Legal: 1520 mm/ano (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 1699,4 mm/ano (2011 a 2040), 1841 mm/ano (2041 a 2070) e 1926,6 mm/ano (2071 a 2100), e cenário B2, 1702,1 mm/ano (2011 a 2040), 1803 mm/ano (2041 a 2070) e 1898,8 mm/ano (2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se aumentos.

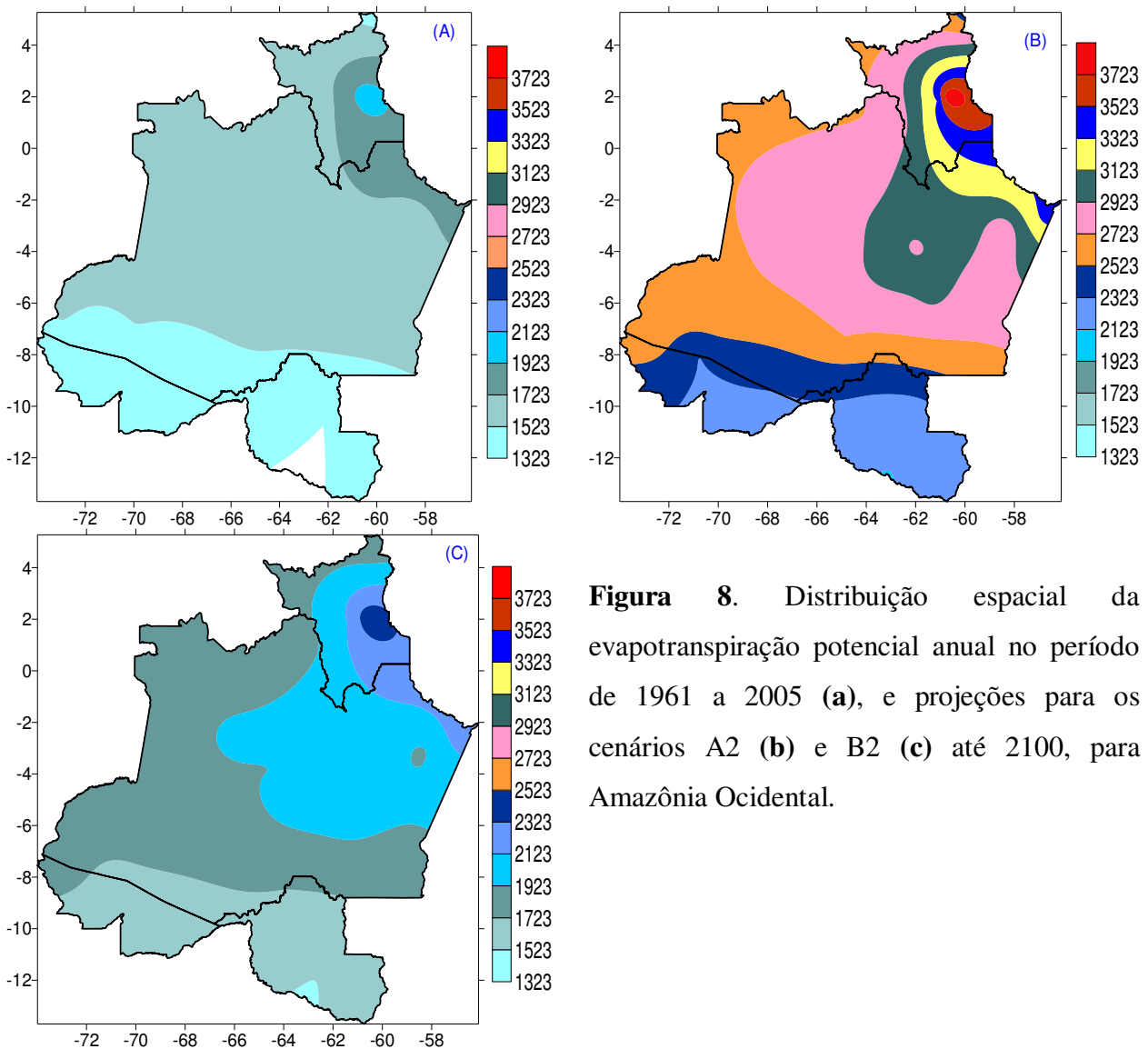


Figura 8. Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 (b) e B2 (c) até 2100, para Amazônia Ocidental.

4.5 Evapotranspiração Real (*ETR*)

Analisando a distribuição espacial da evapotranspiração real (*ETR*) na Amazônia Ocidental (Figura 9a) para o período 1961 a 2005, observam-se valores da ordem de 1540 mm/ano a 1738 mm/ano entre os paralelos 5°S a 1°S e meridiano 71°W a 62°W na parte central do estado do Amazonas. Entre os paralelos 10°S a 13°S e meridiano 71°W a 60°W a *ETR* apresenta valores entre 1144 mm/ano e 1342 mm/ano no norte de Roraima. Também

foram observados valores variando entre 1342 mm/ano e 1540 mm/ano em uma faixa que começa no estado do Acre e Amazonas, e se estende até Roraima.

Analisando as projeções de evapotranspiração real para o cenário A2 do IPCC até 2100, para a Amazônia Ocidental (Figura 9b), observam-se valores de *ETR* variando entre 1342 mm/ano e valores acima de 2530 mm/ano a noroeste de Manaus. Os maiores valores de *ETR* foram observados nas localidades de S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) 2719 mm/ano, Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) 2701 mm/ano, Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 2682 mm/ano e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 2627 mm/ano, o menor valor foram observado em Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 1282 mm/ano. Comparando com o cenário atual (Figura 9a), observa-se um aumento na *ETR* de 777 mm/ano em média até 2100. O que representa um aumento médio em torno de 45% para a Região como um todo. Porém, como o aumento da *ETP*, para o cenário A2, foi de aproximadamente 70% tem-se um déficit 25%, ou seja, para o cenário A2 mesmo com aumento de 15% na precipitação atual a atmosfera tornar-se-á mais seca. A análise do cenário A2 com redução na precipitação (Figura 9d) em relação ao cenário atual, verifica-se em média um aumento de 461 mm/ano até 2100, para a Amazônia Ocidental.

As projeções de *ETR* até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 9c), mostram valores variando entre 1342 mm/ano e 1936 mm/ano. Comparando com o cenário atual (Figura 9a), verifica-se em média um aumento de aproximadamente 247 mm/ano para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Este valor significa um aumento da ordem de 15% para a área como um todo. Como na média de toda área para o cenário B2 a *ETP* apresentou uma elevação de 20%. Não é possível afirmar que para estas condições a atmosfera da Amazônia Ocidental tornar-se-ia mais seca, pois, a diferença de 5%, com certeza, é inferior aos erros de estimativas. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 9e), observam-se valores de *ETR* variando entre 946 mm/ano e 1936 mm/ano. Comparando com o cenário atual (Figura 9a), verifica-se em média um aumento na *ETR* de aproximadamente 136 mm/ano até 2100, ou seja, a *ETR* para este cenário seria 8%, em média superior ao atual. Neste caso a atmosfera da Região ficaria um pouco mais seca. Como esse parâmetro do balanço

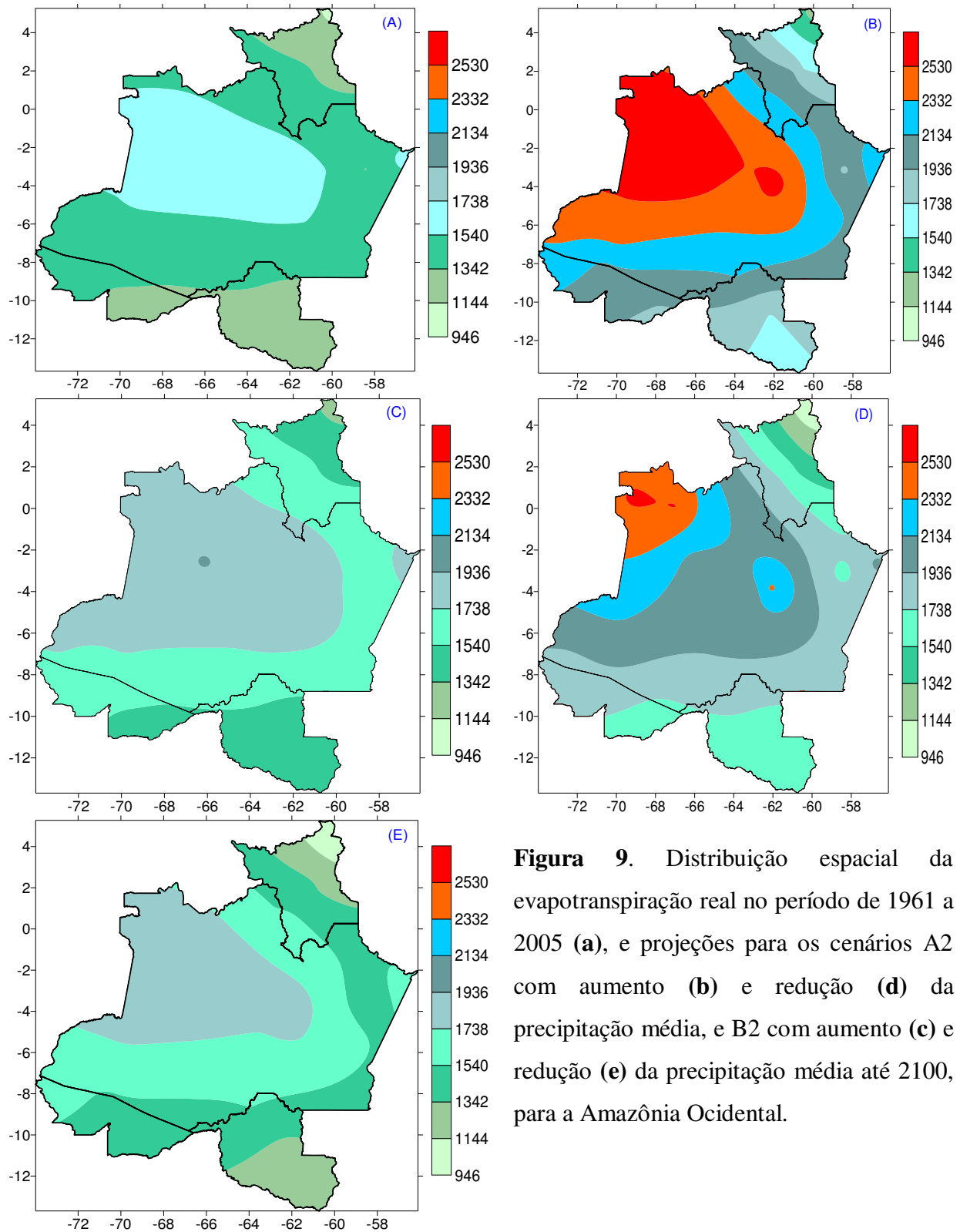


Figura 9. Distribuição espacial da evapotranspiração real no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

hídrico é derivado diretamente da temperatura do ar e da disponibilidade de água no solo, a sua variabilidade temporal e espacial obedece a sazonalidade da temperatura do ar e da precipitação dentro da região. Portanto, é possível que em alguns períodos do ano tenha-se mais umidade relativa na atmosfera do que os valores atuais e em outros menos umidade, e na média do ano será observado um valor de umidade relativa mais baixo que o atual.

4.6 Excedente Hídrico (*EXC*)

Analisando a distribuição espacial do excesso de água (*EXC*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 10a) para a Amazônia Ocidental, foram observados valores variando entre 0 e 1770 mm/ano. As localidades que apresentaram maiores *EXC* foram Iauaretê – AM (10,7°S e 62,2°W) 1770 mm/ano, Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 1502 mm/ano, S.G.da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W) 1431 mm/ano, Barcelos – AM (1°S e 62,9°W) 1119 mm/ano e Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W) 1051 mm/ano. Os menores valores de *EXC* foram observados em Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 0,0 mm/ano, Boa Vista – RR (2,8°S e 60,7°W) 456,0 mm/ano e Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 505 mm/ano. Uma faixa que se estende do Sudoeste, Sudeste e Nordeste de Manaus – AM foram observados valores de *EXC* variando entre 750 a 900 mm/ano. O Sul do Acre e de Rondônia apresentaram valores variando entre 600 e 750 mm/ano. Conclui-se que *EXC* para a Amazônia Ocidental varia entre 0 e 1770 mm/ano, e os maiores valores foram registrados a noroeste de Manaus – AM, região onde apresenta maiores índices pluviométricos da região.

As projeções de excesso de água para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 10b), mostram valores variando entre 0 e 1138 mm/ano. Comparando os resultados das projeções (Figura 10b), com os valores atuais (Figura 10a), observa-se em média uma redução de aproximadamente 431 mm/ano para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Isto significa que, em média, diminuirá em aproximadamente 45% as águas atualmente destinadas aos rios e lençóis freáticos, ou seja, a soma da água para o escoamento lateral e a percolação decairá em 45%. Ressalta-se que este resultado não é homogêneo para toda a área, pois, no extremo norte de Roraima e na margem direita dos Solimões ocorrerá uma redução superior a 45%, enquanto que em outras áreas, como no

noroeste do Amazonas a redução é menor que 45%. Analisando os resultados apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 10d), observa-se valores de excesso de água variando entre 0 e 300 mm/ano. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 10a) com as projeções (Figura 10d), observa-se em média uma redução no excesso de água de aproximadamente 808 mm/ano até 2100. Este é o cenário mais drástico e preocupante para a Amazônia Ocidental, pois, de acordo com os valores obtidos o escoamento lateral e a percolação perderão quase 75% dos seus atuais volumes. Isto levará ao secamento de muitos rios, principalmente os da margem direita do Solimões, com fortes impactos nos ecossistemas locais, pois, representará o desaparecimento de muitas espécies.

As projeções de excesso de água até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15 % (Figura 10c), mostram valores variando entre 0 e 1950 mm/ano. Comparando os resultados das projeções (Figura 10c), com os valores observados (Figura 10a), verifica-se em média um aumento de aproximadamente 99 mm/ano para toda a Amazônia Ocidental até 2100, ou seja, um aumento da ordem de 10% dos valores atuais, portanto, não se pode afirmar categoricamente que ocorrerão modificações no escoamento lateral e na percolação, pois, a variabilidade interanual atualmente observada no excesso de água no solo da região é superior a 10%. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 10e), observam-se valores de excesso de água variando entre 0 e 991 mm/ano. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 10a) com as projeções (Figura 10e), observa-se em média uma redução no excesso de água de aproximadamente 483 mm/ano até 2100. Isto representa uma diminuição de aproximadamente 42%, em média, das águas destinadas aos rios e percolação para os lençóis freáticos. Este valor não é homogêneo em toda área, em Rondônia, no Acre, em Roraima e na parte sudoeste do Amazonas a redução é superior a 45%. Esta configuração tem a capacidade de reduzir drasticamente a vazão dos rios da região e de produzir uma forte diminuição no volume de água dos lençóis freáticos.

[Salati et al. \(2007\)](#) analisaram o número de meses secos por ano, sua distribuição e excessos de água anual para cada modelo considerado no IPCC e períodos analisados, em relação aos dados observados do período de 1961 a 1990 para a Região Amazônica – Cenário

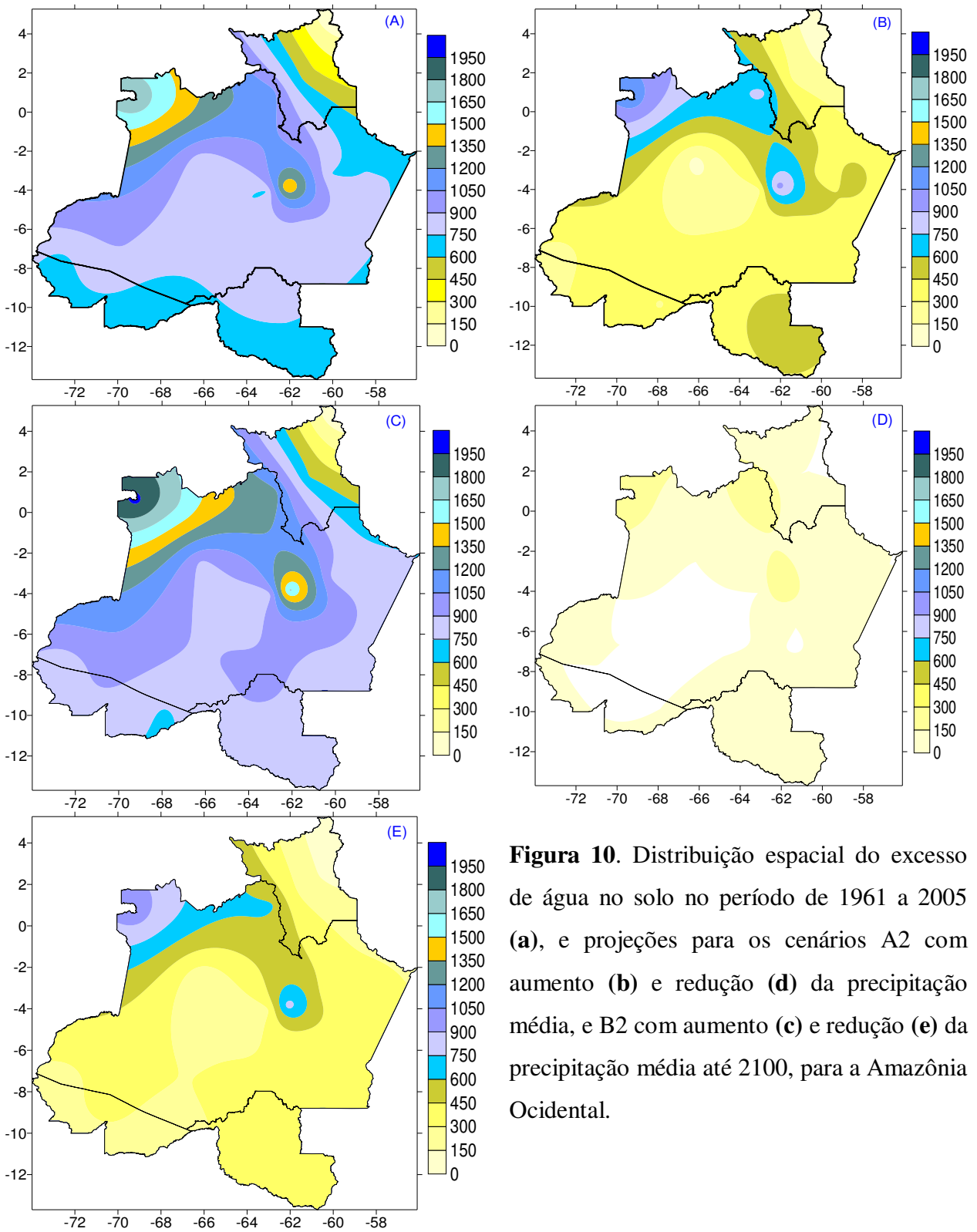


Figura 10. Distribuição espacial do excesso de água no solo no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

A2. Analisando a média dos modelos, não observou nenhuma mudança no número de meses seco, constatou-se uma tendência moderada de diminuição do excesso de água no período de 2011 a 2040 (13%) e mais acentuados nos períodos de 2041 a 2070 e 2071 a 2100, de 26 e 35% respectivamente. Para o Cenário B2, a análise para a média dos modelos não foi observado nenhuma mudança no número de meses secos. Existe uma tendência moderada de diminuição do excesso de água no período de 2011 a 2040 (15%) e mais acentuadas nos períodos de 2041 a 2070 e 2071 a 2100, de 24 e 33% respectivamente.

4.7 Deficiência Hídrica (*DEF*)

Analisando a distribuição espacial da deficiência hídrica (*DEF*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 11a) para a Amazônia Ocidental, foram observados que as localidades com maiores *DEF* foram Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W) 767 mm/ano, Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 388 mm/ano, Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 354 mm/ano, Itacoatiara – AM (3,1°N e 58,4°W) 258 mm/ano e Parintins – AM (2,6°S e 56,7°W) 255 mm/ano. Os menores valores de *DEF* foram observados em Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 0,0 mm/ano, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W) 0,0 mm/ano, Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) 0,1 mm/ano e Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W) 0,1 mm/ano. Observam-se valores variando entre 0 a 200 mm/ano no Sul e Oeste da Amazônia Ocidental. Conclui que a *DEF* apresenta menores valores nas localidades onde há maiores índices pluviométricos da região.

As projeções de deficiência hídrica até 2100 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 11b), mostram valores variando entre 0,2 e 2126 mm/ano. Comparando com os valores observados (Figura 11a), observa-se em média um aumento de aproximadamente 424 mm/ano para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Este adicional é três vezes maior que a média de deficiência hídrica da atmosfera da Região, que é de 140 mm/ano. Isto mostra que para o cenário A2, mesmo com aumento na precipitação, a atmosfera sofrerá um grande secamento com uma forte queda da umidade relativa. As projeções (Figura 11d) indicam que Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) e S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) apresentam os menores valores de deficiência hídrica, 0,2 e 12 mm/ano, respectivamente. Enquanto os maiores são observados em Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 2127 mm/ano,

Caracarái – RR (1,8°N e 61,1°W) 1316 mm/ano, Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 1214 mm/ano e Parintins – AM (2,6°S e 56,7°W) 1072 mm/ano. Analisando os resultados apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 11d), observa-se valores de deficiência hídrica variando entre 132 mm/ano a 2437 mm/ano. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 11a) com as projeções (Figura 11d), observa-se em média um aumento na deficiência hídrica de aproximadamente 740,0 mm/ano até 2100. Este valor é superior em cinco vezes a deficiência hídrica atual da atmosfera da Amazônia Ocidental, ou seja, para um cenário A2 com redução de 15% da precipitação a atmosfera da Região tornar-se-á extremamente seca.

As projeções de deficiência hídrica até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15 % (Figura 11c), mostram valores variando entre 0 e 1021 mm/ano. As projeções indicam que Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) apresenta a maior deficiência hídrica do que todas as demais localidades da Amazônia Ocidental, com valor de 1021 mm/ano. As localidades que apresentam menor deficiência hídrica é Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) e S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) com 0,0 mm/ano, Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) 0,4 mm/ano e Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W) 2,4 mm/ano. Comparando os resultados das projeções do cenário B2 com aumento de precipitação (Figura 11c), com os valores observados (Figura 11a), verifica-se em média um aumento de aproximadamente 50 mm/ano para toda a Amazônia Ocidental até 2100, ou seja, mesmo em um cenário bastante otimista a atmosfera da Região apresentará um aumento da deficiência hídrica, média espacial e anual, da ordem de 30%. Ressalta-se que este valor (30%) é inferior a variabilidade interanual atualmente observada na deficiência hídrica da região Amazônia Ocidental. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 11e), observam-se valores de deficiência hídrica variando entre 0 e 1186 mm/ano. Quando comparados com os resultados do cenário atual (Figura 11a), observa-se em média um aumento na deficiência hídrica de aproximadamente 160 mm/ano até 2100. Este valor é superior a deficiência hídrica média anual que é de 140 mm/ano. Isto mostra que para qualquer cenário do IPCC há uma forte tendência de diminuição da umidade relativa da atmosfera da Amazônia.

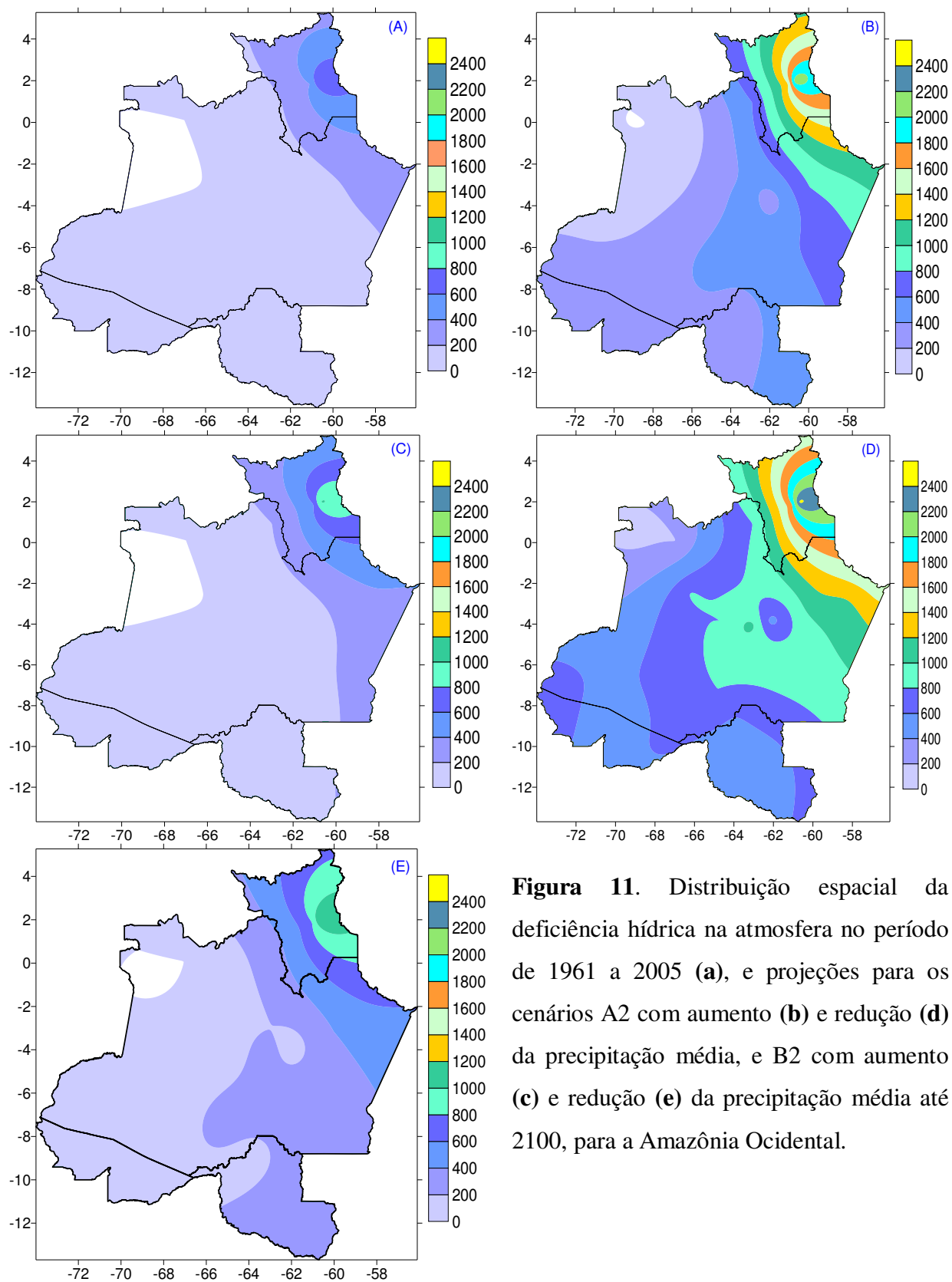


Figura 11. Distribuição espacial da deficiência hídrica na atmosfera no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

Estudos realizados por [Salati et al. \(2007\)](#) para a Amazônia Legal, mostram os seguintes valores médios de *DEF* para a Amazônia Legal: 118 mm/ano (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 212,4 mm/ano (2011 a 2040), 293,5 mm/ano (2041 a 2070) e 393,6 mm/ano (2071 a 2100), e cenário B2, 206,6 mm/ano (2011 a 2040), 268 mm/ano (2041 a 2070) e 330,9 mm/ano (2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se aumentos.

4.8 Armazenamento d'Água (*ARM*)

Analisando a distribuição espacial do armazenamento de água (*ARM*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 12a) para a Amazônia Ocidental, foram observados que as localidades com maiores *ARM* foram Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W), S.G. da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W) e Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) todos com máxima capacidade de campo o ano inteiro, que é de 150 mm, Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W), Tefé – AM (3,8°S e 64,7°W), Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) e Eirunepé – AM (6,7°S e 69,9°W) apresentaram um valor médio anual de armazenamento de água no solo de 148 mm, 140 mm, 138 mm e 134 mm, respectivamente. As localidades com menores *ARM* foram Uiramutã – RR (5°N e 60°W) e Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W) com valor médio anual de 43 mm e 63 mm, respectivamente. Verifica-se que as localidades com maior armazenamento de água no solo estão no oeste e noroeste do estado do Amazonas, enquanto, as de menores estão no norte de Roraima. Isto já era esperado, pois, são as áreas de maiores e menores precipitação, respectivamente, uma vez que o solo foi tomado com a mesma capacidade de campo (CAD) 150 mm. Para a região como um todo foi observado um armazenamento médio de 116 mm, que representa 77% da capacidade de campo.

As projeções de armazenamento de água até 2100 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 12b), mostram valores variando entre 0 e 149 mm. As projeções (Figura 12b) indicam maiores valores de armazenamento de água médio anual para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 149 mm, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) 140 mm, Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W) 102 mm, Codajás- AM (3,8°S e 62,1°W) 97 mm, Tarauacá – AC (8,2°S e 70,8°W) 92 mm, Eirunepé – AM (6,7°S e 69,9°W) 85 mm e Barcelos – AM (1°N e 62,9°W) 84 mm. Os menores valores de *ARM* médio anual foram

observados em Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 0,0 mm, Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 46 mm e Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 52 mm. Comparando os resultados das projeções (Figura 12b), com os valores observados (Figura 12a), observa-se em média uma redução de aproximadamente 31% para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Para o cenário A2 com aumento de 15% obtém-se uma diminuição de 32% da água armazenada no solo, ou seja, mesmo aumentando a precipitação 32% da água do solo evapora ou escoando fazendo com que o solo fique mais seco. Analisando os resultados apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 12d), observa-se valores de armazenamento de água no solo médio anual variando entre 0 e 96 mm. As projeções indicam menores valores de armazenamento de água para Uiramutã – RR (5°N e 60°W), Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) e Tefé – AM (3,8°S e 64,7°W). Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 12a) com as projeções (Figura 12d), observa-se em média uma redução no armazenamento de água de aproximadamente 70% até 2100. Este é o cenário que ocorrerá a maior redução de água no solo, em Iauaretê e Barcelos a diminuição é de 35% e 40%, respectivamente, nas demais localidades é superior a 50%, em média, a água armazenada no solo é apenas 30% da atual. Sob estas condições o solo da Região tornar-se-ia muito seco.

As projeções de armazenamento de água até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15 % (Figura 12c), mostram valores variando entre 40 mm e 150 mm. As projeções indicam maiores valores de *ARM* para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W), S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W), Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) e Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W), que estão localizadas no oeste e noroeste do estado do Amazonas. Comparando os resultados das projeções (Figura 12c), com os valores observados (Figura 12a), observa-se em média uma redução do armazenamento médio anual de aproximadamente 4 mm para toda a Amazônia Ocidental até 2100, que representa uma queda de apenas 3%. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 12e), observam-se valores de armazenamento de água variando entre 1 e 150 mm. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 12a) com as projeções (Figura 12e), observa-se em média uma redução no armazenamento de água de aproximadamente 25 mm até 2100, ou seja, uma diminuição de 22%. Em todos os cenários analisados verificou-se uma redução da água armazenada no solo de 3% a 70%, portanto, mesmo no cenário mais otimista ocorrerá um secamento do solo da Amazônia Ocidental.

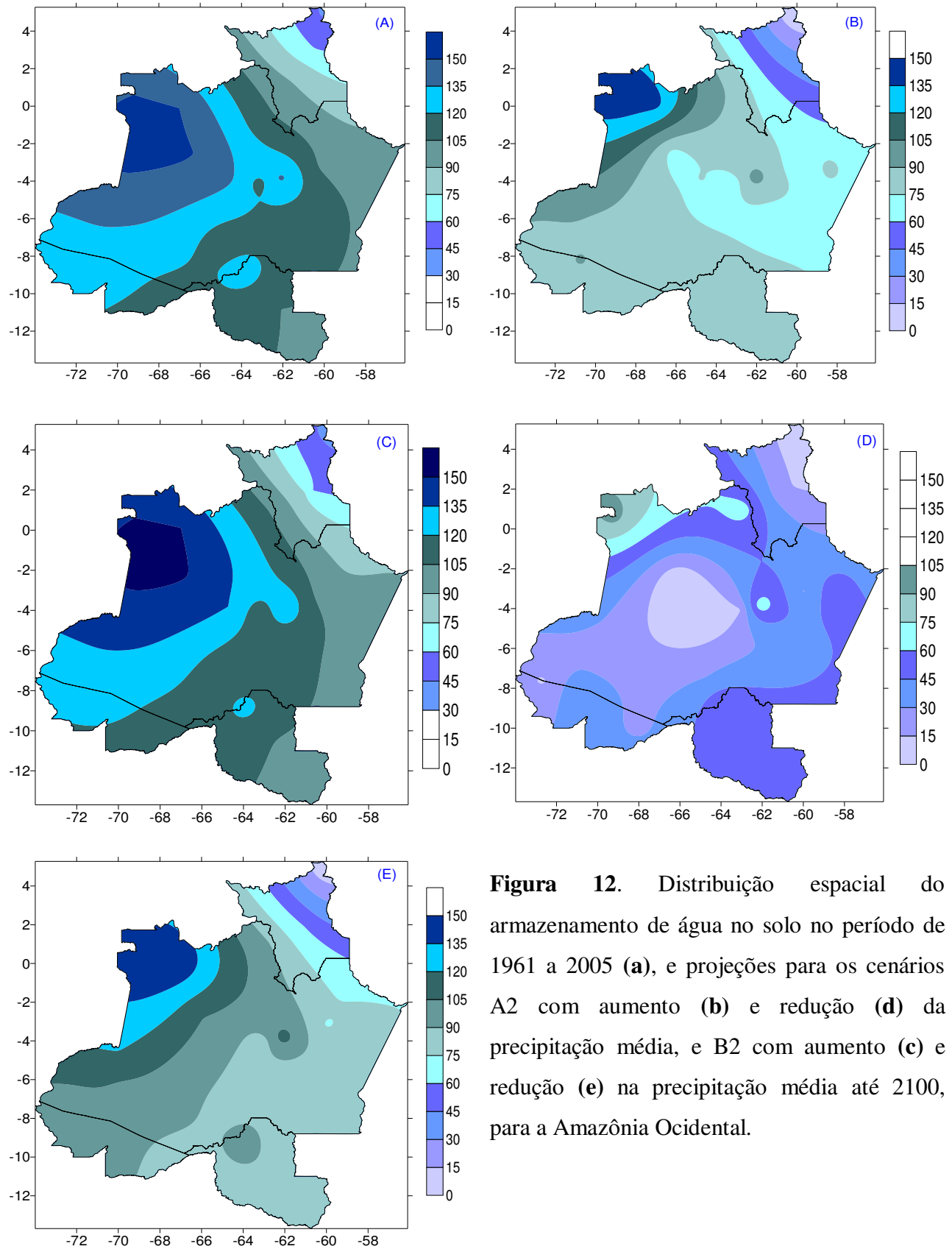


Figura 12. Distribuição espacial do armazenamento de água no solo no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) na precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

4.9 Índice de Aridez (*Ia*)

Analisando a distribuição espacial do índice de aridez (*Ia*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 13a) para a Amazônia Ocidental, foram observados valores variando entre 0 e 38. As localidades com maiores *Ia* foram Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 38, Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 24, Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 21, Itacoatiara – AM (3,1°S e 58,4°W) 16 e Parintins – AM (2,6°S e 56,7°W) 14, essas localidades apresentaram grande, moderada e pequena deficiência d'água. As localidades que apresentaram menores *Ia* foram Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W), S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W), Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W), Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W), Tefé – AM (3,8°S e 64,7°W) e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) com deficiência d'água pequena ou nula.

As projeções do *Ia* até 2100 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 13b), mostram valores variando entre 0 e 55. As projeções (Figura 13b) indicam maiores valores de *Ia* para Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 55, Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 49, Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 40, Itacoatiara – AM (3,1°S e 58,4°W) 32 e Parintins – AM (2,6°S e 56,7°W) 31, com grande e moderada deficiência d'água. As localidades que apresentaram menores *Ia* foram Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) e S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W), Benjamin Constant – AM (4,4°S e 70°W) e Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) com deficiência d'água pequena ou nula. Analisando os resultados apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 13d), observa-se valores de *Ia* variando entre 5 e 63. As projeções indicam menores valores de *Ia* para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) e S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) com deficiência d'água pequena ou nula.

As projeções de *Ia* até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 13c), mostram valores variando entre 0 e 41. As projeções indicam maiores valores de *Ia* para Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 41, Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 26 e Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 25. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 13e), observam-se valores de *Ia* variando entre 0 e 48, que representa grande, moderada e pequena ou nula deficiência d'água.

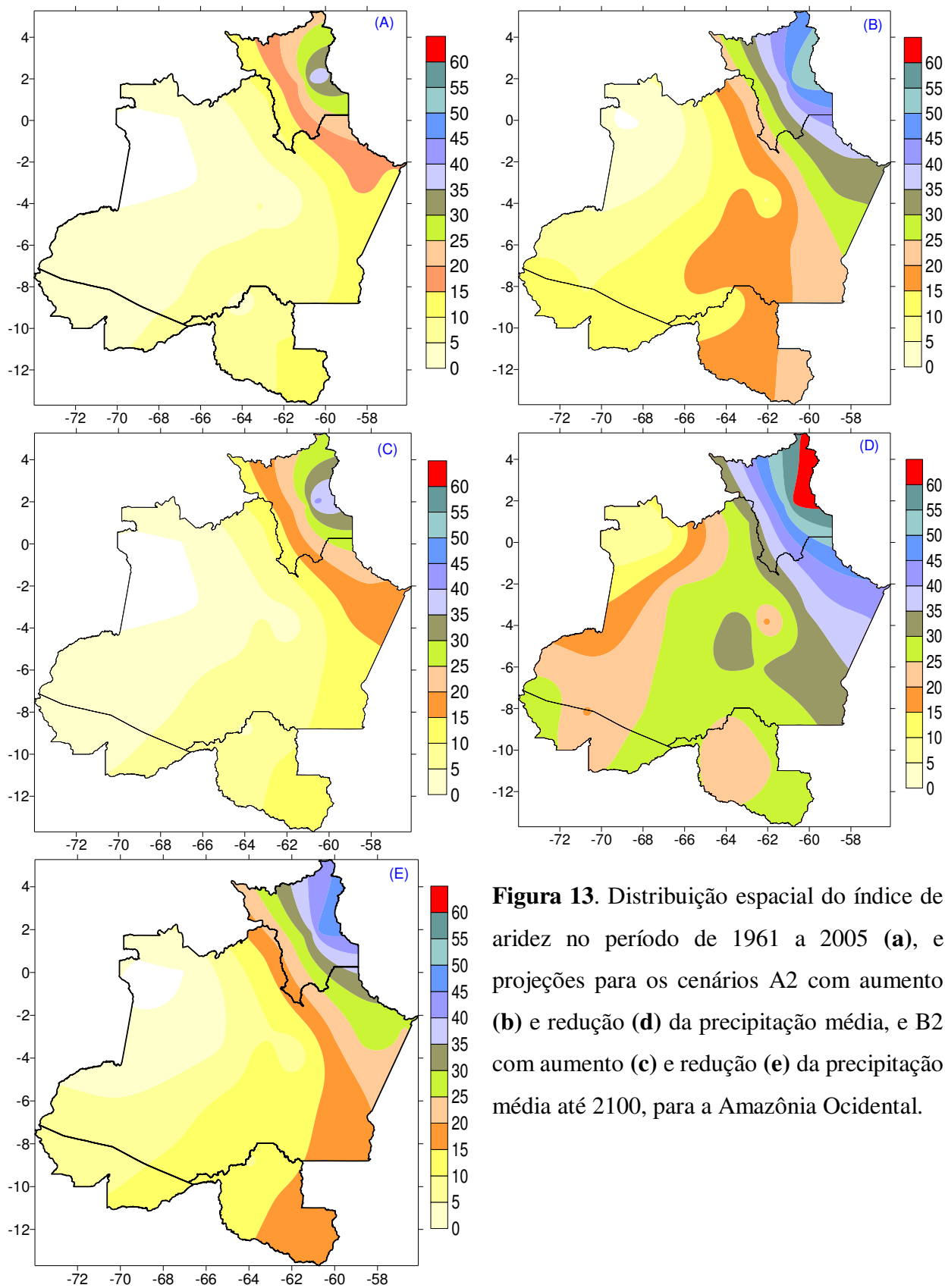


Figura 13. Distribuição espacial do índice de aridez no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

Em todos os cenários analisados verifica-se um aumento da aridez da atmosfera, entretanto, esta elevação é relativamente baixa, pois, em média o maior valor de *Ia* é de 30, que é inferior a quase todas as cidades do Nordeste do Brasil. Entretanto, foram observadas em localidades isoladas, como algumas cidades de Roráima, com valores superiores a 50, Parintins no Amazonas superior a 40, que são valores que representam um grau de aridez atmosférico relativamente elevado e que pode facilitar a propagação de incêndios florestais.

Salati *et al.* (2007) encontrou os seguintes valores médios de *Ia* para a Amazônia Legal: 7,8 % (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 12,5% (ano 2011 a 2040), 15,9% (ano 2041 a 2070) e 19,7% (ano 2071 a 2100), e cenário B2, 12,1% (ano 2011 a 2040), 14,9% (ano 2041 a 2070) e 330, 17,4% (ano 2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se aumentos.

4.10 Índice de Umidade (*Iu*)

Analisando a distribuição espacial do índice de umidade (*Iu*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 14a) para a Amazônia Ocidental, foram observados valores variando entre 22 a 114. As localidades com maiores *Iu* foram Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 114, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W) e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 91. As localidades com menores *Iu* foram Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 0 e Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W) 22.

As projeções do índice de umidade até 2100 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 14b), mostram valores variando entre 0 e 42. As projeções (Figura 14b) indicam maiores valores de *Iu* para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 42, Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 33, Barcelos – AM (1°N e 62,9°W) 28, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) 27 e Ouro Preto D'Oeste – RO (10,7°S e 62,2°W) 23. Os menores valores de *Iu* foram observados em Uiramutã – RR (5°N e 60°W) 0, Fonte Boa – AM (2,5°S e 66,2°W) 4, Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) 5 e Caracaraí – RR (1,8°N e 61,1°W) 6. Comparando os resultados das projeções (Figura 14b), com os valores observados (Figura 14a), observa-se, em média, uma redução no *Iu* para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Analisando os resultados

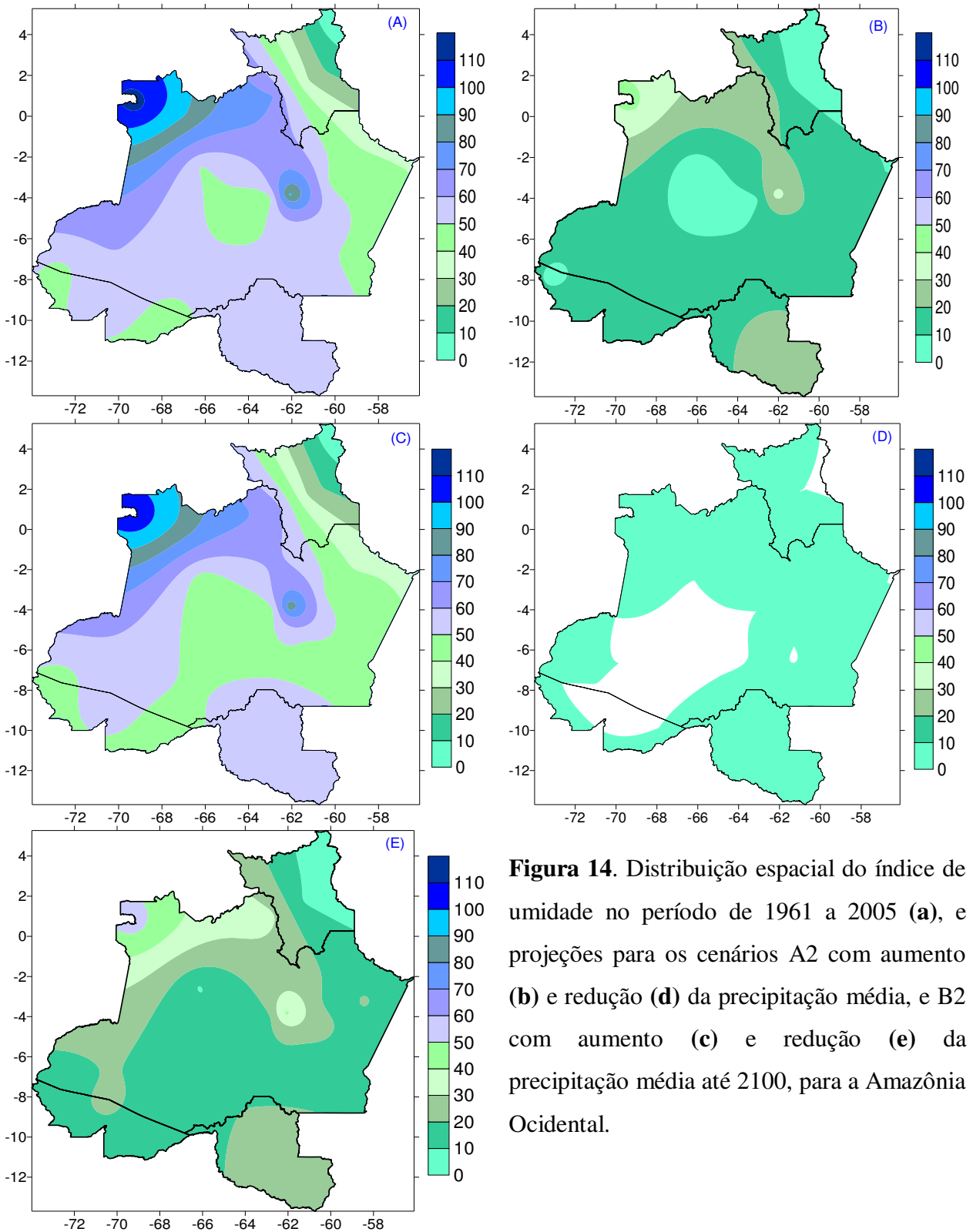


Figura 14. Distribuição espacial do índice de umidade no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 14d), observa-se valores de *Iu* variando entre 0 e 10. As projeções indicam maiores valores de *Iu* para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 10, Barcelos – AM (1°N e 62,9°W) 9, Itacoatiara – AM (3,1°S e 58,4°W) 4 e Ouro Preto D'Oeste – RO (10,7°S e 62,2°W) 2, as demais localidades apresentaram valor zero. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 14a) com as projeções (Figura 14d), observa-se em média uma redução no índice de umidade até 2100.

As projeções do *Iu* até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento e redução da precipitação em 15% (Figuras 14c e 14e), quando comparados com o cenário atual (Figura 14a), indicam redução no índice de umidade.

Salati *et al.* (2007) encontrou os seguintes valores médios de *Iu* para a Amazônia Legal: 47,4% (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 36,4% (ano 2011 a 2040), 28,9% (ano 2041 a 2070) e 23,4% (ano 2071 a 2100), e cenário B2, 36,1% (ano 2011 a 2040), 30,5% (ano 2041 a 2070) e 25,5% (ano 2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se aumentos.

4.11 Índice de Umidade Efetiva (*IM*)

O índice efetivo de umidade é um dos principais parâmetros na classificação do tipo de clima de uma região, tem sido usado também como indicador de áreas sujeitas aos processos de desertificação, conforme definição das Nações Unidas. Na região Amazônica o *IM* pode ser utilizado para identificar as localidades menos úmidas, que deve ter uma atenção especial quanto ao monitoramento de prática agrícola tradicional, no preparo da terra com a utilização do fogo, prática que é considerada mais barata no preparo do terreno para o cultivo.

Com o objetivo de evitar grandes incêndios, semelhantes ao que ocorreu em 1998 no Estado de Roraima, o qual não houve controle e causou danos ambientais, é necessário evitar a utilização do fogo como prática de preparo do terreno pelos colonos e índios da região. Nessa região, em sua parte setentrional, registra-se um grande período de deficiência hídrica, com

duração de oito meses durante seu ciclo hidrológico, oferecendo condições ideais para a propagação de incêndios, devido à alta temperatura ambiente e baixa umidade relativa do ar, combustível seco e pré-aquecido.

Analisando a distribuição espacial do índice efetivo de umidade (*IM*) para o período de 1961 a 2005 (Figura 15a) para a Amazônia Ocidental, foram observados que as localidades com maiores *IM* foram Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 114, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°S e 67°W) e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 91, os quais representam dois tipos climáticos, superúmido e úmido. As localidades como Uiramutã – RR (5°N e 60°W) e Boa Vista – RR (2,8°N e 60,7°W) apresentaram um tipo climático subúmido seco.

As projeções de *IM* até 2100 para o cenário A2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15% (Figura 15b), mostram valores variando entre -29 e 42. As projeções (Figura 15b) indicam maiores valores de *IM* para Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 42, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) 27 e Codajás - AM (3,8°S e 62,1°W) 28, estes números apresentam um tipo climático úmido, portanto, estas localidades num cenário futuro mudará do clima superúmido para úmido. Os menores valores de *IM* foram observados em Uiramutã – RR (5°N e 60°W) e Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) que tenderá de um clima sub-úmido para semi-árido. Caracaraí (RR) e as localidades como Parintins, Manaus, Itacoatiara, Coari e Fonte Boa no Estado do Amazonas atualmente apresentam clima úmido e num cenário de mudanças climáticas tende a clima subúmido seco.

Comparando os resultados das projeções (Figura 15b), com os valores atuais (Figura 15a), observa-se em média uma redução no *IM* para toda a Amazônia Ocidental até 2100. Analisando os resultados apresentados no cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15 % até 2100 (Figura 15d), observam-se valores de *IM* variando entre -37 e 7. As projeções indicam menores valores de *IM* para Uiramutã – RR (5°N e 60°W) e Boa Vista – RR (2°N e 60,7°W) com um tipo climático semi-árido, com exceção de Iauaretê – AM (0,6°N e 69,7°W) que apresenta um tipo climático sub-úmido, as demais localidades apresentam o tipo climático sub-úmido seco, ou seja, muitas localidades passariam de clima super-úmido ou úmido para sub-úmido seco. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 15a)

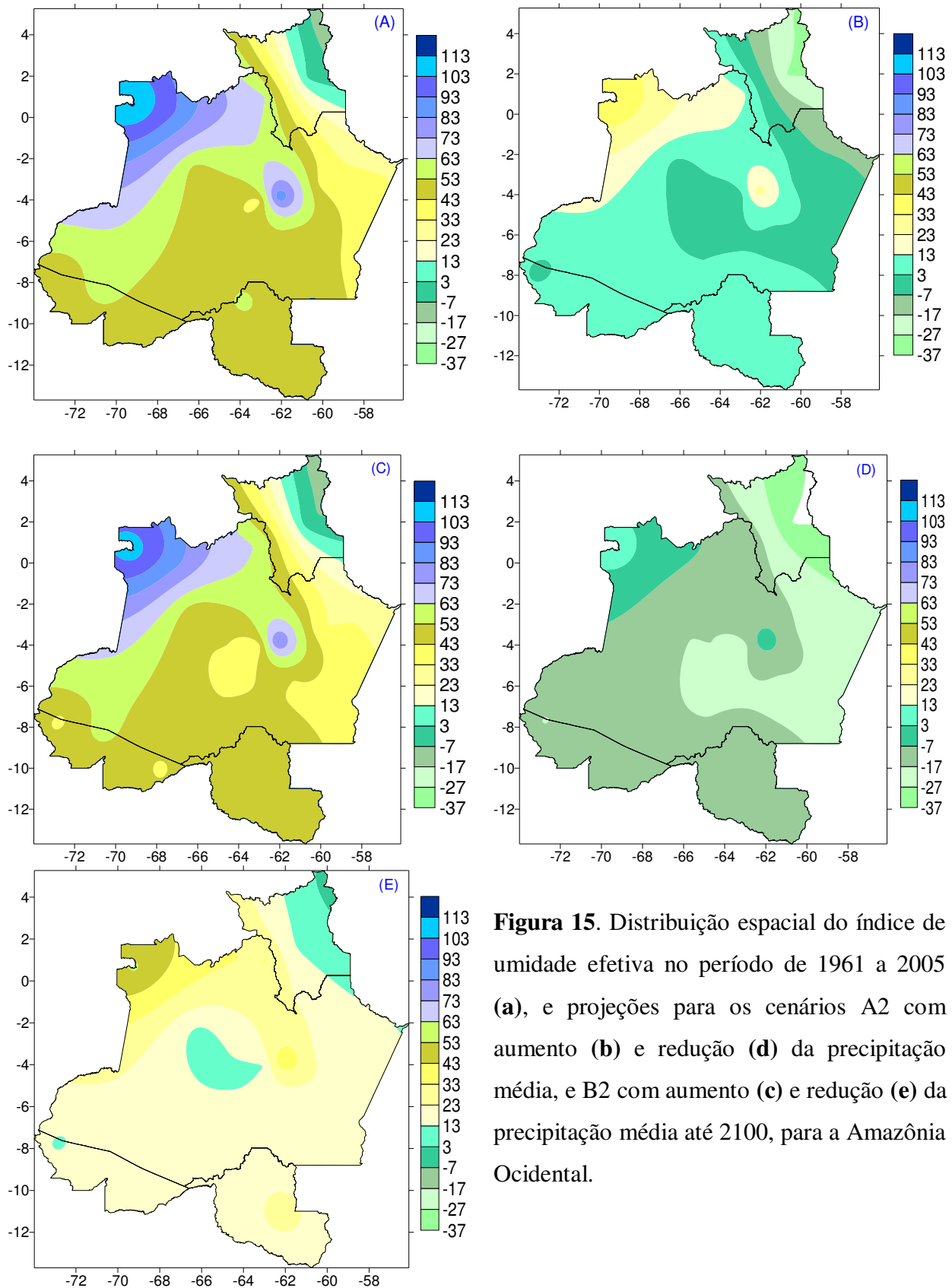


Figura 15. Distribuição espacial do índice de umidade efetiva no período de 1961 a 2005 (a), e projeções para os cenários A2 com aumento (b) e redução (d) da precipitação média, e B2 com aumento (c) e redução (e) da precipitação média até 2100, para a Amazônia Ocidental.

com as projeções (Figura 15d), observa-se em média uma redução de *IM* até 2100 e um modificação do clima para condições mais seca em toda Amazônia Ocidental.

As projeções de *IM* até 2100 para o cenário B2 do IPCC, com aumento da precipitação em 15 % (Figura 15c), mostram valores variando entre -15 e 108. Maiores valores de *IM* encontram-se em Iauaretê – AM (0,6°N e 69,2°W) 108, S.G. da Cachoeira – AM (0,1°N e 67°W) e Codajás – AM (3,8°S e 62,1°W) 85, que representa os tipos climáticos super-úmido e úmido, respectivamente. Os menores valores foram observados em Uiramutã e Boa Vista em Roraima, com o tipo climático sub-úmido seco. Comparando os resultados das projeções (Figura 15c), com os valores observados (Figura 15a), observa-se em média uma redução no *IM* para toda a Amazônia Ocidental até 2100, no entanto a configuração espacial é semelhante. Ressalta-se que o Cenário B2 com aumento da precipitação regional é o cenário mais otimista possível, mesmo assim verifica-se uma diminuição de *IM*, porém, sem uma modificação na classificação do clima. Analisando os resultados apresentados no cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100 (Figura 15e), observam-se valores de *IM* variando entre -27 e 54. Quando comparados os resultados do cenário atual (Figura 15a) com as projeções (Figura 15e), observa-se em média uma redução no *IM*, até 2100, com modificação do clima para condições mais seca. Estes resultados colaboram com Nobre *et al.* (1991) que descreveram possíveis processos savanização da Região Amazonas.

As análises para as projeções dos cenários apresentados nesta seção mostram uma tendência de clima mais seco que o atual na Amazônia Ocidental. Entretanto, o leitor ainda pode perguntar se os valores mostrados estão dentro da variabilidade interanual do clima Amazônico? A resposta é que a maior parte das projeções mostradas apresenta valores superiores aos da variabilidade interanual. A propósito, os Fenômenos *El Niño*, associados com condições mais seca, e *La Niña*, associada com condições mais úmidas, são os eventos que produzem grande flutuação do clima na Amazônia Brasileira (Nobre e Shukla, 1996, Uvo *et al.* 1998, Ronchail *et al.*, 2002). Portanto, é salutar analisar os impactos produzidos no clima da Amazônia Ocidental de um evento de *La Niña* e um de *El Niño*.

Estudos realizados por [Salati et al. \(2007\)](#) para a Amazônia Legal, mostram os seguintes valores médios de IM para a Amazônia Legal: 42,8% (dados observados 1961 a 1990) e média dos modelos (GFDL e HadCM3) para o cenário A2, 28,9% (ano 2011 a 2040), 19,4% (ano 2041 a 2070) e 11,5% (ano 2071 a 2100), e cenário B2, 28,8% (ano 2011 a 2040), 21,6% (ano 2041 a 2070) e 15% (ano 2071 a 2100), respectivamente. Em ambos os períodos analisados das projeções, quando comparados com a média climatológica, verificaram-se reduções.

4.12 Impactos do fenômeno *La Niña* 1988/89 e *El Niño* 1997/98

O aquecimento do Pacífico tropical leste durante eventos *El Niño* suprime a precipitação da estação chuvosa através da modificação da circulação de Walker (leste-oeste) e via os extratropicais no Hemisfério Norte ([Nobre & Shukla, 1996](#)). Estudos como [Ropelewski e Halpert \(1989\)](#), [Marengo \(2004\)](#), [Uvo et al. \(1998\)](#), [Ronchail et al. \(2002\)](#) e muitos outros identificaram que anomalias negativas de precipitação no centro, norte e leste da Amazônia estão em geral associadas com eventos de *El Niño* – Oscilação Sul (Enso) e anomalias de TSM no Atlântico tropical. Esses estudos ressaltaram que algumas das maiores secas na Amazônia foram devido à ocorrência de intensos eventos de *El Niño* e um forte aquecimento das águas superficiais do Atlântico tropical norte durante o verão-outono no Hemisfério Norte ([Marengo et al., 2007b](#)).

Também ocorre o fenômeno contrário ao *El Niño*, isto é, o esfriamento anormal do Pacífico Oeste e resfriamento das águas superficiais na parte central do Pacífico, eventualmente atingindo a costa do Peru. Este fenômeno é denominado *La Niña* e ocorre com menor frequência que o *El Niño*. Durante os episódios de *La Niña*, os ventos alísios no Pacífico são mais intensos que a média climatológica ([Marengo, 2007b,c](#)).

Comparando a análise realizada com os dados de precipitação da Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89 (Figura 16a; Tabela 9(Apêndice F)) com a média climatológica de 1961 a 2005 (Tabela 10 (Apêndice F)), podemos observar um aumento médio de 270 mm na precipitação, que representa uma elevação de aproximadamente 11%.

Por outro lado, quando analisamos os dados de temperatura média do ar, observamos uma redução de 1°C (Figuras 16 c; Tabelas 9 e 10 (Apêndice F), que é um decréscimo em torno de 3%. Figura 16c, onde se vê branco (próxima ao Acre), foi devido a falha do método de kriging ao interpolar os resultados. Este aumento na precipitação e diminuição da temperatura deve produzir uma redução na evapotranspiração e conseqüentemente um aumento nas vazões dos rios.

As análises realizadas com os dados de precipitação da Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98 (Figura 16b; Tabela 11 (Apêndice G)), comparando com a média climatológica de 1961 a 2005 (Tabela 12 (Apêndice H)), observou-se uma redução média na precipitação de 239 mm (10%) . Observou um aumento de 1°C quando comparado os dois períodos analisados (Figura 16d; Tabelas 11 e 12 (Apêndice G e H)), que representa uma elevação de 3% na temperatura do ar. Isto leva a um aumento da evapotranspiração, diminuição do conteúdo de água no solo, redução das vazões dos rios e, conseqüentemente, aumento do risco de incêndios florestais na Amazônia Ocidental.

Durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98 na região Norte, a estiagem ocasionou uma redução do nível dos rios em cerca de 9 m abaixo do normal, ocasionando racionamento de energia em alguns pontos da região. Grandes extensões da Amazônia receberam chuvas abaixo da média desde setembro de 1997. Esta estiagem teve repercussões adversas na geração de energia elétrica (redução) no nível de reservatórios e aumento na demanda da energia termelétrica, e no aumento do número de queimadas durante o período seco (Marengo, 2007b).

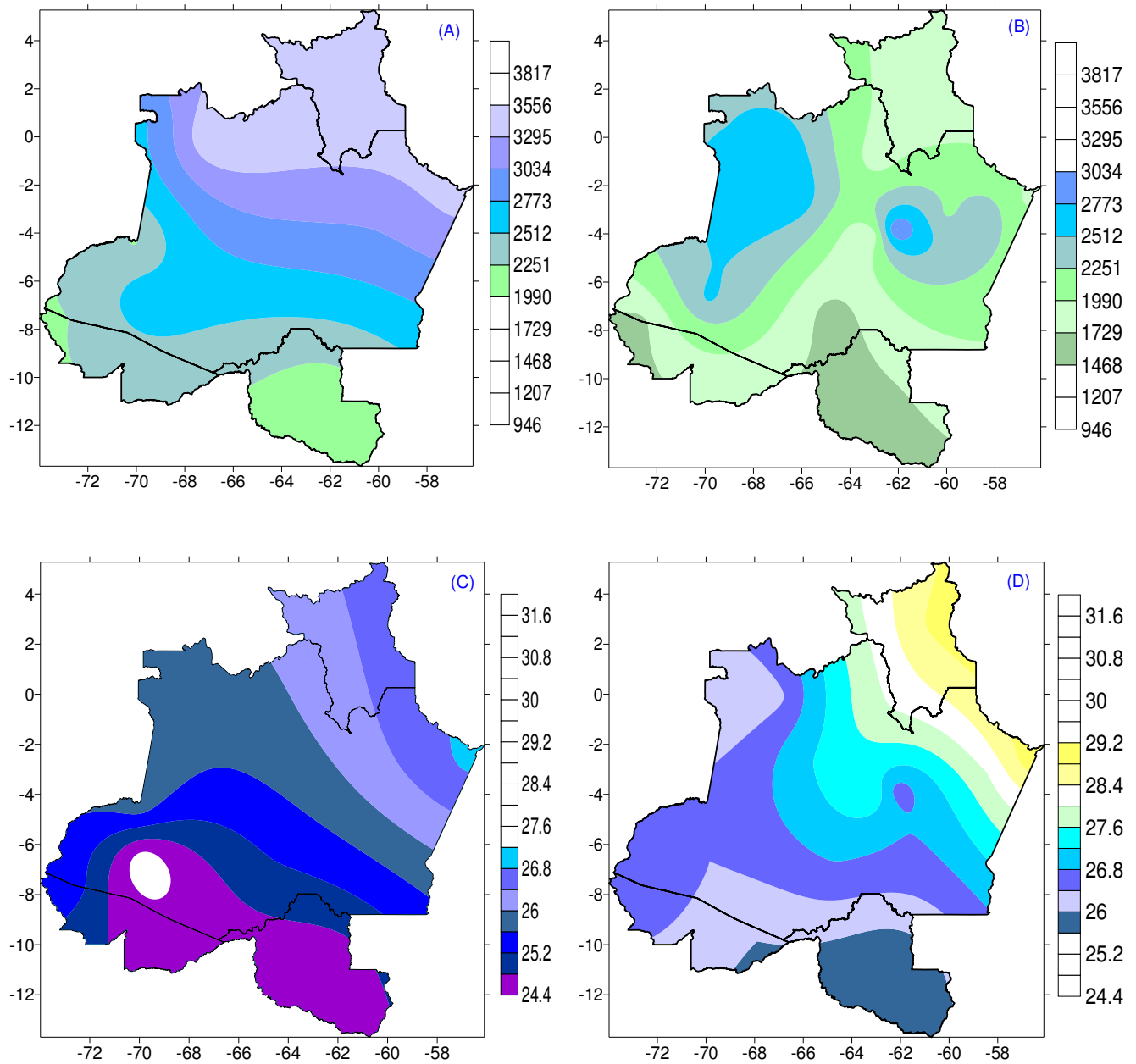


Figura 16. Distribuição espacial da precipitação média anual e temperatura do ar, durante a ocorrência dos fenômenos *La Niña* 1988/89 (a, c) e *El Niño* 1997/98 (b, d), respectivamente, para a Amazônia Ocidental.

A forte estiagem durante o *El Niño* 1997/98 no Norte da Amazônia e em Roraima foi muito mais intensa do que a de 1982/83 (Nepstad *et al.* 1999). Devido principalmente à baixa precipitação e à secura do ar, as queimadas principalmente agrícolas, levaram ao acúmulo de

fumaça, aumentando significativamente a incidência de infecções respiratórias (Marengo, 2007b). Algo similar aconteceu em 1926, quando devido ao *El Niño*, aconteceu, que pode ter sido, a seca mais intensa do século XX na Amazônia e nos Llanos da Venezuela (Williams *et al.*, 2005; Marengo *et al.* 2007c). Secas e incêndios foram reportados em 1925-26 (Meggers, 1994) causando fogos na floresta e a morte de muitos dos seringueiros.

A análise da evapotranspiração potencial (*ETP*) e real (*ETR*) durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89 (Figuras 17a e b; Tabela 9 (Apêndice F)), quando comparados com a média climatológica de 1961 a 2005 (Tabela 10 (Apêndice F)), observaram-se reduções na *ETP* (5%) e *ETR* (5,7%). Analisando a distribuição espacial do excesso de água (Figura 17c; Tabela 9 (Apêndice F)), com a média do *EXC* atual (Tabela 10 (Apêndice F)), observou-se em média um aumento de 37%, com exceção das localidades de Iauaretê e Benjamin Constant no Amazonas que apresentou reduções no excesso de água. As localidades de Parintins, Manaus e Lábrea no Amazonas apresentaram reduções na deficiência hídrica (*DEF*), quando comparado com a média climatológica (Tabela 10 (Apêndice F)), as localidades de Iauaretê e S.G. da Cachoeira não apresentou variação entre os períodos analisados, já as localidades de Rio Branco, Ouro Preto d'Oeste, Benjamin Constant, Eirunepé e Cruzeiro do Sul apresentaram aumento de *DEF* (Figura 17d), um *DEF* em média de 8,4% para toda região. As análises mostram que as localidades de Parintins, Manaus, Lábrea e Cruzeiro do Sul (Figura 17e; Tabela 9 (Apêndice F)), quando comparados com a média do *ARM* atual (Tabela 10 (Apêndice F)), foram observados aumento, as localidades de Iauaretê e S.G. da Cachoeira não apresentou variação, já as localidades de Rio Branco, Ouro Preto d'Oeste, Benjamin Constant e Eirunepé apresentaram reduções, em média apresentou um aumento no *ARM* de 0,8% para toda a Amazônia Ocidental .

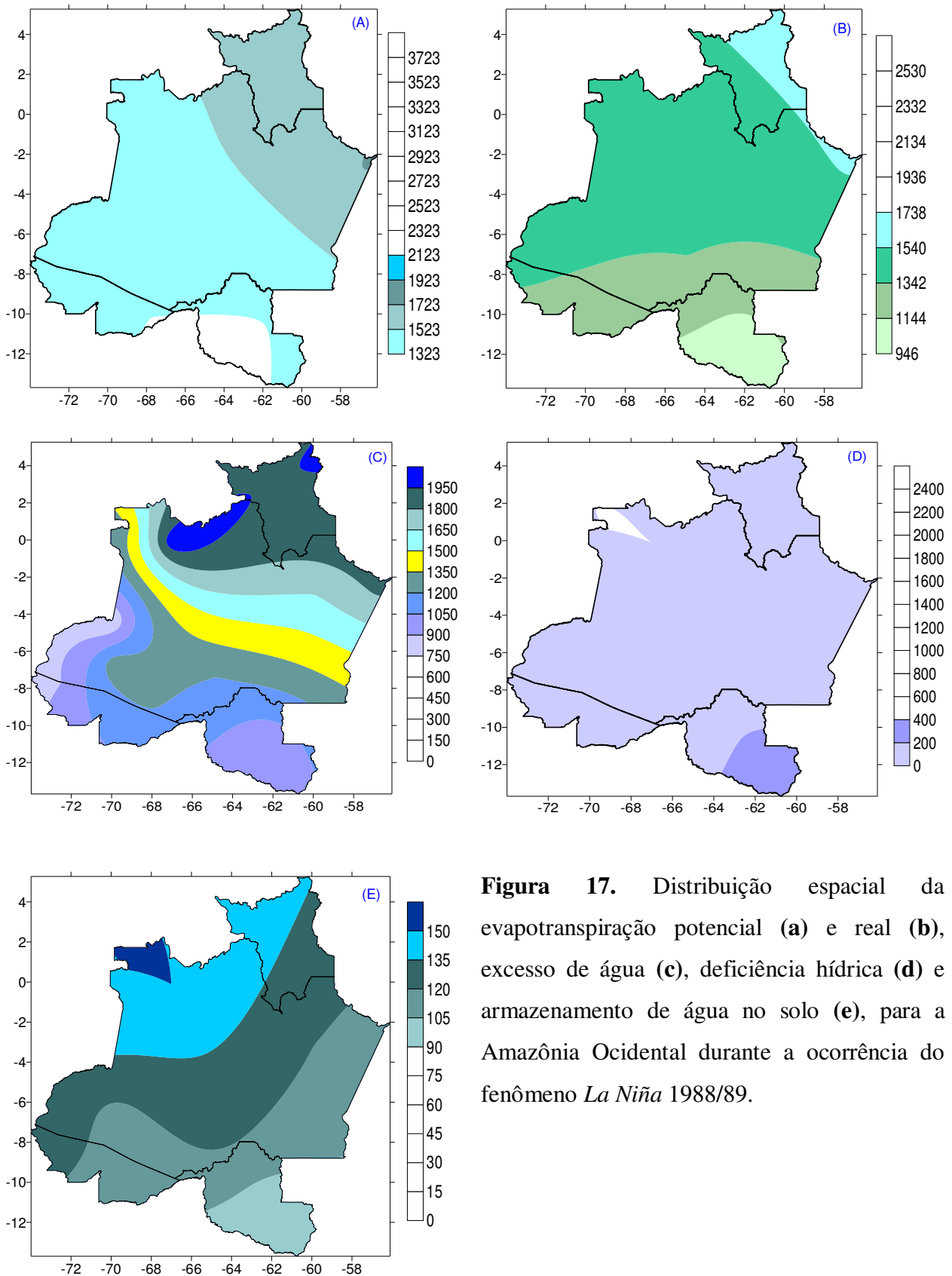


Figura 17. Distribuição espacial da evapotranspiração potencial (a) e real (b), excesso de água (c), deficiência hídrica (d) e armazenamento de água no solo (e), para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89.

As análises dos índices de aridez (Figura 18a), umidade (Figura 18b) e umidade efetiva (Figura 18c) durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89, quando comparados com a média dos valores atuais (Tabela 10 (Apêndice F)), em média foram observados aumento nos índices, Ia (1%), Iu (27%) e IM (40%). Por outro lado, as localidades de Parintins, Manaus e Lábrea apresentaram aumento, no entanto, esse aumento quando comparados com valores médios de 1961-2005 é redução no índice de aridez, Iauaretê e Benjamin Constant redução no índice de umidade e umidade efetiva.

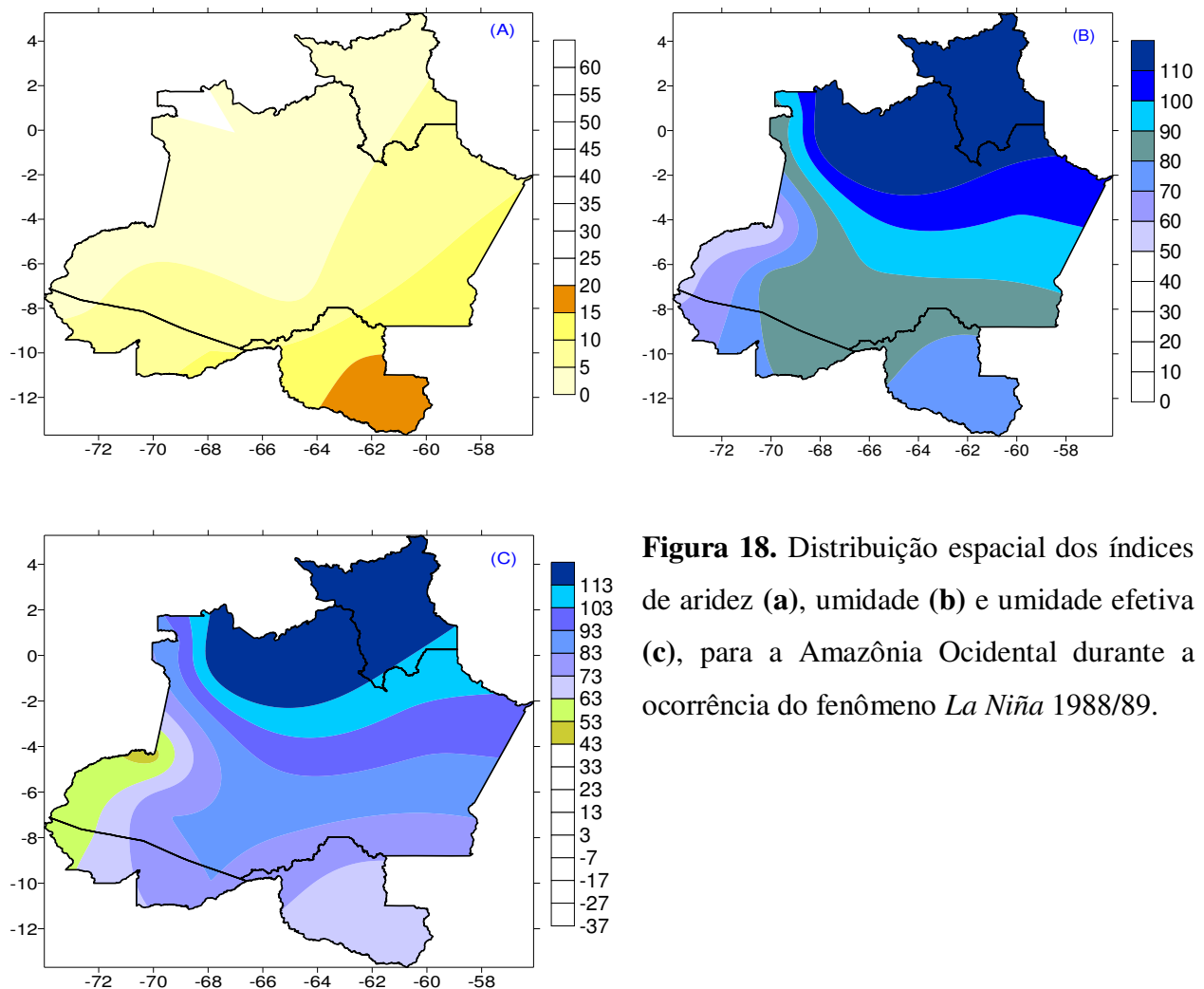


Figura 18. Distribuição espacial dos índices de aridez (a), umidade (b) e umidade efetiva (c), para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *La Niña* 1988/89.

As análises de evapotranspiração potencial (*ETP*) e real (*ETR*) durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98 (Figuras 19a e b), quando comparados com a média dos valores atuais (Tabela 12 (Apêndice H)),

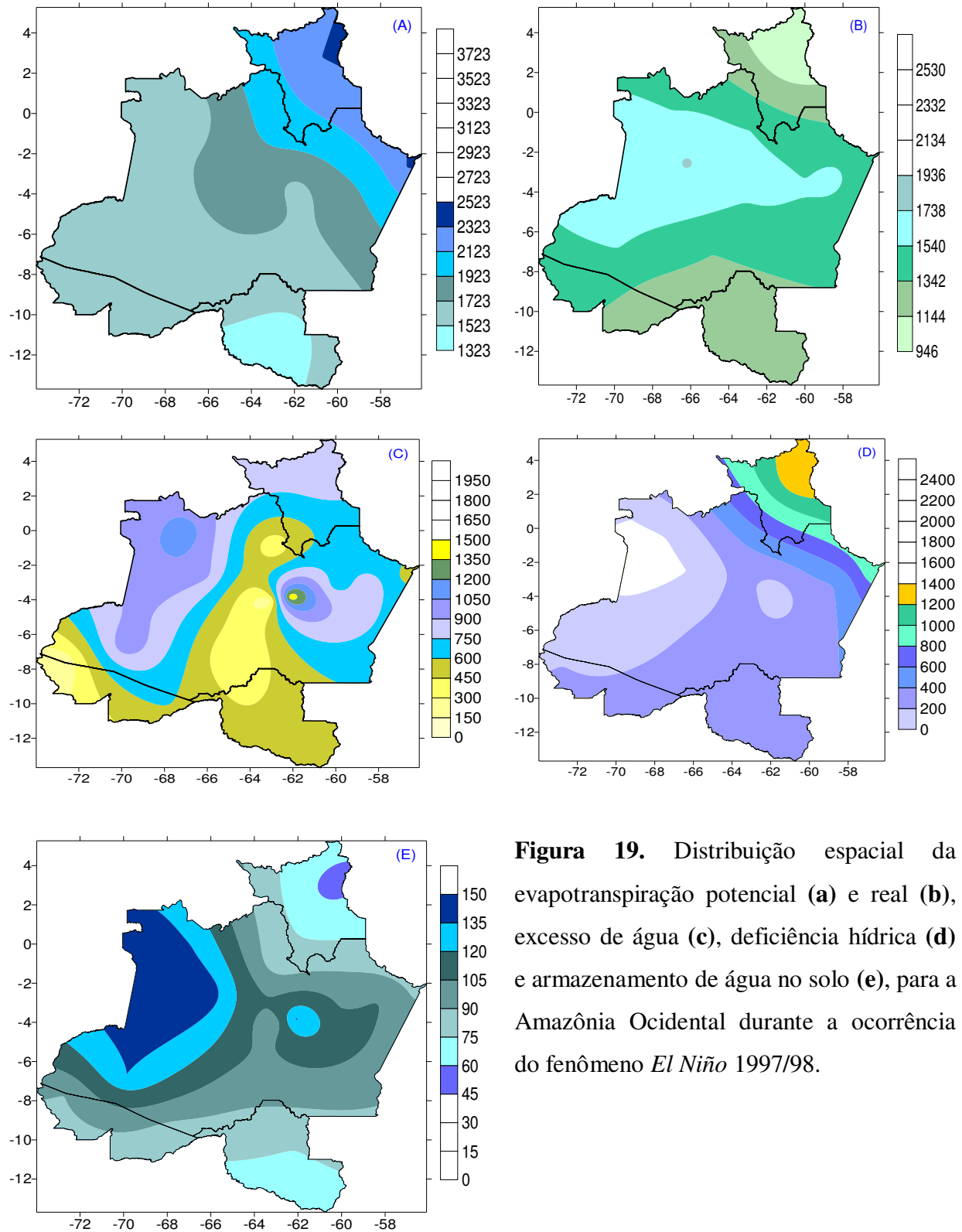
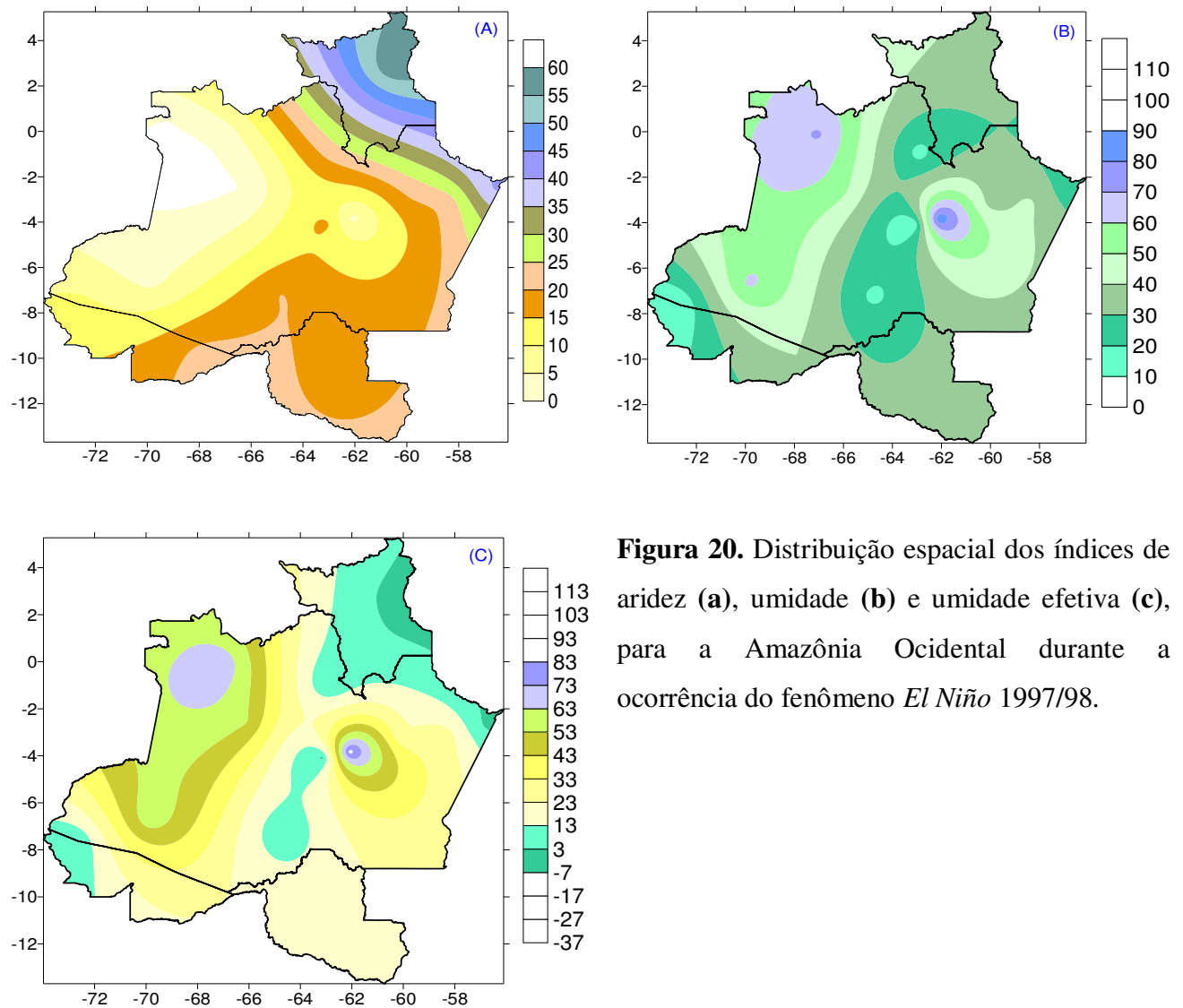


Figura 19. Distribuição espacial da evapotranspiração potencial (a) e real (b), excesso de água (c), deficiência hídrica (d) e armazenamento de água no solo (e), para a Amazônia Ocidental durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98.

observa-se que *ETP* aumenta em todas as localidades, em média 11%, por outro lado, a *ETR* apresentou redução nas localidades de Parintins, Rio Branco, Boa Vista, S.G. da Cachoeira, Codajás, Coari e Lábrea, em média 1%, as demais localidades apresentaram aumento na *ETR*. Foram observados redução (24%) no excesso de água (Figura 19c), aumento (acima de 100%) na deficiência hídrica (Figura 19d) e redução (11%) no armazenamento de água (Figura 19d) durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98, quando comparados com a média de atual (Tabela 12 (Apêndice 12)).



Analisando os índices de aridez (Figura 20a), umidade (Figura 20b) e umidade efetiva (Figura 20c) durante a ocorrência do fenômeno *El Niño* 1997/98, quando comparados com a média de 1961 a 2005 (Tabela 12 (Apêndice H)), observou-se em média um aumento (9%) no índice de aridez e reduções nos índices de umidade (18%) e umidade efetiva (24%), com exceção das localidades de Boa Vista, Fonte Boa e Eirunepé que apresentaram aumentos nos índices de umidade e umidade efetiva.

As análises feitas, para os diversos parâmetros, do balanço hídrico climático para o evento de *La Niña* (1988/1989) e *El Niño* (1997/1998) mostram que a variabilidade interanual, em quase todos os parâmetros, foram inferiores aos observados para os cenários A2 com aumento ou diminuição de precipitação e o cenário B2 com diminuição de precipitação. Para o cenário B2 com o aumento de precipitação as tendências obtidas estão dentro da flutuação interanual do clima da Amazônia Ocidental. Isto mostra que as projeções de secamento da atmosfera, solo e rios da Amazônia Ocidental são realistas.

A análise do conjunto de modelos climáticos acoplados (oceano-atmosfera), que fazem parte das análises do IPCC, não corrobora o estabelecimento de um padrão mais freqüente do tipo *El Niño* para o final deste século, além de que os modelos que projetam maior mudança climática para o padrão típico de *El Niño* são os que apresentam as mais pobres simulações de variabilidade desse fenômeno no clima presente (Collins, 2005; Cane, 2005). A probabilidade de configuração de um padrão mais freqüente de *El Niño* neste século é apenas 16%, enquanto que o cenário mais provável (59%) é o de que esse padrão não deve configurar-se (Collins, 2005).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos chegou-se as seguintes conclusões:

Tendência de clima mais seco que o atual na Amazônia Ocidental levando a uma diminuição de umidade na atmosfera e do solo e uma redução na vazão dos rios e um aumento no risco de incêndio.

Aumento da evapotranspiração potencial em taxa mais elevada que o aumento da evapotranspiração real produzindo uma diminuição da umidade relativa da atmosfera da Amazônia Ocidental.

O aumento de temperatura previsto nos cenários do IPCC é capaz de aumentar a evapotranspiração real produzindo uma redução da umidade do solo e uma diminuição do escoamento superficial e sub-superficial e, conseqüentemente, as vazões dos rios. Isto facilitará a queima de florestas e dificultará as navegações nos rios.

Há indicação de que o clima da parte leste da Amazônia Ocidental e dos estados de Rondônia e Acre se torne sub-úmido ou sub-úmido seco devido ao aumento do grau de aridez da região.

Os fenômenos naturais *El Niño* e *La Niña* influenciaram na temperatura e precipitação na Amazônia Ocidental, e conseqüentemente nos componentes do balanço hídrico. Entretanto, as magnitudes das anomalias de cada componentes foram inferiores as dos cenários A2, com aumento e diminuição de precipitação, e B2, com diminuição. Portanto, mesmo que as mudanças climáticas globais não intensifiquem a amplitude e freqüência do *El Niño/La Niña*, a ocorrência destes fenômenos, principalmente *El Niño*, produzirá impactos ambientais, sociais e econômicos mais fortes que os atuais, pois, tem-se uma soma das magnitudes das anomalias das mudanças climáticas somadas as dos episódios *El Niño/La Niña*.

Recomenda-se:

Os cenários podem ser reconstruídos com um aumento de precipitação no período chuvoso e uma diminuição no período seco.

Realizar comparações das tendências das projeções dos cenários A2 e B2 com a variabilidade interdecadal produzidas pela Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) e Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLE-2 A. Número Especial contendo artigos científicos do Experimento ABLE-2A. **Journal of Geophysical Research**, 93(D2): p.1349-1624, 1988.

ABLE-2 B. Número Especial contendo artigos científicos do Experimento ABLE-2A. **Journal of Geophysical Research**, v.95, n.10, 16721-17050, 1990.

ALVES, D. S. O Processo de desflorestamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 259-275, 2001.

ALVES, D. S. Space-time Dynamics of Deforestation in Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p.2.903-2.908, 2002.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M., **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia, 2005.

BAIDYA ROY, S. & AVISSAR, R. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, 107, 8037, 2002.

BECKER, B. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. np. 172.

BECKER, B. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados - Dossiê Amazônia Brasileira I**, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.

BETTS, R.A.; COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C.D. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global change warming. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.157-175, 2004.

BRITO, M. S. Políticas Públicas e Padrões de Uso da Terra na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 57, n. 3, p. 73-93, 1995.

CAMARGO, A.P. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: IAC, 1971. (Boletim Técnico, 116).

CANE, M.A. Evolution of El Niño, past and future. **Earth and Planetary Science Letters**, v.230, p.227-240, 2005.

CÂNDIDO, L.A.; MANZI, A.O.; TOTA, J.; SILVA, P.R.T.; SILVA, F.S.M.; SANTOS, R.M.N.; CORREIA, F.W.S. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização. **Ciência e Cultura (SBPC)**, v.59, p.44-47, 2007.

COLLINS, M. El Niño-or La Niña-like climate change?. **Climate Dynamics**, v.24, p.89-104, 2005.

COSTA, W. M. **O Estado e as Políticas Territoriais no Brasil**. São Paulo: Contexto, 1997.

CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of Amazonian forest and ranchland. **Journal of Climate**, v.8, p.1544-1554, 1995.

CULF, A.; FISCH, G; MALHI, Y. Carbon dioxide measurements in the nocturnal boundary layer over Amazonian forest. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 3, n.1, p.39-53, 1999.

ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D.; MONTEIRO, A. M. V. **O Avanço do Desflorestamento na Amazônia no Contexto das Novas Fronteiras**. Apresentado com audiovisual, Reunião Projeto Prodes, 2005. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2005/>>. Acesso em: 17 de junho. 2008.

FAMINOW, M. Spatial economics of local demand for cattle products in Amazon development. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 62, n. 1, p. 1-11, 1997.

FEARNSIDE, F. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001.

FIGUEROA, A.S.N.; NOBRE, C.A. Precipitation distribution over central and eastern Tropical South America. **Climanálise**, v.5, n.6, p.36-45, 1990.

FISCH, G. **Camada Limite Amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. São Paulo, 171p., 1996.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.28, n.2, p.101-126, 1998.

FREITAS, S. R.; LONGO, K.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G.; RECUERO, F. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics**, v.5, p.135-167, 2005.

GANDU, A.W.; COHEN, J.C.P.; SOUZA, J.R.S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, 2004.

GARSTANG, M.; GRECO, S.; SCALA, J.; SWAP, R.; ULANSKI, S. FITZJARRALD, D.; MARTIN, D.; BROWELL, E.; SHIPMAN, M.; CONNORS, V.; HARRISS, R.; TALBOT, R. The amazon boundary layer experiment (ABLE 2B): A meteorological perspective. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.71, n.1, p.19-32, 1990.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. **Amazonian Deforestation and Climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 611p.

GEOMA, 2003. Dinâmica Territorial e sócio-ambiental nas frentes de ocupação e áreas consolidadas: os casos de São Felix do Xingu-Iriri e da região de Marabá, Relatório do Seminário de Marabá, Ministério da Ciência e Tecnologia.

HOMMA, A.K.O. Como aproveitar os benefícios da destruição. **Estudos Avançados - Dossiê Amazônia Brasileira II**, v. 19, n. 54, p. 115-135, 2005.

HOREL, J.D.; HAHMANN, A.N.; GEISLER, J.E. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, v.2, n.11, p.1388-1403, 1989.

HUTYRA, L. R.; MUNGER, J. W.; NOBRE, C. A.; SALESKA, S. R.; WOFSEY, S. C. Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia. **Geophysical Research Letters**, 32, L24712, 2005.

IBGE. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 17 de junho. 2008.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Monitoring the Brazilian Amazon forest by satellite: 2002 – 2003**. São José dos Campos: INPE, 2005.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **IPCC First Assessment Report 1990, Scientific Assessment of Climate change – Report of Working Group I**. Cambridge Univ. Press, UK, 1990, 365 p.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis – Contribution of Working Group I to the IPCC**. Cambridge Univ. Press, New York, 2001.

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers**. IPCC, Genebra, 2007.

KRISHAN, A. Agroclimatic classification methods and their application in Índia. In: Climatic classification: a consultant's Meeting. Patancheru: ICRISAT, 1980.

LBA2. **Plano Científico LBA2 – PROGRAMA DE PESQUISAS SOBRE INTERAÇÕES BIOSFERA-ATMOSFERA NA AMAZÔNIA**. Disponível em: <<http://lba.inpa.gov.br/lba>>. Acesso: 17 de junho 2008.

LI, W.; FU, R.; DICKINSON, E. Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21 st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4. **Journal of Geophysical Research**, 111, DO2111, 2006.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. The expansion of logging in the Brazilian Amazon. **State of the Amazon**, n.2, 2005.

MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia. In: Becker, B. K.; Christofoletti, A.; Davidoch, F. R.; Geiger, R. P. P. (Ed.). **Geografia e meio ambiente no Brasil**, p. 181- 217. 1998.

MARQUES, J.; SALATI, E.; SANTOS, J.M. Cálculo da evapotranspiração real na bacia amazônica através do método aerológico. **Acta Amazônica**, v.10, n.2, p.357-361, 1980.

MARGULIS, S. **Causes of deforestation in Brazilian Amazon**. World Bank Working Paper 22. Washington: World Bank, 2004.

MARENGO, J.A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, p.79-96, 2004.

MARENGO, J.A.; SILVA DIAS, M. **Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos**. Águas Doces no Brasil-capital ecológico usos múltiplos, exploração racional e conservação. 3 ed.: IEA/USP, v., p. 63-109, 2006.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI**. Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River basin water budget. **Climate Dynamics**, 24, 11-22, 2005.

MARENGO, J.A. O quarto relatório do IPCC (IPCC AR4) e projeções de mudança de clima para o Brasil e América do Sul. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.4, p.23-28, 2007a.

MARENGO, J.A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, série biodiversidade, v. 26, 2007b. 212p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A.; SALATI, E.; AMBRIZZI, T. (2007b). **Sumário Técnico**. 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. Subprojeto Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007c.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.; TOMASELLA, J.; MARCOS, O.; SAMPAIO, G.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. The drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v.21, p.495-516, 2008.

MEGGERS, B. J. Archeological evidence for the impact of mega-Niño events on Amazonia during the past two millennia. **Climatic Change**, v.28, n.4, p.321-338, 1994.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M. G.; LACQUES, A. E.; VENTURIERI, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazon: the case of São Felix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, p. 269-294, 2002.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p.107-117, 1987.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 6727, p. 505-507, 1999.

NOBRE, P. SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of Climatology**, v.9, p.2464-2479, 1996.

NOBRE, C.A. “Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono?” Em: Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia. Ministério do Meio Ambiente, v.unico, p.197-224, 2001.

NOBRE, C.A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climatology**, v.4, p.957-988, 1991.

OLIVEIRA, A.S. **Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. Dissertação de mestrado, São José dos Campos, INPE, 1986. (INPE – 4008 – TDL/239).

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PEREIRA, A.R.; VILA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

POLCHER, J.; LAVAL, K. The impact of Africa and Amazonian deforestation on tropical climate. **Journal of Hydrology**, v.155, p.389-405, 1994.

ROPELEWSKI, C.F.; HALPERT, M.S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation. **Journal of Climate**, v.2, p.268 – 284, 1989.

RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; MOLINIER, M.; GUYOT, J.L.; CHAVES, A.G.M.; GUIMARAES, V. Interannual rainfall variability in the Amazon basin and seasurface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **International Journal Climatology**, v.22, p.1663–1686, 2002.

ROCHA, E. J. P da. **Balço de Umidade na Amazônia durante o Fluamazon**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Meteorologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 121p., 1991.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente exceltm para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.133 – 137, 1998.

SALATI, E.; SALATI, E.; CAMPANHOL, T.; VILLA NOVA, N. **Relatório 4 “Tendências das Variações Climáticas para o Brasil no Século XX e Balanços Hídricos para Cenários Climáticos para o Século XXI”**. 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. Subprojeto Caracterização do

clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. Brasília, Fevereiro 2007.

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J.R. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Water Resources Research**, v.15, n.5, p.1250-1258, 1979.

SALATI, E.; MARQUES, J. Climatology of Amazon Region. In: SIOLI, H. (Ed.) **The Limnology and landscape-ecology of a mighty river and its Basin**. Dordrecht, Junk Publishers, p.85-126, 1984.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p.1-6, 2007.

SCERNE, R.M.C.; SANTOS, A.O.S.; SANTOS, M.M.; NETO, F.A. Aspectos Agroclimáticos do Município de Ouro Preto D'Oeste – RO: Atualização Quinquenal. Belém, PA, Brasil, CEPLAC/SUPOR. **Boletim Técnico nº17**. 2000. 48p.

SCHNEIDER, R. R., ARIMA, E., VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., SOUZA, JR. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural**. In: IMAZON, World Bank (Ed.), Série Parcerias, 2000.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MOLION, L.C.B.; NOBRE, C.A.; SÁ, L.D. de A.; MARQUES FILHO, A.O.; FISCH, G.; JANUÁRIO, M.; FATTORI, A.P.; RIBEIRO, M.N.G.; CABRAL, O.M.R. Amazonian evaporation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2, p.179-191, 1987.

SHUTTLEWORTH, W.J. Evaporation from Amazonian rain forest. **Proceedings of Royal Society London**, série B, 233(1272): 321-346, 1988.

SILVA-DIAS, M. A. F.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; SILVA-DIAS, P. L.; NOBRE, C.; FISCH, G.; DOLMAN, A. J.; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A. O.; FUENTES, J. D.; ROCHA, H. R.; MARENGO, J.; PLANA-FATTORI, A.; SÁ, L. D. A.; ALVALÁ, R. C. S.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P.; GIELOW, R.; GATTI, L. Cloud and rain processes in a

biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal of Geophysical Research**, 107, 8072, 2002.

SILVA DIAS, L. P. As anomalias globais observadas em fevereiro e a previsão de médio e longo prazo. **Climanálise**, v.3, n.2, p.32-33, 1988.

SOUZA, P.F.S. **Variabilidade espacial e temporal das componentes atmosféricas do ciclo hidrológico da Amazônia, durante Experimento Meteorológico ABLE2B**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, p.82, 1991.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and Water Balance. Publications in Climatology, v.10, n.3. Drexel Institute of Technology, Centerton. 1957.

UVO, C. R.; REPELLI, C.A.; ZEBIAK, S.E.; KUSHNIR, Y. The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation. **Journal of Climate**, v.11, p.551– 562, 1998.

VEIGA, J.B., ALVES, A.M., POCCARD-CHAPUIS, R., THALES, M.C., DA COSTA, P.A., GRIJALVA, J.O., CHAMBA, T.V., COSTA, R.M., PIKETTY, M.-G., TOURRAND, J.-F. **Cattle Ranching, Land Use and Deforestation in Brazil, Peru and Ecuador**. Gainesville: Annual report for the Inter-American Institute, USA, 2001.

VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E.; MATSUI, E. Estimativa de evapotranspiração na Bacia Amazônica. **Acta Amazônica**, v.6, n.2, p.215-228, 1976.

VICTORIA, R.L.; MARTINELLI, L.A.; MORAES, J.M.; BALLESTER, M.V.; KRUSCHE, A.V.; PELLEGRINO, G.; ALMEIDA, R.M.B.; RICHEY, J.E. Surface air temperature variations in the Amazon region and its borders during this century. **Journal of Climate**, v. 11, p.1105-1110, 1998.

WILLIAMS, E.; DALL'ANTONIA, A.; DALL'ANTONIA, V.; ALMEIDA, J.M.; SUAREZ, F.; LIEBMANN, B.; MALHADO, A.C.M. The Drought of the Century in the Amazon Basin: An Analysis of the Regional Variation of Rainfall in South America in 1926. **Acta Amazônica**, v.35, n.2, p.231-238, 2005.

WRIGHT, I.R.; GASH, J.H.C.; ROCHA, H.R.; SHUTTLEWORTH, W.J.; NOBRE, C.A.; MAITELLI, G.T.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; CARVALHO, P.R.A. Dry season micrometeorology of central Amazonian ranchland. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v.118, n.508, p.1083-1009, 1992.

APÊNDICE A

TABELA 4. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental, para o período de 1961 a 2005 (cenário atual).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	Iu (%)	IM (%)
82113	Barcelos – AM	-1,0	-62,9	40	2551	26,2	1581	1431	1119	150	110	9	71	65
82240	Parintins – AM	-2,6	-56,7	29	2318	27,4	1837	1582	736	255	100	14	40	32
82317	Tefé – AM	-3,8	-64,7	47	2403	26,4	1617	1609	794	8	140	0	49	49
82331	Manaus – AM	-3,1	-60,0	81	2267	26,8	1694	1526	741	168	101	10	44	38
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	2090	26,3	1594	1336	754	258	98	16	47	38
82807	Tarauacá - AC	-8,2	-70,8	190	2201	25,2	1401	1368	834	34	129	2	60	58
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1954	25,0	1383	1307	648	76	117	5	47	44
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,6	90	1712	28,1	2024	1256	456	768	63	38	23	0
82825	Porto Velho - RO	-8,8	-63,9	95	2210	25,5	1447	1392	818	55	127	4	57	54
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1939	24,6	1323	1188	752	136	105	10	57	51
82042	Caracaraí - RR	1,8	-61,1	94	1923	27,3	1806	1419	505	388	83	21	28	15
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	3322	26,1	1552	1552	1770	0	150	0	114	114
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	3002	26,2	1571	1571	1431	0	150	0	91	91
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	3124	26,5	1638	1622	1502	17	138	1	92	91
82425	Coari – AM	-4,1	-63,1	46	2353	26,8	1704	1613	740	92	116	5	43	40
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2441	26,5	1635	1635	806	0	150	0	49	49
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2594	26,0	1544	1543	1051	1	148	0	68	68
82533	Manicoré - AM	-5,8	-61,3	50	2395	26,7	1664	1545	850	119	114	7	51	47
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	2270	26,2	1570	1451	819	119	112	8	52	48
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2422	26,0	1534	1507	915	27	134	2	60	59
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	2176	25,9	1517	1471	705	47	125	3	46	45
-----	Uiramutã – RR	5,0	-60,0	-----	1115	25,6	1474	1120	0	354	43	24	0	-14

APÊNDICE B

TABELA 5. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário A2 do IPCC, com aumento na precipitação em 15% até 2100).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	Iu (%)	IM (%)
82113	Barcelos – AM	-1,0	-62,9	40	2933	30,0	2755	2155	779	600	84	22	28	15
82240	Parintins – AM	-2,6	-56,7	29	2666	31,2	3401	2329	336	1072	68	32	10	-9
82317	Tefé – AM	-3,8	-64,7	47	2764	30,2	2843	2533	231	310	76	11	8	2
82331	Manaus – AM	-3,1	-60,0	81	2607	30,6	3036	2244	363	792	66	26	12	-4
82336	Itacoatiara – AM	-3,1	-58,4	40	2403	30,1	2788	1897	507	891	77	32	18	-1
82807	Tarauacá – AC	-8,2	-70,8	190	2532	29,0	2319	2091	440	228	92	10	19	13
82915	Rio Branco – AC	-9,9	-67,9	193	2247	28,8	2277	1952	295	325	78	14	13	4
82024	Boa Vista – RR	2,8	-60,6	90	1969	31,9	3892	1766	204	2127	46	55	5	-28
82825	Porto Velho – RO	-8,8	-63,9	95	2541	29,3	2430	2126	415	304	82	12	17	10
88888	Ouro Preto D'Oeste – RO	-10,7	-62,2	230	2230	28,4	2137	1728	502	409	83	19	23	12
82042	Caracarái – RR	1,8	-61,1	94	2212	31,1	3324	2008	204	1316	52	40	6	-18
82067	Iauaretê – AM	0,6	-69,2	120	3820	29,9	2683	2682	1138	0	149	0	42	42
82106	S.G.da Cachoeira – AM	-0,1	-67,0	90	3453	30,0	2731	2719	733	12	140	0	27	27
82326	Codajás – AM	-3,8	-62,1	48	3592	30,3	2895	2627	965	269	97	9	33	28
82425	Coari – AM	-4,1	-63,1	46	2706	30,6	3060	2469	237	591	69	19	8	-4
82212	Fonte Boa – AM	-2,5	-66,2	56	2807	30,3	2887	2701	105	185	71	6	4	0
82410	Benjamin Constant – AM	-4,4	-70,0	65	2983	29,8	2663	2533	450	130	102	5	17	14
82533	Manicoré – AM	-5,8	-61,3	50	2754	30,5	2959	2392	362	567	69	19	12	1
82723	Lábrea – AM	-7,3	-64,8	61	2611	30,0	2727	2234	377	493	77	18	14	3
82610	Eirunepé – AM	-6,7	-69,9	104	2785	29,8	2639	2393	393	246	84	9	15	9
82704	Cruzeiro do Sul – AC	-7,6	-72,7	170	2502	29,7	2598	2285	217	313	79	12	8	1
-----	Uiramutã – RR	5,0	-60,0	-----	1282	29,4	2496	1282	0	1214	0	49	0	-29

APÊNDICE C

TABELA 6. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário A2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82113	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	40	2168	30,0	2755	1931	238	824	65	30	9	-9
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	1970	31,2	3401	1970	0	1431	38	42	0	-25
82317	Tefé - AM	-3,8	-64,7	47	2043	30,2	2843	2043	0	800	7	28	0	-17
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	1927	30,6	3036	1927	0	1109	30	37	0	-22
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	1776	30,1	2788	1676	100	1112	57	40	4	-20
82807	Tarauacá - AC	-8,2	-70,8	190	1871	29,0	2319	1871	0	448	45	19	0	-12
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1661	28,8	2277	1661	0	616	27	27	0	-16
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,6	90	1456	31,9	3892	1456	0	2437	16	63	0	-38
82825	Porto Velho - RO	-8,8	-63,9	95	1878	29,3	2430	1856	22	573	57	24	1	-13
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1648	28,4	2137	1615	33	522	60	24	2	-13
82042	Caracaraí - RR	1,8	-61,1	94	1635	31,1	3324	1635	0	1689	22	51	0	-30
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	2824	29,9	2683	2550	274	133	96	5	10	7
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	2552	30,0	2731	2535	17	196	61	7	1	-4
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	2655	30,3	2895	2365	290	530	69	18	10	-1
82425	Coari - AM	-4,1	-63,1	46	2000	30,6	3060	2000	0	1060	13	35	0	-21
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2075	30,3	2887	2075	0	812	1	28	0	-17
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2205	29,8	2663	2205	0	458	33	17	0	-10
82533	Manicoré - AM	-5,8	-61,3	50	2036	30,5	2959	2036	0	924	30	31	0	-19
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	1930	30,0	2727	1930	0	797	27	29	0	-18
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2059	29,8	2639	2059	0	580	23	22	0	-13
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	1849	29,7	2598	1849	0	749	14	29	0	-17
-----	Uiramutã - RR	5,0	-60,0	-----	948	29,4	2496	948	0	1548	0	62	0	-37

APÊNDICE D

TABELA 7. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário B2 do IPCC, com aumento na precipitação em 15% até 2100).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82113	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	40	2933	27,5	1872	1665	1269	207	106	11	68	61
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	2666	28,7	2217	1853	813	365	94	16	37	27
82317	Tefé - AM	-3,8	-64,7	47	2764	27,7	1920	1905	859	16	135	1	45	44
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	2607	28,1	2024	1783	824	241	94	12	41	34
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	2403	27,6	1890	1542	861	347	94	18	46	35
82807	Tarauacá - AC	-8,2	-70,8	190	2532	26,5	1632	1587	945	45	127	3	58	56
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	2247	26,3	1607	1510	737	97	114	6	46	42
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,6	90	1969	29,4	2473	1453	517	1021	60	41	21	-4
82825	Porto Velho - RO	-8,8	-63,9	95	2541	26,8	1693	1621	921	72	124	4	54	52
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	2230	25,9	1529	1361	869	168	102	11	57	50
82042	Caracará - RR	1,8	-61,1	94	2212	28,6	2176	1640	572	536	78	25	26	12
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	3820	27,4	1832	1833	1988	0	150	0	108	108
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	3453	27,5	1859	1859	1594	0	150	0	86	86
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	3592	27,8	1948	1919	1673	30	133	2	86	85
82425	Coari - AM	-4,1	-63,1	46	2706	28,1	2037	1895	811	143	111	7	40	36
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2807	27,8	1944	1944	863	0	149	0	44	44
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2983	27,3	1822	1819	1164	2	146	0	64	64
82533	Manicoré - AM	-5,8	-61,3	50	2754	28,0	1983	1815	939	168	109	8	47	42
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	2611	27,5	1857	1696	915	161	108	9	49	44
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2785	27,3	1808	1770	1015	38	131	2	56	55
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	2502	27,2	1786	1720	782	67	122	4	44	42
-----	Uiramutã - RR	5,0	-60,0	-----	1282	26,9	1729	1286	0	443	40	26	0	-15

APÊNDICE E

TABELA 8. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário B2 do IPCC, com redução na precipitação em 15% até 2100).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	Iu (%)	IM (%)
82113	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	40	2168	27,5	1872	1547	621	325	93	17	33	23
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	1970	28,7	2217	1669	301	548	78	25	14	-1
82317	Tefé - AM	-3,8	-64,7	47	2043	27,7	1920	1803	240	117	97	6	12	9
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	1927	28,1	2024	1618	309	406	74	20	15	3
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	1776	27,6	1890	1383	393	507	83	27	21	5
82807	Tarauacá - AC	-8,2	-70,8	190	1871	26,5	1632	1507	365	125	102	8	22	18
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1661	26,3	1607	1419	242	188	87	12	15	8
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,6	90	1456	29,4	2473	1287	168	1186	53	48	7	-22
82825	Porto Velho - RO	-8,8	-63,9	95	1878	26,8	1693	1535	344	158	92	9	20	15
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1648	25,9	1529	1277	372	252	89	16	24	14
82042	Caracaraí - RR	1,8	-61,1	94	1635	28,6	2176	1459	176	717	62	33	8	-12
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	2824	27,4	1832	1833	991	0	150	0	54	54
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	2552	27,5	1859	1858	694	1	149	0	37	37
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	2655	27,8	1948	1845	810	104	112	5	42	38
82425	Coari - AM	-4,1	-63,1	46	2000	28,1	2037	1751	249	287	82	14	12	4
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2075	27,8	1944	1889	186	55	107	3	10	8
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2205	27,3	1822	1773	432	49	121	3	24	22
82533	Manicoré - AM	-5,8	-61,3	50	2036	28,0	1983	1711	324	272	81	14	16	8
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	1930	27,5	1857	1597	333	260	87	14	18	10
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2059	27,3	1808	1696	363	113	101	6	20	16
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	1849	27,2	1786	1635	214	151	95	8	12	-27
-----	Uiramutã - RR	5,0	-60,0	-----	948	26,9	1729	948	0	781	1	45	0	

APÊNDICE F

TABELA 9. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (período que ocorreu o fenômeno *La Niña* 1988-1989).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	3390	26,9	1728	1557	1834	171	113	10	106	100
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	3106	26,3	1604	1471	1632	130	120	8	102	97
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	2376	24,6	1327	1195	1181	132	109	10	89	83
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	2057	24,5	1310	1096	962	214	100	16	73	64
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	2812	25,7	1481	1481	1331	0	150	0	90	90
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	3527	25,7	1481	1481	2046	0	150	0	138	138
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2235	25,9	1519	1472	762	46	132	3	50	48
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	2542	25,1	1387	1335	1208	52	129	4	87	85
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2665	24,1	1477	1386	1279	91	115	6	87	83
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	2257	25,4	1433	1372	885	61	129	4	62	59

TABELA 10. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário atual utilizando o mesmo número de estações da Tabela 9).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	2318	27,4	1837	1582	736	255	100	14	40	32
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	2267	26,8	1694	1526	741	168	101	10	44	38
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1954	25,0	1383	1307	648	76	117	5	47	44
88888	Ouro Preto d'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1939	24,6	1323	1188	752	136	105	10	57	51
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	3322	26,1	1552	1552	1770	0	150	0	114	114
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	3002	26,2	1571	1571	1431	0	150	0	91	91
82410	Benjamin Constant - AM	-4,4	-70,0	65	2594	26,0	1544	1543	1051	1	148	0	68	68
82723	Labrea - AM	-7,3	-64,8	61	2270	26,2	1570	1451	819	119	112	8	52	48
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2422	26,0	1534	1507	915	27	134	2	60	59
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	2176	25,9	1517	1471	705	47	125	3	46	45

APÊNDICE G

TABELA 11. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (período que ocorreu o fenômeno *El Niño* 1997-1998).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82113	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	40	1868	27,9	1984	1543	325	441	80	22	16	3
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	1968	29,0	2332	1409	559	923	89	40	24	0
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	2212	27,5	1894	1535	677	359	104	19	36	24
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	2412	28,0	2009	1573	840	437	106	22	42	29
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1825	26,0	1545	1208	617	337	80	22	40	27
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,7	90	1804	28,9	2327	959	844	1368	56	59	36	1
88888	Ouro Preto D'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1700	25,6	1478	1214	487	264	74	18	33	22
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	2493	26,1	1559	1555	938	4	146	0	60	60
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	2684	26,3	1590	1551	1133	39	136	2	71	70
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	3045	26,6	1648	1585	1460	62	136	4	89	86
82425	Coari - AM	-4,1	-63,1	46	1772	27,5	1856	1556	216	300	96	16	12	2
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2719	27,1	1761	1755	963	5	145	0	55	55
82723	Lábrea - AM	-7,3	-64,8	61	1635	26,7	1671	1335	300	336	98	20	18	6
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2553	26,4	1612	1551	1001	61	135	4	62	60
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	1665	26,7	1672	1480	186	193	91	12	11	4

APÊNDICE H

TABELA 12. Balanço hídrico para a Amazônia Ocidental (cenário atual utilizando o mesmo número de estações da Tabela 11).

POSTO	ESTAÇÃO	latitude	longitude	altitude	P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	EXC (mm)	DEF (mm)	ARM (mm)	la (%)	lu (%)	IM (%)
82113	Barcelos - AM	-1,0	-62,9	40	2551	26,2	1581	1431	1119	150	110	9	71	65
82240	Parintins - AM	-2,6	-56,7	29	2318	27,4	1837	1582	736	255	100	14	40	32
82331	Manaus - AM	-3,1	-60,0	81	2267	26,8	1694	1526	741	168	101	10	44	38
82336	Itacoatiara - AM	-3,1	-58,4	40	2090	26,3	1594	1336	754	258	98	16	47	38
82915	Rio Branco - AC	-9,9	-67,9	193	1954	25,0	1383	1307	648	76	117	5	47	44
82024	Boa Vista - RR	2,8	-60,7	90	1712	28,1	2024	1256	456	768	63	38	23	0
88888	Ouro Preto d'Oeste - RO	-10,7	-62,2	230	1939	24,6	1323	1188	752	136	105	10	57	51
82067	Iauaretê - AM	0,6	-69,2	120	3322	26,1	1552	1552	1770	0	150	0	114	114
82106	S.G.da Cachoeira - AM	-0,1	-67,0	90	3002	26,2	1571	1571	1431	0	150	0	91	91
82326	Codajás - AM	-3,8	-62,1	48	3124	26,5	1638	1622	1502	17	138	1	92	91
82425	Coari - AM	-4,1	-63,1	46	2353	26,8	1704	1613	740	92	116	5	43	40
82212	Fonte Boa - AM	-2,5	-66,2	56	2441	26,5	1635	1635	806	0	150	0	49	49
82723	Labrea - AM	-7,3	-64,8	61	2270	26,2	1570	1451	819	119	112	8	52	48
82610	Eirunepé - AM	-6,7	-69,9	104	2422	26,0	1534	1507	915	27	134	2	60	59
82704	Cruzeiro do Sul - AC	-7,6	-72,7	170	2176	25,9	1517	1471	705	47	125	3	46	45