

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS  
ATMOSFÉRICAS

IGOR CERQUEIRA OLIVEIRA

**Simulação de cenários de desmatamento na Amazônia**

v1.

São Paulo  
2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

IGOR CERQUEIRA OLIVEIRA

**Simulação de cenários de desmatamento na Amazônia**

Dissertação apresentada ao  
Instituto de Astronomia, Geofísica  
e Ciências Atmosféricas para  
obtenção do título de mestre em  
Ciências Atmosféricas

Orientador: Adilson Wagner Gandú

v1.

São Paulo  
2006

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Igor Cerqueira Oliveira  
Simulação de cenários de  
desmatamento na Amazônia

Dissertação apresentada ao  
Instituto de Astronomia, Geofísica  
e Ciências Atmosféricas para  
obtenção do título de mestre em  
Ciências Atmosféricas

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof:

Instituição:

Assinatura:

Prof:

Instituição:

Assinatura:

Prof:

Instituição:

Assinatura:

## **Agradecimentos**

O autor agradece à diversas pessoas que nos diferentes momentos da elaboração deste trabalho se mostraram fundamentais para que o objetivo fosse alcançado. Ciente do risco de esquecer algum nome merecedor e sem nenhuma ordem de preferência, destaca:

O Prof. Dr. Adilson Wagner Gandú, pela paciência e orientação necessárias para o bom desenvolver desta pesquisa.

O Laboratório MASTER e sua equipe, pela disponibilização da infra-estrutura computacional utilizada e pela frequente ajuda oferecida para as diversas dificuldades surgidas.

Os amigos pós-graduandos do IAG/USP pelo grande companheirismo nesses anos de convivência.

Mariana Palagano, Ricardo Acosta e Jonatan Dupont, pela imensurável parceria.

Diversas pessoas em São Paulo que ajudaram tanto científica quanto pessoalmente: Edmilson, Tannus, Helber, Maria Cristina, Taciana, Ana, Michel, Santiago, Angelica, Thiago, Alana, Fabiana, Rodrigo Braga, Ieda, Tatiana, Pira, Rachel, Hallack entre muitos outros.

As que fizeram o mesmo no Rio de Janeiro e em outros lugares do mundo: Felipe, Marcelo, Wallace, Justi, Talita, Eduardo, Andre, Lyrio, Léo, alex, Ricardo Marcelo, Angelo, Eduardo, entre muitos outros.

A sua família.

Elisa Antoun.

"As our circle of knowledge expands, so does the circumference of darkness surrounding it."

Albert Einstein

(14 March 1879 - 18 April, 1955) German-born Swiss-American physicist.

## SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
1.INTRODUÇÃO	11
2.DESENVOLVIMENTO	19
2.1. Metodologia	19
2.1.1. Os cenários de desmatamento	19
2.1.2. Configuração dos experimentos	20
2.2. Resultados	29
2.2.1. Impacto nas variáveis meteorológicas	33
2.2.2. Circulações de mesoescala	51
3. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do desmatamento da Amazônia nas características meteorológicas da região. Para tal, foi utilizado o modelo atmosférico RAMS (Regional Atmospheric Modelling System), na versão brasileira (Brazilian RAMS – BRAMS). Foram realizadas diversas simulações usando diferentes cenários de desmatamento da região Amazônica. Tais dados foram fornecidos por um modelo estocástico e descrevem o uso do solo dos anos de 2002 até 2050 em dois cenários: “governance” ou “GOV” (onde medidas governamentais são adotadas, resultando em desmatamento controlado) e “business as usual” ou “BUS” (onde as taxas históricas de desmatamento se mantêm). As simulações foram feitas por períodos de 45 dias (onde os 15 dias iniciais foram desconsiderados) para as estações chuvosa, seca e de transição com as informações de vegetação de 2002 e de 2050. As condições de contorno laterais foram as fornecidas pelas reanálises do NCEP do ano de 2002. De maneira geral, o cenário BUS causa efeitos mais pronunciados do que o cenário GOV, em virtude das taxas de desmatamento mais elevadas. Devido à alteração do balanço de energia, ocorreu um ligeiro aumento da temperatura próximo à superfície nas regiões desmatadas. Dentre os 3 períodos analisados, o impacto foi mais notável na estação seca. A precipitação também foi uma variável que apresentou sensibilidade ao desmatamento da Amazônia, com uma diminuição dos índices pluviométricos sobre as regiões de maiores taxas de desmatamento. Os efeitos na chuva foram mais perceptíveis nas simulações do período chuvoso, especialmente pelos baixos índices de precipitação simulados nos demais experimentos. Como a mudança no uso do solo altera parâmetros da floresta diretamente relacionados com a circulação, também foi encontrado um impacto na magnitude do vento simulado em todos os cenários e períodos do estudo. A diminuição da altura média do dossel vegetativo e a da rugosidade ocasionaram a queda no atrito entre a superfície e o ar e o conseqüente aumento da magnitude média do vento simulado. Os impactos mencionados na temperatura e na precipitação não se deram de forma homogênea, havendo uma importante variabilidade espacial das diferenças simuladas dessas variáveis. Regiões de aquecimento se mostraram relacionadas com regiões de esfriamento nas suas vizinhanças (bem como regiões de intensificação/enfraquecimento da precipitação), sugerindo a existência de circulações de mesoescala induzidas pelas diferentes características de superfície. A análise dos movimentos verticais médios simulados para cada estação indicou um padrão organizado nas simulações do período chuvoso (com movimentos descendentes sobre as regiões desmatadas e ascendentes sobre as vizinhas) e um padrão mais complexo para as estações seca e de transição. A circulação média nos níveis iniciais da atmosfera mostrou a interação do fluxo sinótico médio (essencialmente de leste na região estudada) com a convecção localizada. Como o fluxo sinótico médio é 8% (no período de transição) ou 26% (no período seco) superior ao fluxo do período chuvoso, a interação entre os movimentos dessas duas escalas se deu de maneira muito mais intensa nas estações seca e de transição.

Palavras-chave: desmatamento, Amazônia, modelagem numérica

## ABSTRACT

This work's purpose was studying the meteorological impacts of Amazon deforestation in that region. For this, it was used the RAMS model (Regional Atmospheric Modelling System), in its Brazilian version (Brazilian RAMS – BRAMS). Several numerical experiments were done with different deforestation scenarios for the Amazon Basin. These scenarios were given by a stochastic model which describes the land-use from the years 2002 to 2050 in two situations: a “governance” or “GOV” scenario (where government actions are taken in order to reduce deforestation rates) and a “business as usual” or “BUS” scenario (with the evolution of the historical deforestation rates). Simulations were performed for 45-days periods (and with the exclusion of the 15 initial days) for wet, dry and dry-to-wet periods with land use information of 2002 and 2050. Lateral boundary conditions were given by NCEP Reanalysis of the year 2002. In most cases, the “BUS” experiments presented stronger effects on the hydrometeorological parameters compared to the “GOV” ones. Due to the change in the energy budget near the surface, an increase of the air temperature was simulated above the deforested areas and the impact had a bigger magnitude in the dry season. Precipitation also showed sensitivity to deforestation with a reduction of raining in the areas with high deforestation rates. These effects were stronger in the wet season, mainly because of the low precipitation rates simulated in the dry and dry-to-wet seasons. Deforestation causes changes in some parameters of the forest that are directly related to wind circulations and that was found in the results of wind magnitude. The decrease of the average canopy height and roughness caused an increase of the wind magnitude over the deforested areas. The previously mentioned impacts on the temperature and precipitation presented a spatial variability highly related to the pattern of the deforestation. The configuration of heating zones with cooling in the vicinities (or more precipitation near less precipitation areas) suggested the existence of mesoscale circulations induced by the different surfaces. The analysis of simulated vertical motion showed an interaction between the synoptic flow and local convection. In the wet season, this synoptic flow is weaker and the resulting circulation pattern is more organized than dry and dry-to-wet periods, where a complex pattern could be observed.

Keywords: deforestation, Amazon, numerical modelling

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Cobertura Vegetal prevista para a Região Amazônica para os anos de 2002 (a) e 2005(b) (Verde=Floresta, Vermelho=Desmatamento, Amarelo=Cerrado) para o cenário GOV.....**24**
- Figura 2** – idem a figura 1, para o cenário BUS.....**24**
- Figura 3** - Mapa de vegetação da área modelada, na região Amazônica observa-se a presença de floresta (7), cerrado (13) e pastagem (15).....**25**
- Figura 4** – Esquema de funcionamento do LEAF-2 (fonte: Walko et al., 2000, adaptado).....**27**
- Figura 5** – Campos de umidade do solo (mm) utilizado como condição inicial nas rodadas do período chuvoso (a), seco (b) e de transição (c).....**30**
- Figura 6** – Escoamento médio do vento fornecido pelo NCEP dos meses de janeiro (a), agosto (c) e novembro de 2002 (e) e simulados para os períodos chuvoso (b), seco (d) e de transição (f).....**32**
- Figura 7** – Precipitação fornecida pelo CPC/NOAA para janeiro de 2002(a) e simulada pelo experimento CONTROLE da estação chuvosa. Valores em mm/dia.....**34**

<b>Figura 8</b> – Precipitação fornecida pelo CPC/NOAA para os meses de agosto e novembro de 2002(a). Valores em mm/dia.....	<b>34</b>
<b>Figura 9</b> - Taxa de desmatamento (em %) do período 2002-2050 para o cenário BUS.....	<b>36</b>
<b>Figura 10</b> - Idem a figura anterior para o cenário GOV.....	<b>36</b>
<b>Figura 11</b> - Diferenças simuladas de Temperatura a 2m da superfície (°C) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>39</b>
<b>Figura 12</b> - Diferenças simuladas de H (W/m <sup>2</sup> ) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>42</b>
<b>Figura 13</b> - Diferenças simuladas de LE (W/m <sup>2</sup> ) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>43</b>
<b>Figura 14</b> - Diferenças simuladas de magnitude do vento (m/s) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>45</b>
<b>Figura 15</b> – Magnitude média do vento simulado em CONTROLE nos períodos chuvoso (a), seco (b) e de transição (c).....	<b>46</b>
<b>Figura 16</b> - Diferenças simuladas de precipitação (mm/dia) para a estação chuvosa nos cenários BUS (esquerda) e GOV(direita).....	<b>48</b>

<b>Figura 17</b> – Intervalos de significância do teste-t.....	<b>50</b>
<b>Figura 18</b> – Intervalos de significância do teste-t.....	<b>51</b>
<b>Figura 19</b> - Diferenças simuladas de movimento vertical nos 5 km iniciais (m/s) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>55</b>
<b>Figura 20</b> – Circulação média primeiros 5 km de atmosfera para o período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita.....	<b>57</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Parametrizações de processos físicos no modelo utilizadas nos experimentos.....	<b>28</b>
<b>Tabela 2</b> - Descrição dos Experimentos.....	<b>30</b>
<b>Tabela 3</b> - Diferenças simuladas médias para a região (Lat=11S-5N;Lon=74W-43) nos diferentes cenários e períodos.....	<b>37</b>
<b>Tabela 4</b> – Diferença percentual simulada para a região (Lat=11S-5N;Lon=74W-43) nos diferentes cenários e períodos.....	<b>40</b>

## 1. Introdução

Nos últimos anos, têm se tornado recorrente o debate sobre as mudanças climáticas globais e em que proporção tais mudanças estariam sendo causadas por influência antropogênica. Diversas atividades humanas podem ter relação direta ou indireta com alterações nas características do clima terrestre. A poluição atmosférica muda as propriedades de absorção de radiação da atmosfera, exercendo influência sobre o balanço de energia e conseqüentemente sobre a temperatura. As queimadas liberam aerossóis no ar havendo conseqüências tanto no balanço de radiação quanto na precipitação, dado o papel de núcleo de condensação exercido por essas partículas.

Uma atividade que também influencia as características e os fenômenos atmosféricos é a mudança do uso do solo. Dentro dessa questão, o desmatamento das florestas tropicais se tornou, ao longo dos últimos anos, uma grande preocupação da comunidade científica e da sociedade em geral, por corresponderem a aproximadamente 13% da área continental global (excetuando-se o continente Antártico) com uma área de 17,6 milhões km<sup>2</sup>. Uma grande variedade de processos físicos relaciona a mudança do uso do solo com alterações climáticas, sendo a maioria delas ligada ao balanço de energia na superfície. Essa questão tem sido investigada através de experimentos de campo (ABRACOS: Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study (Gash et al., 1996) e LBA: Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment) ou de estudos envolvendo simulações atmosféricas com modelos diversos. A Floresta Amazônica tem recebido atenção destacada nesses estudos devido a diversos fatores como sua extensa dimensão territorial e a elevada taxa de desmatamento apresentada. A Amazônia corresponde a aproximadamente 50% de toda a área de florestas tropicais

existentes no planeta e vem apresentando taxas de desmatamento superiores a 25.000 km<sup>2</sup> anuais desde 2002, o que representa uma região maior que o estado brasileiro do Sergipe.

Os impactos no clima podem ser compreendidos se analisadas as mudanças nas forçantes de superfície causadas pela mudança no uso do solo. Uma alteração no albedo da superfície terá direta influência na radiação líquida na superfície. Num exemplo de mudança do solo de uma região de floresta para pastagem, ocorre um aumento no albedo de superfície, causando uma maior reflexão da radiação incidente. O desmatamento também acarreta a diminuição da altura média do dossel vegetativo, o que leva a uma conseqüente queda no atrito entre a superfície e o fluxo de momento próximo ao solo. Portanto, é de se esperar um aumento da magnitude do vento em casos de mudança de floresta para pastagens.

A maioria dos estudos com modelos de circulação geral (GCM) mostra que os impactos do desmatamento da Amazônia podem ocorrer em diversas escalas espaço-temporais. Os resultados desses estudos mostram várias diferenças entre si, que podem ser atribuídas à diversidade de modelos utilizada nesse conjunto de experimentos. O que pode ser sintetizado da vasta quantidade de experimentos realizados sobre desmatamento de florestas tropicais é que a substituição total da floresta original por uma vegetação secundária (pastagem) acarretaria numa diminuição da evaporação (e por conseqüência da precipitação) e um aumento da temperatura em superfície.

Tais estudos consistem primordialmente em modelos atmosféricos acoplados a modelos da biosfera, que fornecem a condição de contorno inferior para as equações do modelo atmosférico sobre a superfície do continente. Enquanto no oceano a temperatura da superfície do mar (SST) possui uma rede de observação razoavelmente abrangente em todo o planeta

(principalmente com o uso de satélites), o mesmo não pode ser dito sobre a temperatura e o conteúdo de umidade do solo sobre determinadas regiões continentais. Essas informações são normalmente estimadas usando modelos dependentes do particionamento da energia na superfície, em calor latente e calor sensível para o ar próximo à superfície e aos processos de camada limite (Betts et al., 1996). Esses modelos da biosfera são comumente chamados de modelos de transferência solo-planta-atmosfera (do inglês, SVAT – soil-vegetation-atmosphere transfer).

Em Nobre et al. (1991) foi utilizado um modelo acoplado atmosfera-biosfera para se avaliar os impactos da substituição da Floresta Amazônica por pastagem. Foi encontrado um significativo aumento de temperatura (por volta de 2.5°C), um decréscimo na evapotranspiração anual (30%), na precipitação (25%) e no escoamento superficial (20%). Os experimentos realizados abrangiam um ano de integração para cada condição de cobertura vegetal (floresta ou pastagem). Também foi observado que as diferenças entre os experimentos eram maiores na estação seca. O caso desmatado estava associado às maiores variações diurnas da temperatura e do déficit de pressão de vapor, efeitos que já eram observados em regiões desmatadas da Amazônia.

Embora haja sempre uma forte correlação entre a evapotranspiração e a precipitação, outros fatores são relevantes no balanço hídrico, levando a resultados diferentes. Segundo Lean e Rowntree (1997), num estudo utilizando um GCM acoplado a um modelo de vegetação, a total remoção da Floresta Amazônica produziu uma queda na evapotranspiração de 0,76 mm/dia (18%) e na precipitação de 0,27 mm/dia. A temperatura se elevou 2,3° C. A diferença entre essas magnitudes em relação a outros trabalhos foi explicada pelo papel da convergência de umidade, compensando a redução da evapotranspiração.

Os impactos do desmatamento também podem ser sentidos em escala global. Foi estudado em Zhang et al. (1996) os efeitos conjuntos do desmatamento na América do Sul, África e Sudeste Asiático, utilizando o modelo global CCM1 (Community Climate Model 1) acoplado ao BATS (Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme). Comparando simulações de desmatamento de 11 anos com rodadas-controle de 25 anos encontraram que a circulação de monção do Sudeste Asiático é bem menos sensível ao desmatamento local do que os jatos de baixos níveis da América do Sul. Esse trabalho também apontou para a possibilidade da diminuição da cobertura de nuvens aumentar a radiação incidente o que acabaria por atenuar o efeito causado pelo aumento do albedo decorrente da mudança do uso de solo. Resultados desse tipo servem para salientar o alto grau de não-linearidade do problema do impacto no clima do desmatamento.

Nos tipos de estudos exemplificados acima, onde a modelagem numérica é amplamente utilizada, algumas questões devem ser levadas em consideração, tais como a estabilidade numérica e a dominância da condição inicial. Para um experimento de longa duração, pequenas perturbações na condição inicial podem causar grandes diferenças entre os resultados depois de um longo período. A abordagem do tipo “ensemble” (onde várias simulações são realizadas com pequenas perturbações diferenciando suas condições iniciais) apresenta-se como uma ferramenta bem adequada para lidar com esse tipo de limitações. Werth e Avissar (2002) avaliaram os efeitos locais e globais do desmatamento da Amazônia utilizando um modelo global e uma abordagem de *ensemble*. Foram encontradas importantes conseqüências, tais como redução de precipitação, evapotranspiração e nebulosidade. Além disso, foram encontrados efeitos em diversas regiões do planeta, muitas das quais tiveram a precipitação da estação chuvosa reduzida, ressaltando o impacto global do problema.

Enquanto os estudos iniciais sobre o assunto usavam CGM's acoplados a modelos SVAT supunham a substituição completa da floresta por pastagem, outras abordagens passaram a ser utilizadas com o passar dos anos. Tais abordagens começavam a analisar os impactos em escalas cada vez menores. No lugar dos GCM's foram utilizados modelos regionais ou de mesoescala e no tocante à mudança de uso do solo passaram a ser prescritos padrões específicos de desmatamentos, ao invés da substituição de floresta por pastagem como um todo.

Ao se analisar os efeitos em escalas cada vez menores os novos resultados incluem fenômenos que não estariam contemplados pelos modelos de escalas maiores. Mesmo através de evidências observacionais já se podia concluir que padrões localizados de desmatamento podiam ativar a convecção localizada na floresta (Cutrim et. al 1995), o que já apontaria para a possibilidade de aumento de precipitação (de forma localizada) associada ao desmatamento. Ainda: o que se observa é que o desmatamento localizado é influenciado por características socioeconômicas de cada região, sendo bastante heterogêneo. Por exemplo: o desmatamento no formato de “espinha-de-peixe” é bastante encontrado na Amazônia (Skole e Tucker, 1993) e é influência direta da atividade extrativista de madeira. Heterogeneidades do terreno podem induzir circulações de mesoescala nessas regiões em virtude do aquecimento diferenciado ao qual estão sujeitas áreas de cobertura vegetal distinta (Souza et al., 2000).

As circulações de mesoescala numa área desmatada em Rondônia durante a estação seca foram estudadas em Silva Dias e Reignier (1996). Foi utilizado um modelo numérico tridimensional de mesoescala inicializado com campos de grande escala. Foram encontradas grandes diferenças nos fluxos de superfície entre uma área com floresta e uma desmatada. Nessa última região, uma pastagem foi colocada no lugar da vegetação nativa e foi produzida

uma complexa interação entre as circulações de meso e grande escala. A combinação desse efeito levou a: um aumento da magnitude e da profundidade dos movimentos ascendentes; gradientes horizontais de velocidade do vento, temperatura e umidade; e uma camada de mistura mais profunda.

Wang et al. (2000) utilizaram um modelo numérico de mesoescala para investigar o impacto das circulações de mesoescala na distribuição de precipitação e nebulosidade sobre uma região desmatada da Amazônia. Foram utilizados padrões observados de desmatamentos com escalas da ordem de 10 km para descrever as condições de cobertura vegetal. Os resultados sugeriram que as forçantes sinóticas foram dominantes na estação chuvosa e o efeito da heterogeneidade da superfície não pôde ser percebido. Já na estação seca, um perceptível impacto das circulações de mesoescala resultou no fortalecimento da convecção rasa e profunda na região.

O escoamento sinótico nem sempre pode eliminar as circulações de mesoescala induzidas. Baidya Roy e Avissar (2002) mostraram que, por vezes, as circulações de escala maior podem não atenuar as de mesoescala, mas advectá-las para regiões distantes daquelas onde foram geradas, o que nesse estudo foi confirmado através de imagens de satélites. Essas circulações afetam o transporte de calor e umidade na escala sinótica e podem vir a alterar o clima local.

Gandu et al. (2004) utilizaram um modelo regional para avaliar o impacto na atmosfera do desmatamento da porção leste da Amazônia. Os resultados obtidos nessas simulações mostraram que, em geral, a orografia, a presença da costa e a distribuição dos grandes rios da região têm papel importante nas diferenças na precipitação causadas pelo desmatamento.

Próximo ao litoral e aos grandes corpos d'água os resultados indicaram diminuição na precipitação e nebulosidade, o que não foi percebido nas demais áreas.

Rosolem (2005) estudou os impactos do ciclo hidrológico decorrentes do desmatamento regional nas proximidades da rodovia Cuiabá-Santarém através de simulação numérica de alta resolução. Foi encontrada uma redução média de 7% no padrão de precipitação na área desmatada. A distribuição heterogênea do uso da terra induziu a formação de uma célula térmica sobre a região desmatada, que resultou em certa variabilidade espacial da chuva próxima ao setor desmatado. As respostas ao desmatamento também ocorreram de forma diferenciada conforme a faixa de topografia analisada.

No presente trabalho procurou-se estudar o impacto que a mudança do uso do solo pode ocasionar no clima da Amazônia através da modelagem numérica. Foi utilizado o modelo regional de mesoescala BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System), versão com modificações do modelo RAMS (Pielke et al., 1992, Cotton et al., 2003). Ainda que a substituição total e imediata da floresta por vegetação secundária não ocorra na prática, as atuais taxas de devastação tornam necessário o estudo de padrões complexos de desmatamento. Para tanto, foram empregados os resultados de um modelo estocástico (DINAMICA, Soares - Filho et al., 2002), utilizado para prever a cobertura vegetal da Amazônia até o ano de 2050, em função de diversos fatores sócio-econômicos. O modelo DINAMICA fornece dois possíveis cenários futuros, de acordo com a severidade do desmatamento previsto, que foram adotados em conjunto com um cenário de controle que representa a cobertura vegetal atual da Floresta Amazônica. Neste trabalho foram realizadas simulações para períodos representativos das estações chuvosa e seca, bem como para um período de transição seco-chuvoso (Marengo et al., 2001), visando captar os diferentes

impactos hidrometeorológicos que possam ocorrer em diferentes épocas do ano (Rocha et al., 1996).

Alguns detalhes sobre os modelos BRAMS e DINAMICA são encontrados no capítulo 2, onde também são descritos os cenários de desmatamento utilizados e as demais características de cada experimento realizado. No capítulo 3 são mostrados os resultados principais destas simulações, com ênfases nas diferenças simuladas pelos experimentos utilizando os cenários e os que utilizaram a vegetação controle. O capítulo 4 apresenta um sumário de todo o estudo, as conclusões que puderam ser feitas e sugestões para trabalhos futuros.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1. Metodologia

#### 2.1.1. Os Cenários de desmatamento

Uma descrição detalhada do modelo DINAMICA pode ser encontrada em Soares – Filho et al. (2002). Basicamente, esse modelo define dois cenários de desmatamento para a Amazônia, baseados em fatores político-econômicos de gestão da Floresta. O primeiro cenário, definido como "Governance" (GOV), é definido por diversas ações a serem tomadas pelo Estado e pela sociedade civil para proteger os interesses públicos nos recursos naturais, bem como sua utilização, o que inclui legislação apropriada, incentivos de origem fiscal e planejamento do uso da terra. Em outro extremo, o cenário "Business as Usual" (BUS) é baseado nos padrões históricos de investimentos agrícolas e organização das atividades econômicas, caracterizando-se basicamente por taxas anuais de desmatamento bem mais elevadas que o cenário GOV. Segundo Soares – Filho et al. (2004), algumas medidas simples que resultam em menor desmatamento e consideradas como parte do cenário GOV são:

- Redução da especulação por terras (grilagem) pela anulação de títulos ilegais de propriedade.
- Acesso de serviços básicos do Estado para os proprietários (educação, saúde, segurança) fazendo com que sua estadia na localidade seja menos temporária e aumentando a preocupação do mesmo com a conservação da propriedade.
- Organização dos fazendeiros em pequenas cooperativas e associações, onde haja acesso a crédito agrário e assistência técnica, dando suporte a atividades de exploração sustentável da terra.

- Legislação adequada restringindo a fração da propriedade que pode ser desmatada.

Os dados de cobertura vegetal prevista por esse modelo para a região Amazônica e utilizados neste estudo iniciam-se no ano de 2002 e vão até 2050. Nas figuras 1 e 2 vemos os padrões do desmatamento da floresta, para os cenários GOV e BUS respectivamente, dos anos de 2002 e 2050. Algumas regiões se destacam por apresentar elevado grau de desmatamento, associado geralmente à presença de grandes rodovias ou a atividades socioeconômicas intensas, previstos para os próximos anos. Nepstad et al. (2001) mostraram que mais de dois terços do desmatamento observado na Amazônia acontece na faixa de 50 km ao redor das principais rodovias da região. Como exemplo de áreas de desmatamento elevado influenciadas pela proximidade de estradas nota-se a região ao longo das rodovias BR-163 (a Cuiabá-Santarém no sudoeste do estado do Pará), a Transamazônica (região central do Pará), a BR-319 (região central do estado do Amazonas) e a BR-364 (fronteira dos estados do Acre e Amazonas). As regiões de desmatamento acentuado ao longo dos grandes rios e no Nordeste do estado do Pará estão relacionadas a outros fatores já que, em virtude da alta densidade populacional existente nessas áreas diversas atividades que resultam no desmatamento podem ocorrer.

### 2.1.2. Configuração dos Experimentos

Para as simulações deste trabalho, foi utilizado o modelo BRAMS, que vem a ser uma versão do já bem documentado modelo RAMS (Pielke et al., 1992; Cotton et al., 2003) com algumas alterações. Este último é um modelo regional, usualmente aplicado para estudos de mesoescala com finalidades diversas, desde processos atmosféricos e de superfície de curto prazo (Pielke et al., 1992) até, mais recentemente, simulações climáticas (Liston e Pielke, 2001, Lu et al., 2001). O domínio utilizado nas simulações tem 99 pontos na direção zonal e 77 pontos na direção meridional, sendo o espaçamento entre os pontos de 80 km, cobrindo

grande parte da América do Sul e oceanos adjacentes (figura 3). Na vertical, foram definidas 32 camadas, sendo que a mais próxima da superfície possui espessura de 100 m e a espessura de cada camada nível acima é aumentada por um fator de 1.2. Quando a camada alcança uma espessura de 1000 m, esta se mantém constante nas camadas verticais restantes acima.

Dado o diferente impacto que a mudança do uso do solo pode causar em função da época do ano, foram realizadas simulações para períodos distintos do ano, com a intenção de se captar as características das estações *chuvosa*, *seca* e do período de *transição* seco-chuvoso. Diversos estudos se preocuparam em detalhar o comportamento da precipitação na Amazônia (Marengo et al., 2001, Liebmann e Marengo 2001, Rao et al., 1996, Marengo 1992, Figueroa e Nobre 1990, entre outros) e, dada a sua variabilidade espaço-temporal, foi escolhido o mês de janeiro para se representar a estação chuvosa, o mês de agosto para a estação seca e o mês de novembro para a estação de transição.

Cada uma das simulações teve duração de 45 dias, com início no dia 15 do mês anterior. Os 15 dias iniciais foram desprezados, pois é um período que se espera para que o modelo tenha entrado em equilíbrio entre as condições de fronteira iniciais e a dinâmica interna do modelo. Assim, as simulações do período chuvoso foram de 15 de dezembro ao fim de janeiro, as do seco foram de 15 de julho a 31 de agosto, e as do período de transição de 15 de outubro a 30 de novembro.

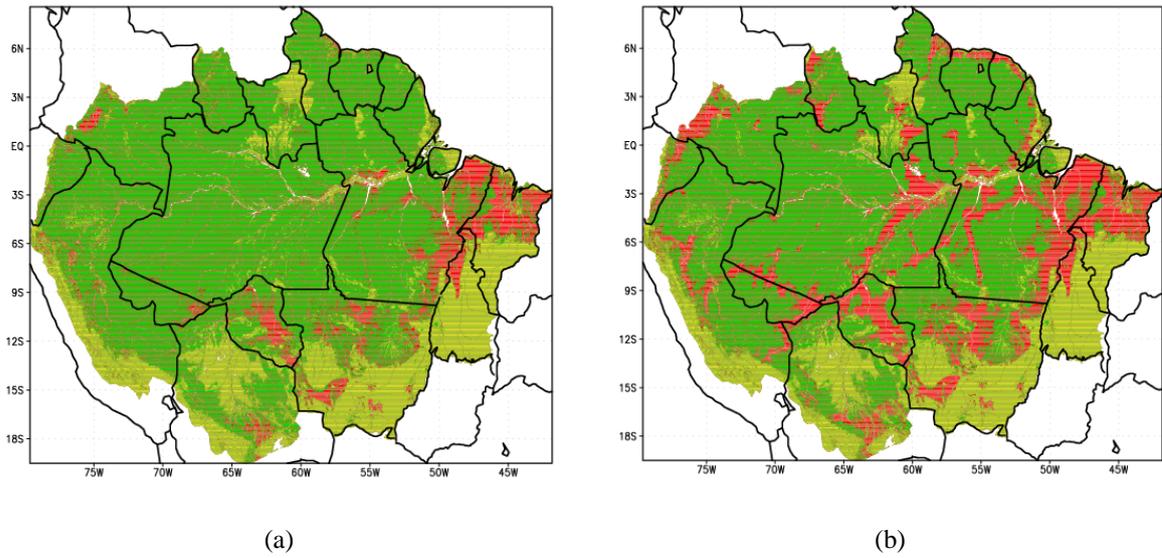


Fig. 1 - Cobertura Vegetal prevista para a Região Amazônica para os anos de 2002 (a) e 2005 (b) (Verde=Floresta, Vermelho=Desmatamento, Amarelo=Cerrado) para o cenário GOV.

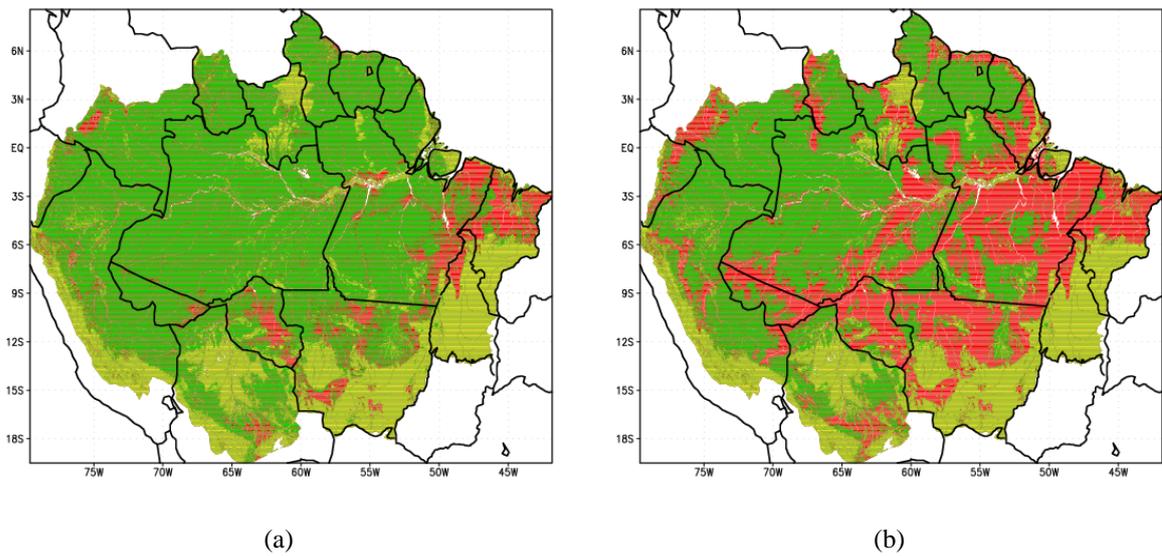


Fig. 2 – Idem a figura 1, para o cenário BUS.

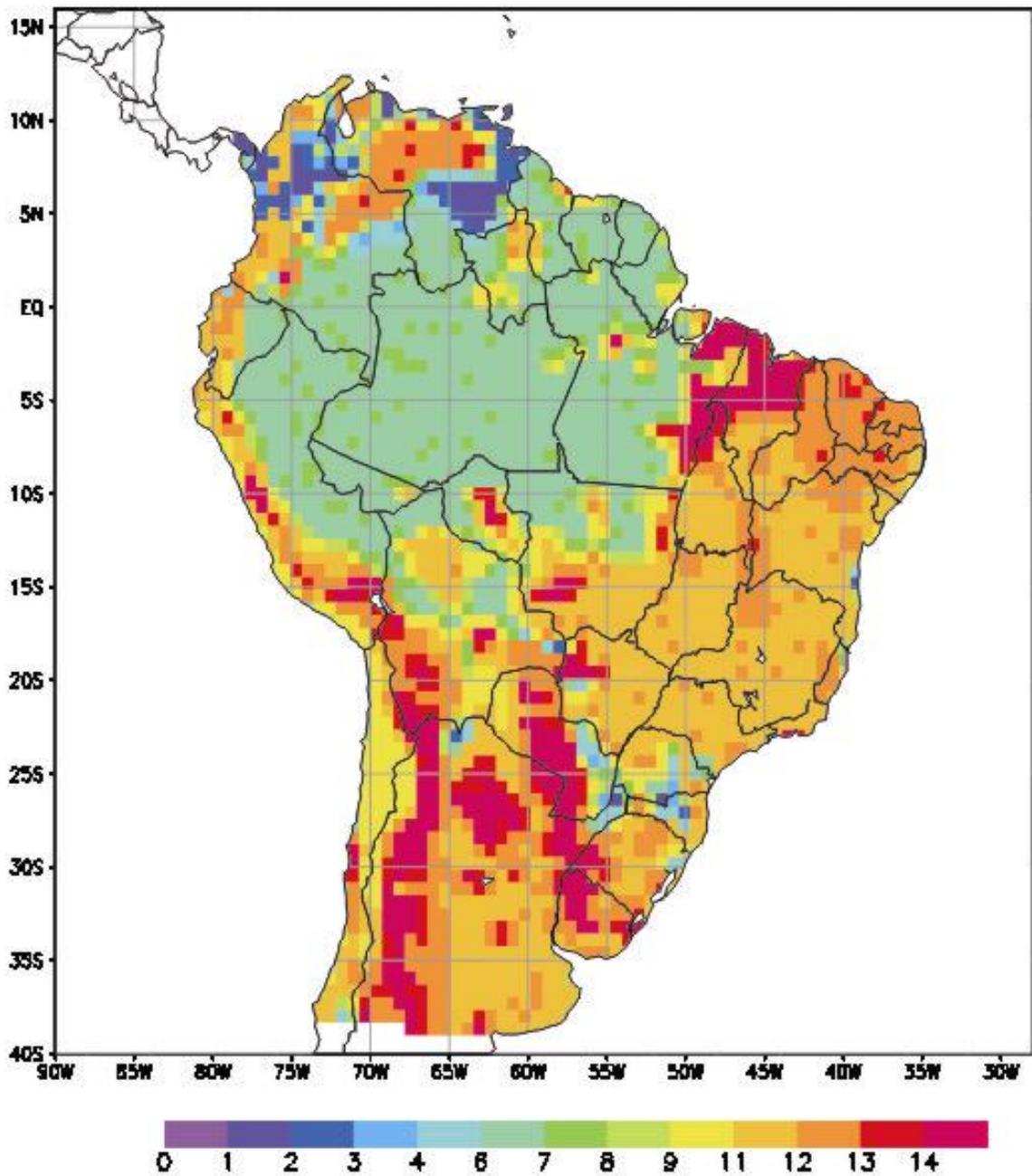


Figura 3 – Mapa de vegetação da área modelada, na região Amazônica observa-se a presença de floresta (7), cerrado (13) e pastagem (15).

Existe, acoplado ao modelo BRAMS, o SVAT Land Ecosystem-Atmosphere Feedback Model 2 (LEAF-2). Esse SVAT é uma representação dos elementos da superfície como vegetação, solo, lagos, oceanos, cobertura de neve, suas interações entre si e com a atmosfera (Walko et al., 2000). O LEAF-2 possui equações prognósticas para temperatura e umidade do solo (em

vários níveis), temperatura da vegetação, água na superfície (incluindo orvalho e precipitação interceptada) além de temperatura e conteúdo de umidade do ar no dossel vegetativo. Uma característica do LEAF-2 é a capacidade de representar variações na cobertura vegetal em uma escala inferior a da célula do modelo. O algoritmo permite que diversos tipos de vegetação coexistam num mesmo ponto de grade interagindo com a coluna de ar superior. Existem subdivisões das células do modelo onde cada uma dessas sub-células (ou *patches*) possui um tipo de cobertura vegetal característico e interage isoladamente com a coluna atmosférica superposta, com um peso proporcional a fração da área daquele *patch* dentro da célula de grade. Não existe, entretanto, distinção da localização espacial de cada patch dentro da célula, a interação de cada um deles com a atmosfera (e uns com os outros) se dá levando em conta apenas a proporção da área ocupada. A figura 4 mostra o esquema de funcionamento do LEAF-2 para um exemplo de dois patches representando a atmosfera livre (A), o dossel (C), a vegetação (V), a cobertura de neve (S) e o solo (G). O patch nº 2 contém duas camadas de neve enquanto o nº1 não possui nenhuma. Cada grupo de três letras representa um fluxo determinado. A primeira letra representa se o fluxo é de água (w), de calor (h) ou radiativo (r). A segunda letra representa a origem e a terceira o destino desse fluxo. Por exemplo, wgc representa fluxo de água do solo para o dossel.

Integrado ao LEAF-2 há ainda o modelo hidrológico TOPMODEL (Hornberger et al., 1985; Silvaplan et al., 1987). Esse modelo resolve o transporte lateral de água entre diferentes regiões do solo. Como o transporte de água no LEAF-2 se dá de maneira exclusivamente vertical, a inclusão do TOPMODEL auxilia na representação do que acontece na natureza no tocante ao transporte de água no solo. Como as células do modelo são divididas em patches, o modelo hidrológico redistribui a água no solo não somente entre os pontos de grade, mas,

eventualmente, entre os patches dentro de uma mesma célula. As demais parametrizações utilizadas nos experimentos são mostradas na tabela 1.

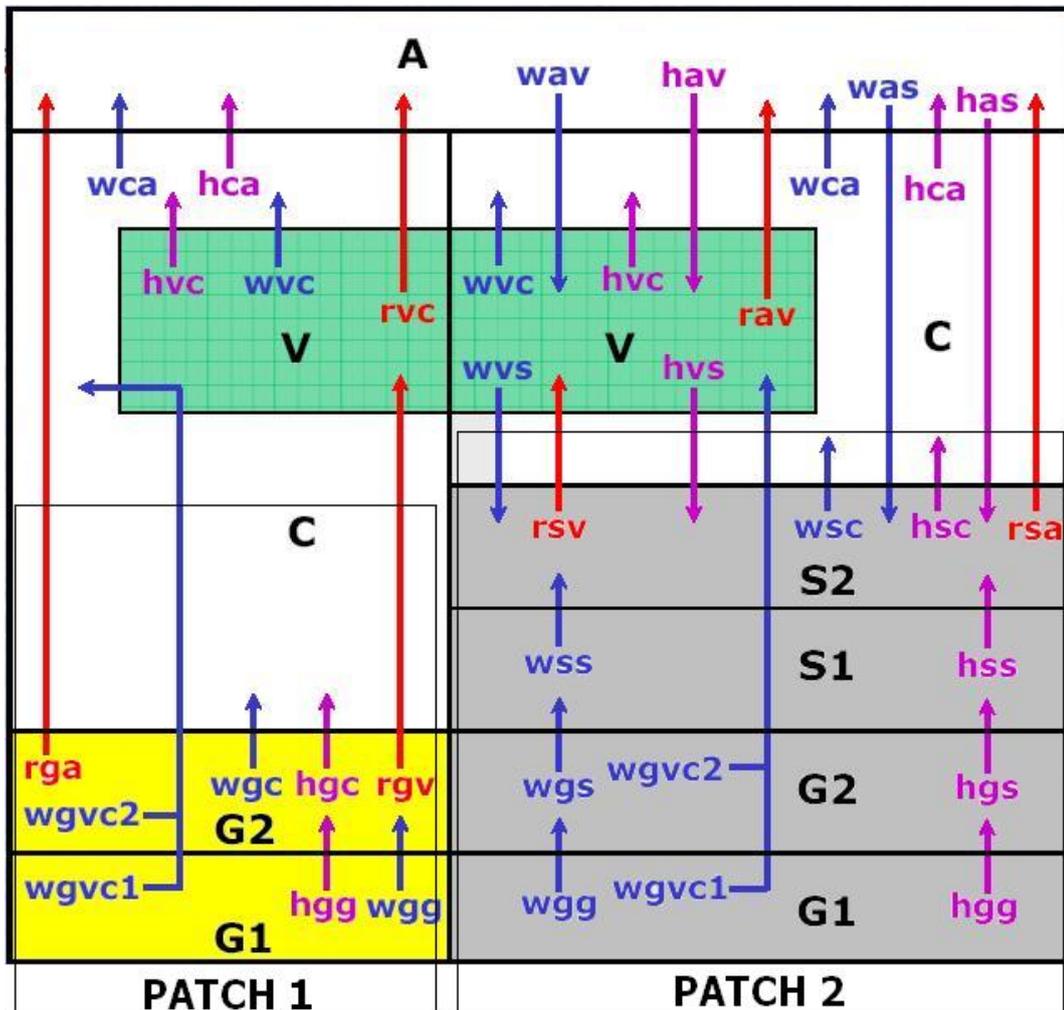


Figura 4 – Esquema de funcionamento do LEAF-2 (fonte: Walko et al., 2000, adaptado).

Todas as simulações foram inicializadas com dados de geopotencial, temperatura, umidades relativas e componentes horizontais do vento obtidas das reanálises do National Center for

Environmental Prediction (NCEP) (Kalnay et al., 1996) do ano de 2002. Essas informações são fornecidas em níveis de pressão padrões em uma grade de  $2,5^\circ$  latitude  $\times$   $2,5^\circ$  longitude. As condições de contorno laterais também foram retiradas das reanálises do NCEP. A temperatura da superfície do mar (TSM) foi definida em uma grade global de  $1^\circ$  de espaçamento de acordo com as análises semanais do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e interpolada para se encontrar os valores de TSM utilizados nos experimentos com o BRAMS.

**Tabela 3 – Parametrizações de processos físicos no modelo utilizadas nos experimentos.**

<b>PROCESSO</b>	<b>Principais características</b>
Radiação	Interação da radiação solar com as nuvens simuladas pelo modelo (Chen e Cotton, 1983, Chen e Cotton, 1987).
Convecção	Parametrização do tipo Grell com fechamento Grell – (Grell, 1993)
Difusão Turbulenta	Fechamento de ordem 2.5 (Mellor e Yamada, 1982).
Microfísica de Nuvens	Completa, 7 espécies de hidrometeoros, (Cotton et al., 2003).

A representação adequada do conteúdo de umidade do solo inicial é de extrema importância para que o ciclo hidrológico seja corretamente simulado (Douville e Chauvin, 2000; Chen e Dudhia, 2001). Por isso, optou-se por fornecer, no instante inicial, um campo de umidade do solo espacialmente heterogêneo. Esse campo foi adquirido através de um modelo numérico que estima o conteúdo de umidade do solo a partir de dados de precipitação obtidos por satélites aplicados a um modelo hidrológico simples (Gevaerd e Freitas, 2004). Nesse modelo,

os dados de uso e textura do solo são utilizados para descrever as características biofisiológicas e o produto final consiste em campos tridimensionais diários do volume de água. Os campos de umidade de solo utilizados como condição inicial para as simulações do período chuvoso (15 de dezembro de 2001), seco (15 de julho de 2002) e de transição (15 de outubro de 2002) são mostrados na figura 5. Nota-se, principalmente, uma grande semelhança no padrão de umidade do solo nos campos que representam as estações seca e de transição, indicando que no mês de outubro de 2002 o padrão de chuvas não havia sido suficiente para recuperar o conteúdo de umidade do solo tornando as características bastante similares à estação seca.

As simulações apresentadas neste trabalho são classificadas de acordo com a cobertura vegetal utilizada como condição de contorno inferior e com a época do ano a qual se referem (período chuvoso, seco e de transição). Quanto à cobertura vegetal, foram utilizados os cenários BUS e GOV, já mencionados, do ano de 2050, na tentativa de se representar um panorama futuro do uso do solo da floresta Amazônica. As simulações que se utilizam dessas condições são referidas como BUS-2050 e GOV-2050, respectivamente. Para se reproduzir a cobertura vegetal atual da floresta, foram utilizados dados dos cenários para o ano de 2002, aos quais serão referidas como simulação CONTROLE. Nas regiões da grade onde não havia informação fornecida pelos cenários de desmatamento foi utilizada a base de dados do United States Geological Survey (USGS). Todas essas informações de uso do solo possuem espaçamento horizontal de 1 km.

Assim sendo, as três simulações de cada período (seco, chuvoso e de transição) podem ser resumidas de acordo com a tabela 2 em função da cobertura vegetal utilizada como condição de contorno.

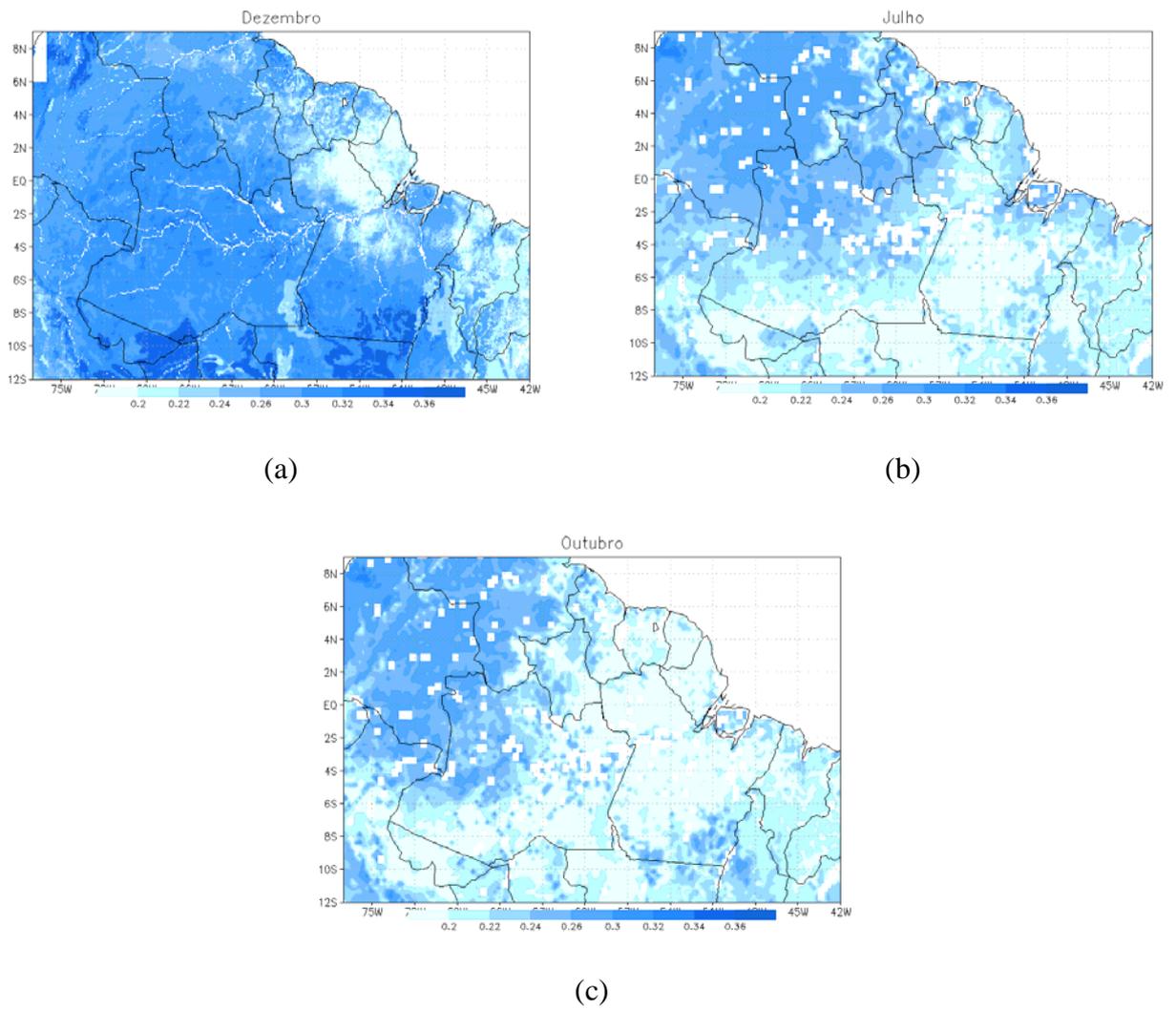


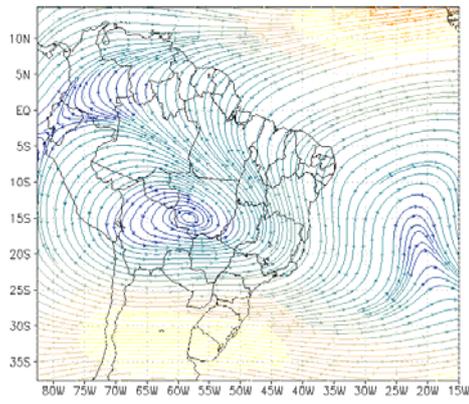
Figura 5 – Campos de umidade do solo (mm) utilizado como condição inicial nas rodadas do período chuvoso (a), seco (b) e de transição (c).

**Tabela 4 – Descrição dos Experimentos**

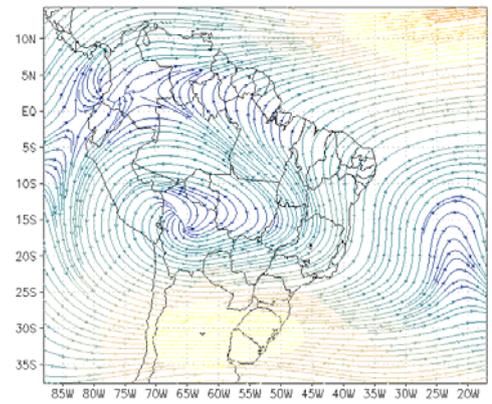
Experimento	Vegetação
Controle	Cenário inicial de 2002
BUS – 2050	<i>Bussiness-as-usual</i> para o ano de 2050
GOV – 2050	<i>Governance</i> para o ano de 2050

## 2.2. Resultados

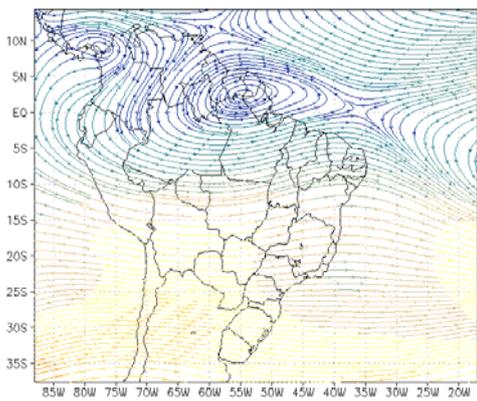
A validação dos experimentos CONTROLE (para os 3 períodos) foi feita pela comparação dos campos meteorológicos simulados com diferentes bases de dados disponíveis sobre a região e períodos de interesse neste trabalho. Dessa forma, procurou-se avaliar se o modelo estaria representando adequadamente as condições meteorológicas especialmente em escala sazonal. O primeiro dos campos a ser comparado foi o de escoamento nos níveis mais altos da atmosfera. Os valores médios fornecidos pelas reanálises do NCEP/NCAR para o período de janeiro de 2002 mostram o sistema da Alta da Bolívia configurado sobre a região de fronteira entre o estado do Mato Grosso e a Bolívia (Fig. 6a) enquanto que a simulação CONTROLE do período chuvoso localizou este sistema ligeiramente a oeste (Fig. 6b). Um outro importante sistema presente nas informações da reanálise é um cavado bem configurado sobre a área do Oceano Atlântico (Fig. 6a) que também pode ser observado nos dados simulados (Fig. 6b). No período seco, os dados de reanálise mostram a presença de um vórtice de altos níveis sobre a região norte da América do Sul (Fig. 6c), que foi simulado no experimento CONTROLE desse período (Fig. 6d). O experimento também confirmou a presença do jato subtropical com magnitude ligeiramente inferior a 40 m/s localizado no norte da Argentina (Fig. 6d), como mostram os dados de reanálises (Fig. 6c). No período de transição entre as estações chuvosa e seca, os dados de reanálises apresentam uma configuração semelhante à do período chuvoso já mostrado. Neste período, no entanto, o cavado presente sobre a região do Oceano Atlântico está influenciando mais o continente, especialmente a região Nordeste do Brasil (Fig. 6e). Tal comportamento também pode ser observado nos dados simulados pelo experimento CONTROLE do período de transição (Fig. 6f).



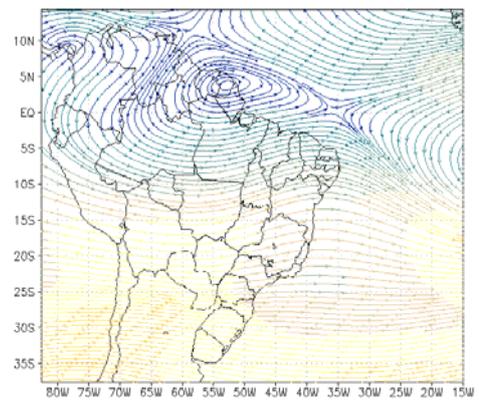
(a)



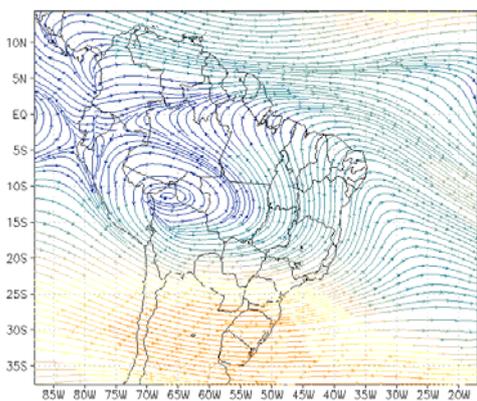
(b)



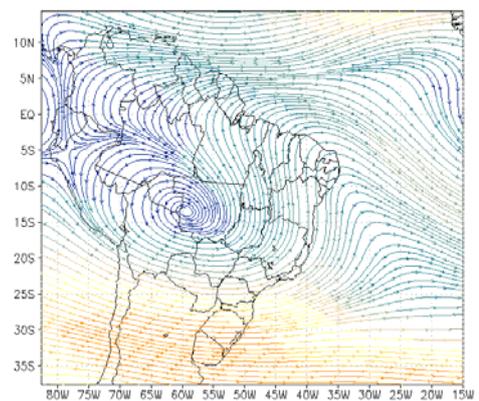
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 6 – escoamento médio do vento fornecido pelo NCEP dos meses de janeiro (a), agosto (c) e novembro de 2002 (e) e simulados para os períodos chuvoso (b), seco (d) e de transição (f).

Procurou-se avaliar como o modelo representou os padrões de precipitação para os períodos estudados nos experimentos deste trabalho. Para tanto, foram utilizadas informações do Climate Prediction Center (CPC/NOAA). Essa base consiste em dados de diários de precipitação com um espaçamento horizontal de 1° de latitude por 1° de longitude que foram comparados com as informações de precipitação produzidas pelos experimentos CONTROLE de cada um dos períodos (seco, chuvoso e de transição). No caso da estação chuvosa (representada nos experimentos pelo período de janeiro de 2002), os padrões observados de precipitação fornecidos pelo CPC indicam que o mês de janeiro teve índices de precipitação maiores na porção leste da Amazônia, mais precisamente nos estados do Pará e Maranhão e também próximos ao litoral (figura 7a). Vários estudos anteriores já documentaram a distribuição espacial e variação anual da chuva nessa região (Figuroa e Nobre, 1990; Marengo 1992) bem como sua relação com a circulação de escala global (Horel et al., 1989; Hastenrath, 1997). Os valores máximos de precipitação apontados pelo CPC (maiores de 16 mm/dia) se aproximam dos sugeridos pelos estudos para esta região.

A simulação CONTROLE realizada para a estação chuvosa demonstrou concordância qualitativa com os padrões observados do CPC. Como pode ser visto na figura 7b, os valores máximos de precipitação em mm/dia foram adequadamente localizados na porção leste da área de interesse. Entretanto, a magnitude da precipitação simulada foi inferior à apresentada (aproximadamente 4mm/dia).

Para os períodos seco e de transição seco-chuvoso, os índices de precipitação apontados pelo CPC foram, como esperado, extremamente baixos. A figura 8 mostra que os índices pluviométricos estiveram em torno de 2 a 4 mm/dia, sendo que no período seco a precipitação ficou restrita à porção oeste da área estudada. As simulações CONTROLE dos dois períodos

apontaram valores igualmente pequenos de precipitação (não mostrados) e não foi possível estabelecer relações com os dados fornecidos pelo CPC.

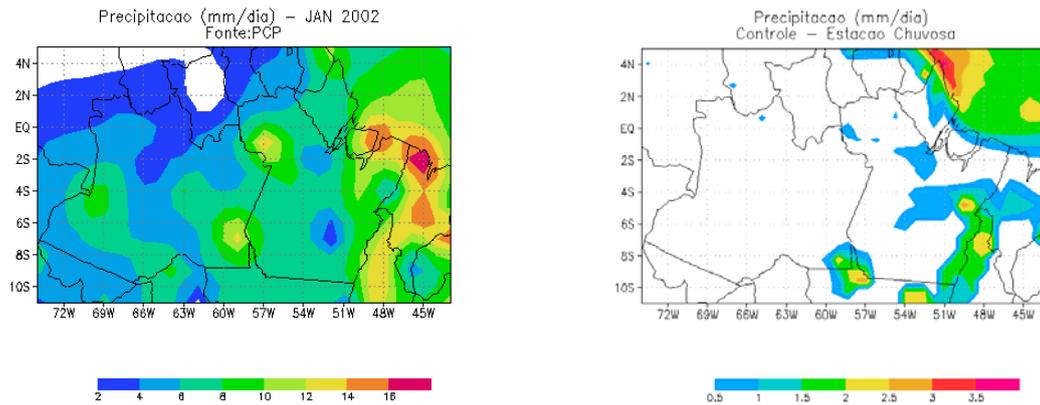


Figura 7 – Precipitação fornecida pelo CPC/NOAA para janeiro de 2002(a) e simulada pelo experimento CONTROLE da estação chuvosa. Valores em mm/dia

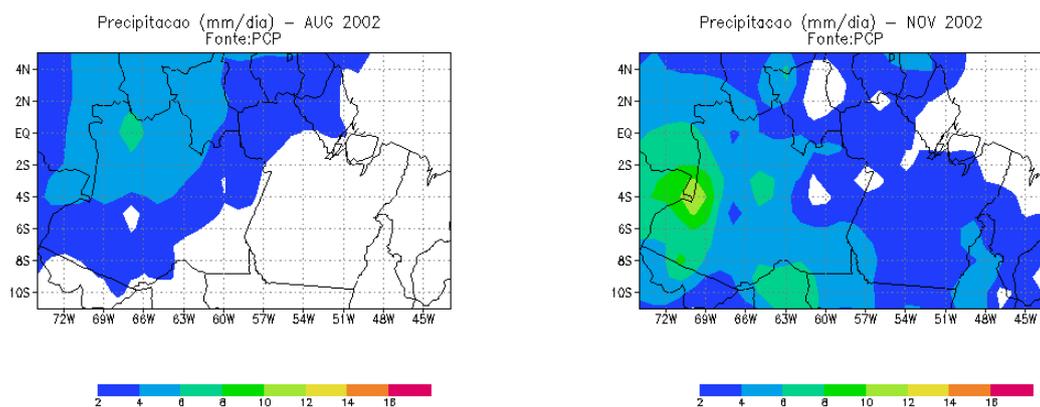


Figura 8 – Precipitação fornecida pelo CPC/NOAA para os meses de agosto e novembro de 2002(a). Valores em mm/dia

### 2.2.1. Impacto simulado nas variáveis meteorológicas

A mudança da cobertura vegetal altera diversos parâmetros biofísicos que exercem controles específicos sobre as variáveis hidrometeorológicas, dessa maneira as mudanças propostas pelos cenários BUS e GOV devem acarretar em diversos impactos sobre algumas características da atmosfera. As figuras 9 e 10 mostram, para a região da floresta, o percentual de transformação de área de floresta em área de pastagem (ou taxa de desmatamento) ocorrida no período mencionado para os cenários BUS e GOV, respectivamente. Nesta sessão, pretende-se mostrar as diferenças entre diversas variáveis simuladas entre os experimentos CONTROLE e um dos dois experimentos que utilizaram os cenários de desmatamento (BUS ou GOV). Foram analisadas diferenças entre os valores médios para os 30 dias de cada período de simulação (chuvoso, seco ou transição) e o período equivalente de simulação controle. Tal diferença foi calculada sobre uma região representativa da floresta amazônica resultando em um campo para cada cenário/período. Nas figuras 11 a 16 pode-se observar diferenças simuladas em variáveis ligadas ao ciclo hidrológico e ao balanço de energia na superfície, como precipitação e fluxos de energia. Também é analisada a relação entre essas diferenças e a taxa de desmatamento observada em cada ponto para o período 2002 até 2050. Essa última análise visa estabelecer relações entre as regiões com as maiores taxas de desmatamento e as regiões onde o impacto hidrometeorológico simulado foi igualmente elevado.

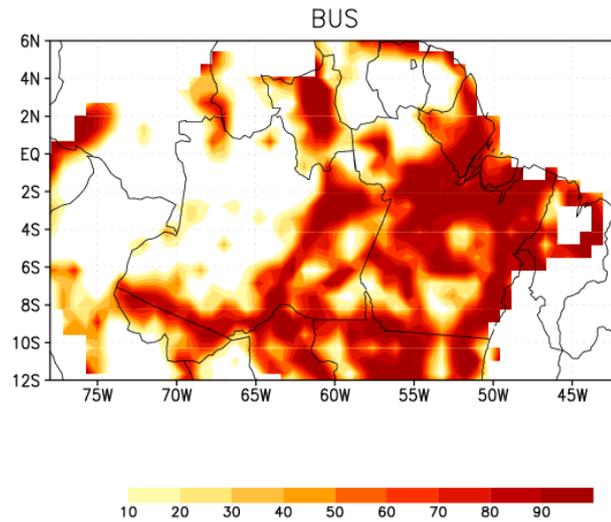


Figura 9 – Taxa de desmatamento (em %) do período 2002-2050 para o cenário BUS

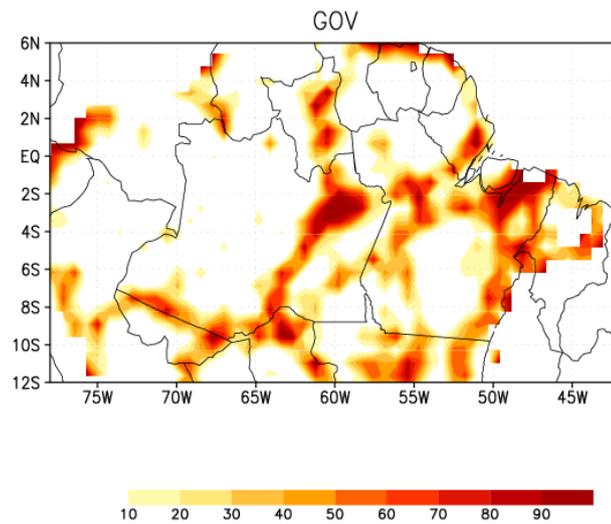


Figura 10 – Idem a figura anterior para o cenário GOV

Acompanhando os trabalhos clássicos sobre impactos da mudança de uso do solo, as análises iniciais mostram as diferenças simuladas para o campo de temperatura do ar a 2 metros da superfície, variável na qual é esperado que se reflita a mudança no particionamento de energia próximo ao solo em consequência do desmatamento. Comportamentos diferenciados são encontrados em função da escala espacial de cada análise feita. Considerando a região total da floresta (que para efeitos do presente trabalho foi delimitada pela região 11S-5N, 74W-43W)

encontramos um valor ligeiramente positivo para o impacto simulado na temperatura na superfície (como pode ser observado na tabela 3, que mostra o impacto em diversas variáveis). Ao se detalhar espacialmente as análises, outros comportamentos mais específicos podem ser observados.

**Tabela 3 – Diferenças simuladas médias para a região (Lat=11S-5N;Lon=74W-43) nos diferentes cenários e períodos.**

	<b>Chuvoso</b>		<b>Seco</b>		<b>Transição</b>	
	<i>BUS</i>	<i>GOV</i>	<i>BUS</i>	<i>GOV</i>	<i>BUS</i>	<i>GOV</i>
T2m (°C)	0.0217	0.0075	0.2144	0.0744	0.2053	0.0702
Le (W/m <sup>2</sup> )	-3.04	-0.995	-0.698	-0.336	-1.950	-0.531
H (W/m <sup>2</sup> )	7.812	3.036	10.66	4.345	13.095	5.116
Mag (m/s)	0.084	0.036	0.2045	0.0832	0.1256	0.0613
Prec (mm/dia)	0.245	0.105	0.0493	0.0155	0.0701	0.0132

Primeiramente têm-se a forte correspondência entre as regiões de maior taxa de desmatamento e de maior diferença de temperatura (figura 11). Pode ser visto que em todos os casos e períodos, as regiões onde a taxas de desmatamentos são elevadas (maiores que 50 ou 80%, dependendo do cenário) coincidem com as regiões onde o aumento de temperatura é mais pronunciado. Isso reflete o efeito da mudança do particionamento de energia que acontece com a mudança do uso do solo e concorda com a maioria dos estudos clássicos sobre o assunto. Entretanto, para um desmatamento ocorrendo em escalas mais restritas, diversos efeitos não-lineares acabam por contribuir para o surgimento de diferentes padrões. No

exemplo da figura 11 são observadas algumas regiões (geralmente vizinhas às de diferença positiva máxima) onde a diferença simulada de temperatura na superfície são negativas e estão espacialmente associadas às de diferença positiva máxima. Esse comportamento pode ser observado na região central do estado do Amazonas no cenário GOV, estação chuvosa e no norte do estado do Pará no cenário GOV, estação de transição. Tal efeito sugere algum tipo de transporte ocorrendo entre essas duas regiões em função da heterogeneidade da cobertura vegetal.

Na comparação entre os 3 períodos do ano e os 2 cenários para a temperatura na superfície, vemos que em termos de magnitude as maiores diferenças são encontradas na época seca. Os período de transição e seco apresentaram-se bastante semelhantes, o que pode ser explicado pela semelhança entre as condições iniciais de umidade do solo para os dois casos (figura 5). Para a época de transição estudada, os dados indicam que, pelo menos no mês de novembro, a “memória” da estação seca ainda era muito presente e houve uma recuperação do conteúdo de umidade do solo muito pequena. O cenário BUS foi o que apresentou as maiores diferenças, o que já era esperado inicialmente em função da maior taxa de alteração do uso do solo presente neste cenário.

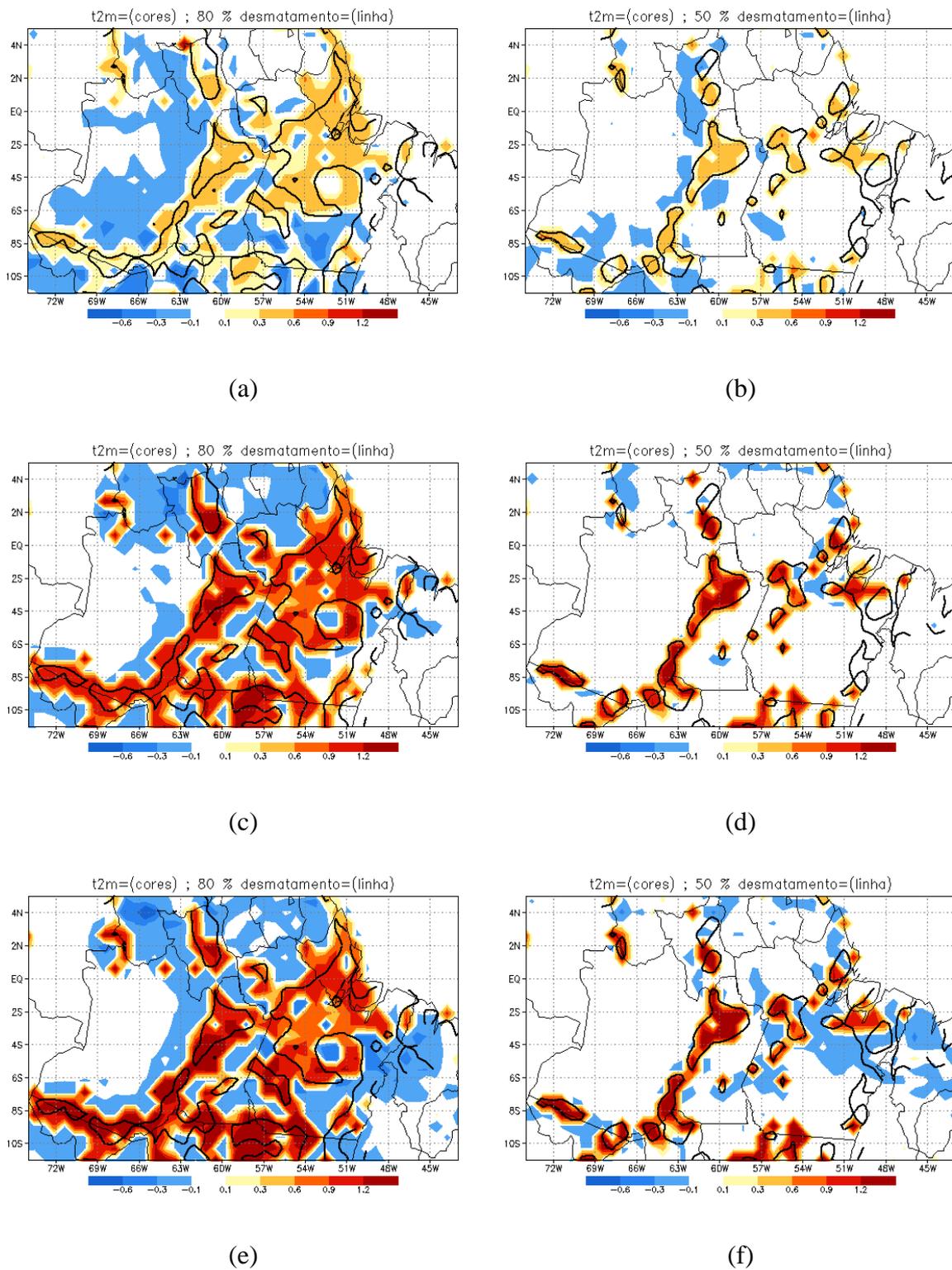


Figura 11- Diferenças simuladas de Temperatura a 2m da superfície (°C) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

Ressalta-se que os impactos sentidos na temperatura a superfície são resultados da diferença no particionamento de energia próximo ao solo que ocorre em função do desmatamento. Logo, a análise dos fluxos de energia pode nos dar alguma informação sobre o papel da mudança do uso do solo nesse particionamento diferenciado. Para tanto, foram analisadas as diferenças simuladas entre os cenários e a simulação controle dos fluxos de calor latente ( $Le$ ) e sensível ( $H$ ) junto à superfície, nas mesmas formas da análise feita sobre os campos de temperatura.

A exemplo do ocorrido com a temperatura, o cenário em que uma maior área de floresta foi substituída por vegetação secundária teve influência sobre os fluxos de calor sensível e latente. Conforme pode ser visto nas figuras 12 e 13 as diferenças simuladas para  $H$  e  $Le$  nos experimentos BUS tiveram magnitudes sempre maiores do que as encontradas nos experimentos GOV. A tabela 4 exhibe os valores percentuais dos impactos causados sobre os fluxos confirmando tal característica.

**Tabela 4 – Diferença percentual simulada para a região (Lat=11S-5N;Lon=74W-43) nos diferentes cenários e períodos**

	Chuvoso		Seco		Transição seco-chuvoso	
	BUS	GOV	BUS	GOV	BUS	GOV
$Le$ ( $W/m^2$ )	-4%	-0,137%	-4,5%	-2%	-9,3%	-2,5%
$H$ ( $W/m^2$ )	27%	11%	64%	26%	62%	14%

Os campos de fluxo de calor sensível (figura 12) mostram um comportamento semelhante ao da temperatura (figura 11) quanto à relação espacial entre as maiores taxas de desmatamento da floresta e as maiores diferenças simuladas entre os cenários e a simulação controle. Na região central do estado do Amazonas e na fronteira com o Acre é possível observar com

clareza uma concordância entre os máximos de diferença simulada com as isolinhas de 50-80% de desmatamento. Entretanto, para o fluxo de calor latente (figura 13), as simulações não conseguiram reproduzir de maneira eficiente esta relação. Para os experimentos que se utilizaram do cenário GOV (onde os impactos simulados foram bem menores que os do cenário BUS) os valores de aumento (ou atenuação) se mostraram espalhados de maneira aleatória sobre o domínio estudado (o que se configura com mais clareza na estação chuvosa, vide figuras 12a e 12b).

Comparando-se os 3 períodos do ano estudados, as figuras 12 e a tabela 2 ratificam que na estação chuvosa o impacto causado nos fluxos de calor pelo desmatamento é de menor intensidade quando comparado com as estações seca e transição seca-chuvosa. Esses dois últimos períodos apresentaram diferenças simuladas de 2 a 4 vezes os da estação chuvosa e, entre si, mostraram forte semelhança tanto no tocante à magnitude dos impactos modelados quanto na distribuição espacial dos mesmos. As regiões de máximo/mínimo do período seco concordam em muitas das vezes com as encontradas no período de transição. Tal resultado remete à semelhança na condição inicial de umidade do solo e ressalta a importância deste parâmetro nos processos relevantes aos fluxos de energia em superfície. Como a umidade do solo utilizada como condição inicial foi similar nos experimentos das estações seca e transição, os impactos simulados por esses experimentos foram igualmente parecidos.

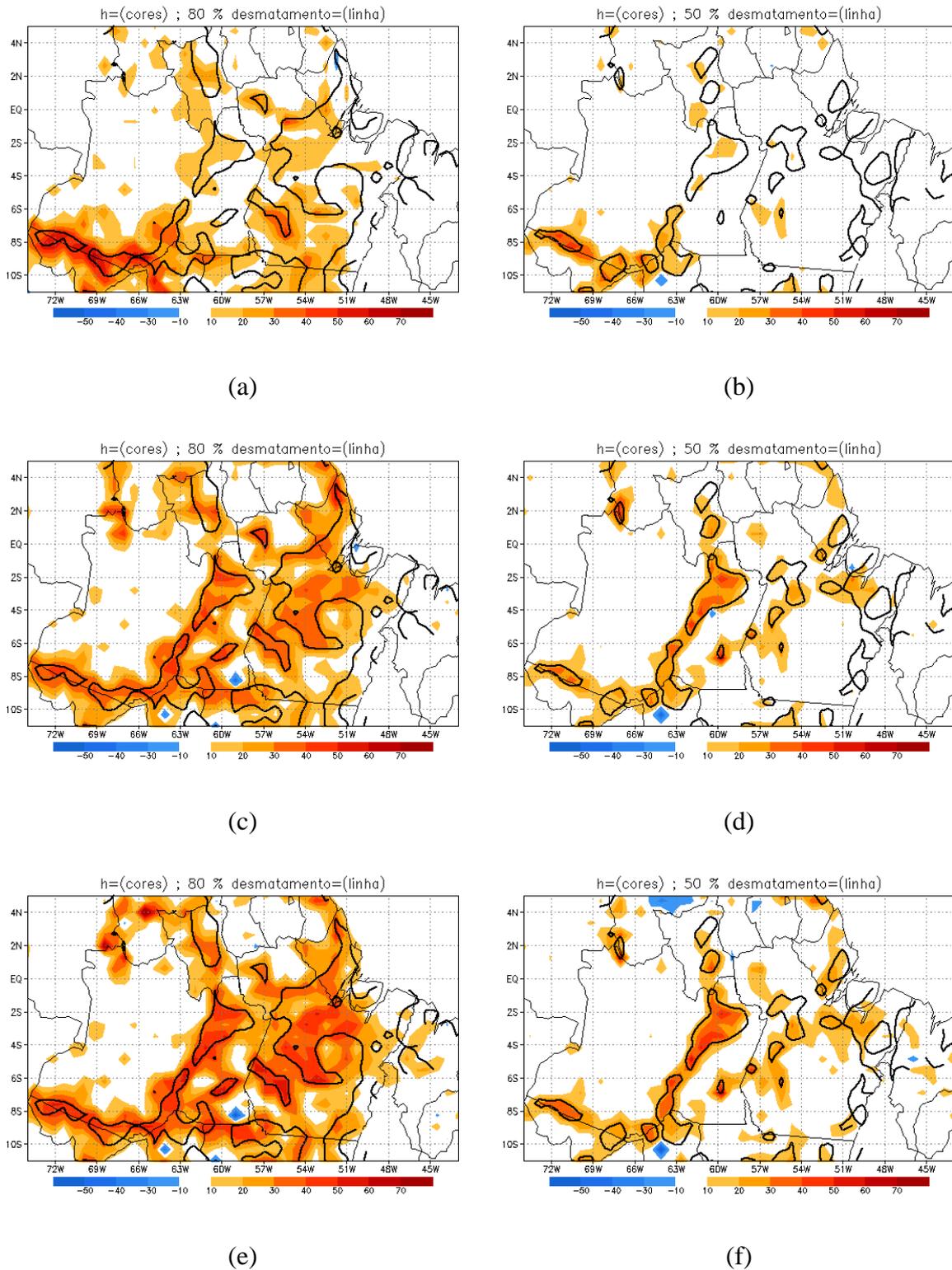


Figura 12 – Diferenças simuladas de  $H$  ( $\text{W/m}^2$ ) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

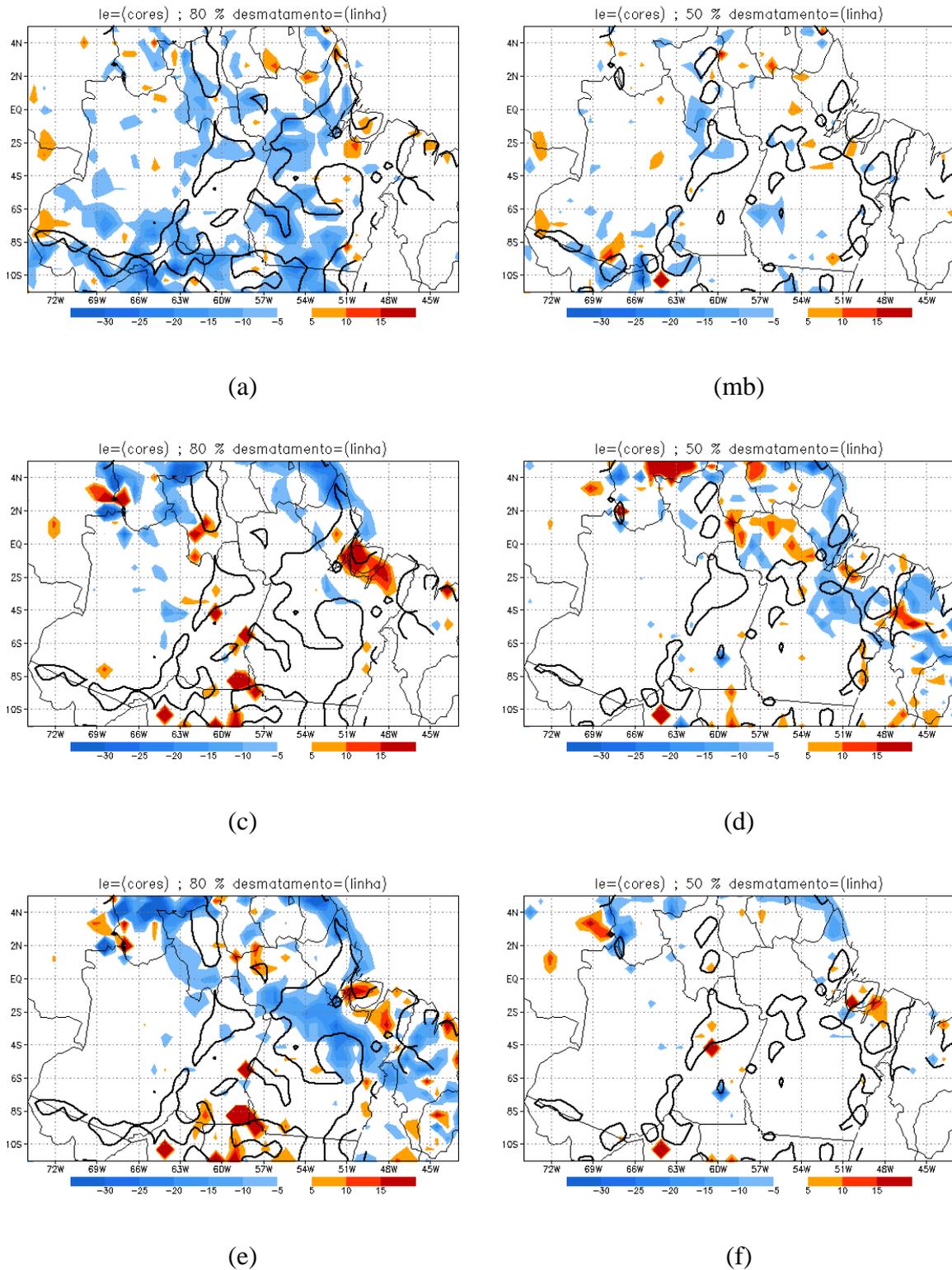


Figura 13 – Diferenças simuladas de LE ( $W/m^2$ ) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

Os fluxos de energia são dependentes dos ventos próximos à superfície. As trocas de calor sensível e latente entre a superfície e a atmosfera ocorrem devido à mistura turbulenta do ar e o transporte de calor e umidade resultante para outras regiões. Com o aumento da magnitude dos ventos próximos à superfície também aumenta, por consequência, a mistura turbulenta nos níveis mais baixos da atmosfera. Assim, espera-se que uma elevação da velocidade dos ventos leve também a um aumento dos fluxos.

Na figura 14, são mostradas as diferenças simuladas entre cenários e simulação controle para a magnitude do vento no nível mais próximo à superfície dos experimentos numéricos. O impacto da mudança do uso do solo sobre a circulação atmosférica se dá devido a alteração de parâmetros biofísicos que têm um papel fundamental na circulação sobre uma área florestada. Na troca de floresta por pastagem, temos a redução da rugosidade e da altura média do dossel vegetativo, o que leva a uma consequente redução do atrito entre a superfície e os ventos o que deve levar a um aumento da magnitude média. De fato, observa-se que para todos os experimentos realizados o desmatamento acarretou em um aumento da velocidade do vento. Em concordância com as análises anteriores, esse impacto foi maior nas simulações que utilizaram o cenário BUS.

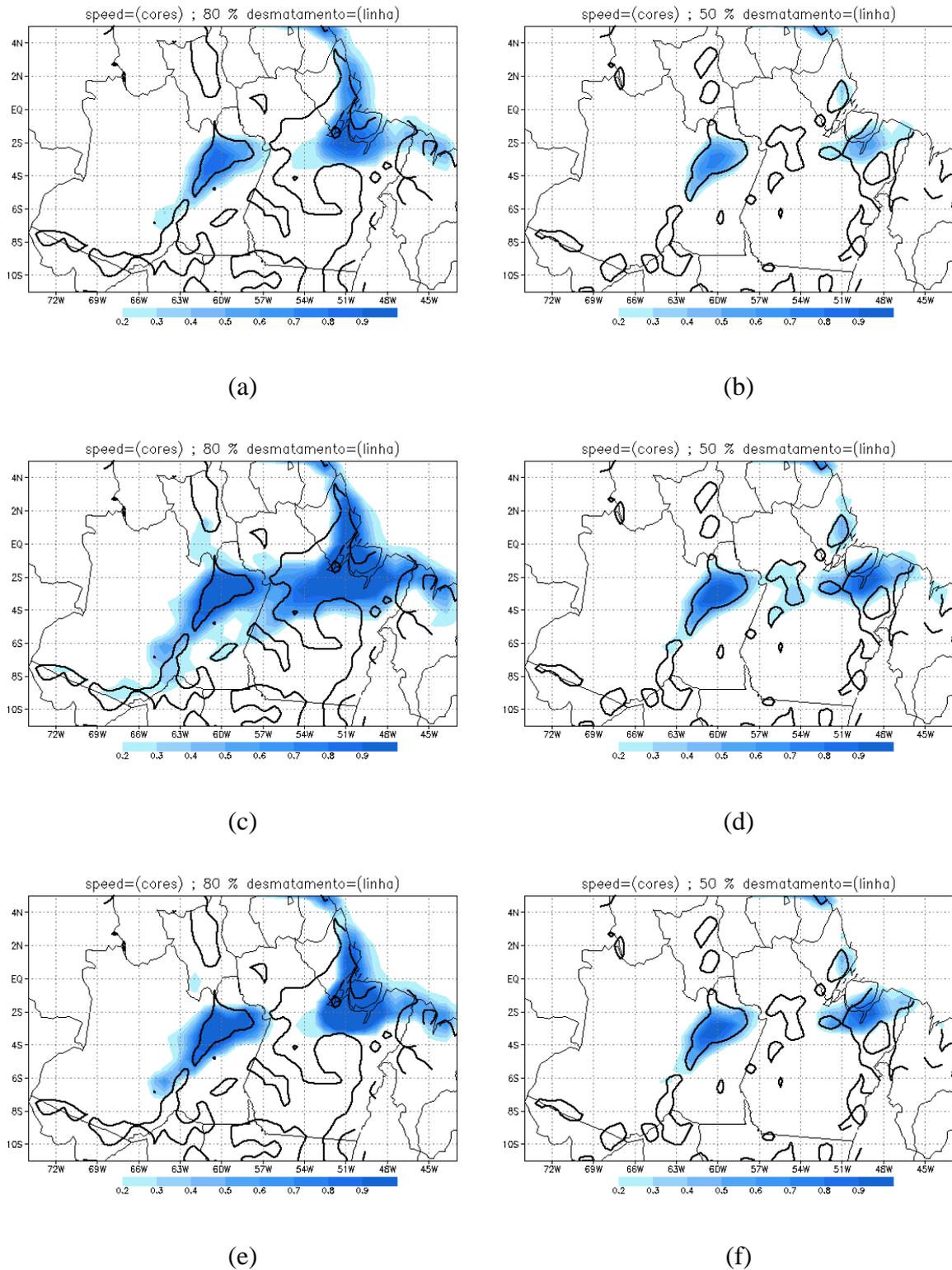


Figura14 – Diferenças simuladas de magnitude do vento (m/s) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

Para o caso do vento, é possível perceber que os maiores aumentos nas magnitudes simuladas são encontrados principalmente junto do litoral. De fato, os maiores impactos foram realmente observados nas regiões onde o vento já possui magnitude originalmente elevada. O litoral dos estados do Pará e do Maranhão são regiões climatologicamente caracterizadas por ventos fortes próprios da circulação dos alísios existente nessa região. Observando a figura 15, onde são mostradas as médias das magnitudes simuladas de vento pelos experimentos CONTROLE dos 3 períodos do ano estudados, vemos que, além do máximo de magnitude localizado no litoral, encontramos também um máximo relativo na região central da área estudada, sobre o estado do Amazonas, onde também foi observada uma diferença simulada positiva expressiva associada ao desmatamento.

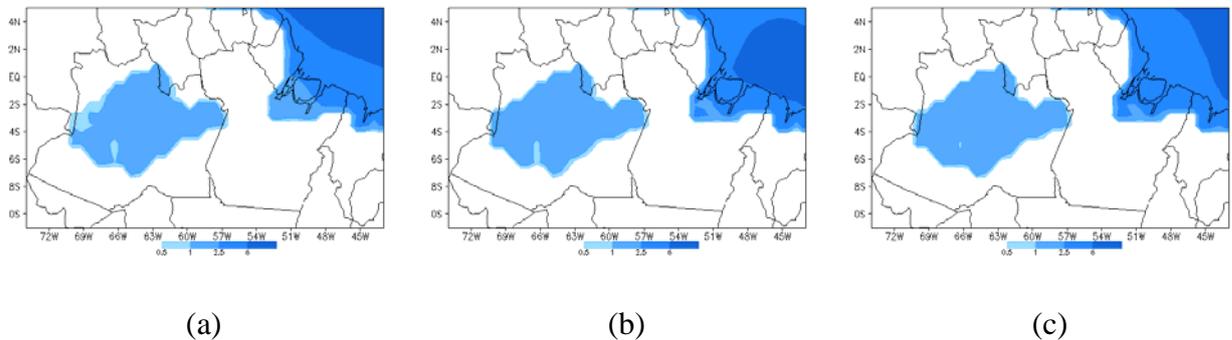


Figura 15 – Magnitude média do vento simulado em CONTROLE nos períodos chuvoso (a), seco (b) e de transição (c).

Como consequência dos impactos refletidos nas diversas variáveis atmosféricas, incluindo as já apresentadas, a precipitação simulada nos experimentos deste trabalho também mostra uma influência relacionada com a substituição do uso do solo na Amazônia. É esperado que essa substituição leve a uma diminuição da precipitação. Mas é importante que se analise o comportamento desse impacto para que se faça de maneira correta a correlação com o desmatamento. Na figura 16 são mostradas as diferenças simuladas entre os cenários e o experimento CONTROLE para a precipitação média. Conforme já foi apresentado, as simulações do período seco e de transição seco-chuvoso tiveram uma quantidade de precipitação simulada muito baixa, o que levou a diferenças simuladas muito próximas de zero (não mostradas). No caso da estação chuvosa, vemos as regiões de diminuição de precipitação concomitantes com os bolsões de desmatamento no leste do estado de Amazonas e no oeste do estado do Pará. Entretanto, temos associadas a estas áreas regiões vizinhas com diferenças positivas, indicando aumento da chuva (por exemplo: a leste da área de diferença negativa no estado do Amazonas). Essas regiões, que agem como uma espécie de compensação às áreas de excesso de chuva, acabam sendo responsáveis pela diferença média em toda área ser positiva (conforme tabela 2). Assim, na área considerada, vemos um caso em que o desmatamento aumenta (ainda que ligeiramente) a precipitação de uma região. Como nas variáveis anteriores, vemos que a magnitude dos resultados no cenário BUS é superior a dos cenário GOV.

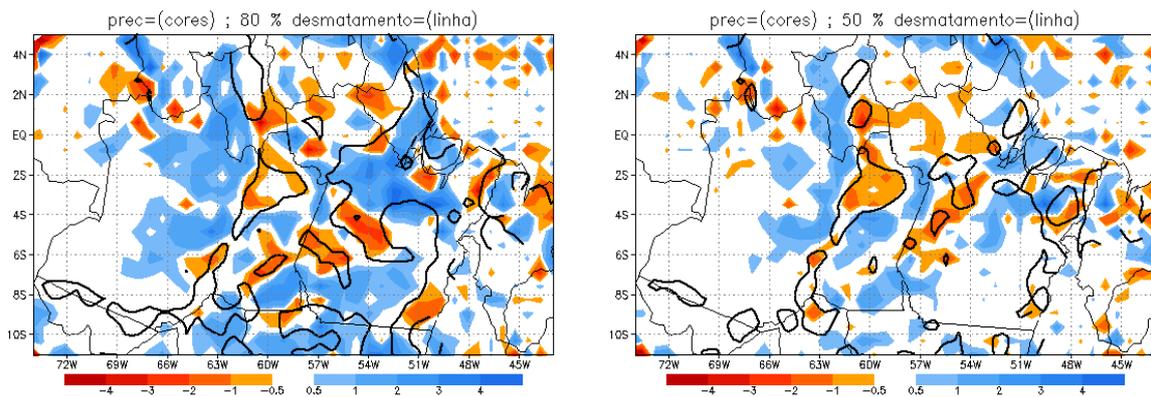


Figura 16 – Diferenças simuladas de precipitação (mm/dia) para a estação chuvosa nos cenários BUS (esquerda) e GOV(direita)

A fim de se discutir a significância estatística dos impactos simulados nos experimentos realizados, foram feitos testes do tipo t-Student (teste-t) nos resultados apresentados até o momento. O teste-t analisa se os valores médios de dois grupos são estatisticamente diferentes, levando-se em conta a variabilidade da distribuição de cada grupo. No caso deste trabalho, os grupos foram divididos entre as simulações dos cenários (BUS ou GOV) *versus* as simulações CONTROLE de cada uma das estações. O teste-t pode ser explicado pela seguinte fórmula:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

Onde,

$\bar{X}$  é o valor médio da variável na simulação CONTROLE

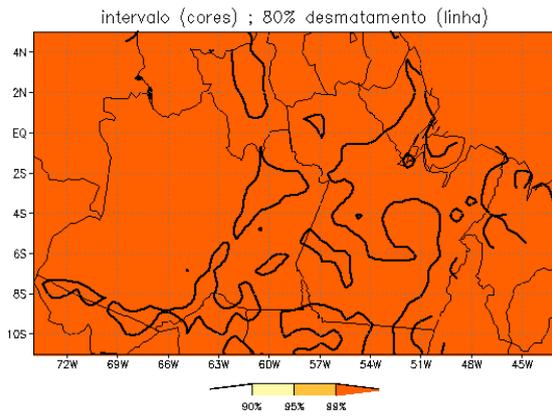
$\bar{Y}$  é o valor médio da variável na simulação do cenário (BUS ou GOV)

$n_i$  é o número de amostras em cada grupo

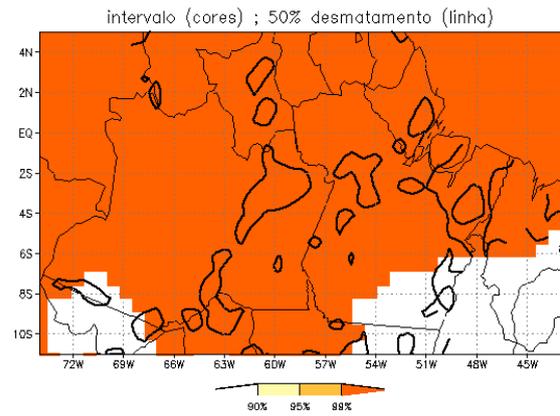
$S_i^2$  é a variância de cada grupo

É necessário, para a completa análise, estabelecer intervalos de confiança (geralmente entre 90 e 99%) e o número de graus de liberdade do sistema. Nos resultados mostrados a seguir foram considerados os intervalos entre 90 e 95%, 95 e 99% e acima de 99%. Já o número de graus de liberdade foi estabelecido como  $n-1$ , já que os dois grupos possuem o mesmo número de amostras.

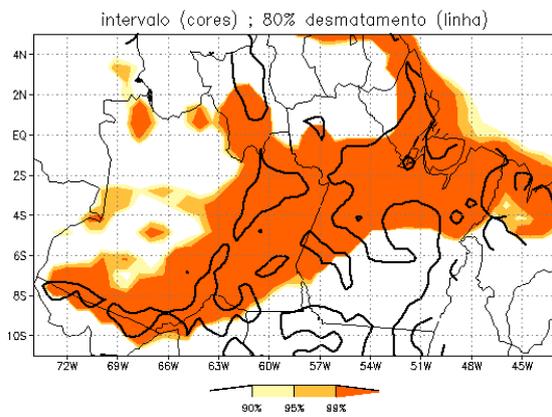
A aplicação do teste-t nos resultados mostrou significância elevada (acima de 99%) para todas as variáveis mostradas até o momento, com exceção do fluxo de calor latente e em alguns casos o fluxo de calor sensível (figuras 17 e 18a). No caso da precipitação, aproximadamente toda a região mostrou esse grau de significância (figura 17a e 17b) enquanto que nas variáveis de temperatura a 2m e magnitude do vento a região de significância superior a 99% concentrou-se nas áreas onde os impactos simulados foram maiores (figuras 17c e 17d), o que concorda na maioria dos casos com as regiões onde a taxa de desmatamento é elevada. Na comparação entre os cenários BUS e GOV, o primeiro apresenta, em geral, regiões maiores de significância superior a 99% (figuras 17c e 17d). Não houve significativa distinção entre os resultados obtidos quando comparados os resultados das simulações realizadas em diferentes estações (figuras 17e e 17f), exceto para a variável de fluxo de calor sensível, onde as simulações da estação chuvosa mostraram regiões de elevada significância, principalmente nas áreas de maior taxa de desmatamento, enquanto que as simulações das estações seca e de transição mostraram baixa significância (figura 18b, 18c e 18d).



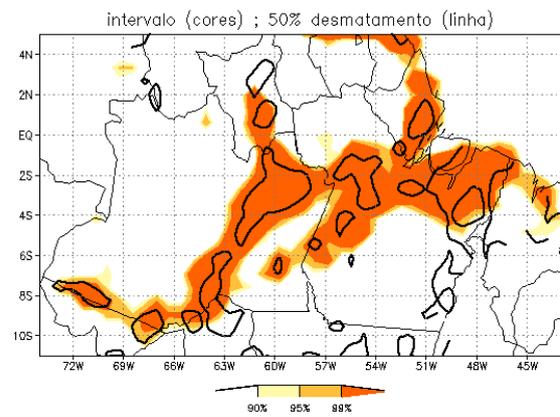
(a) Precipitação, cenário BUS, est. Chuvosa



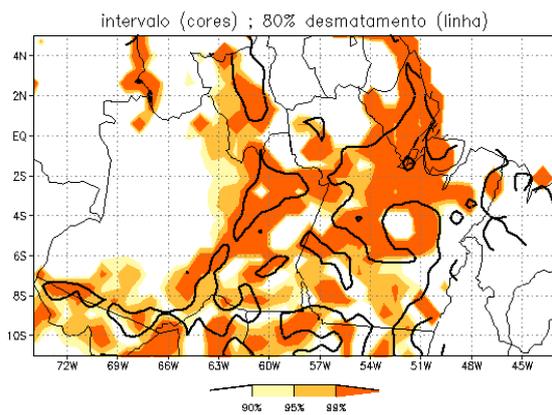
(b) Precipitação, cenário GOV, est. Chuvosa



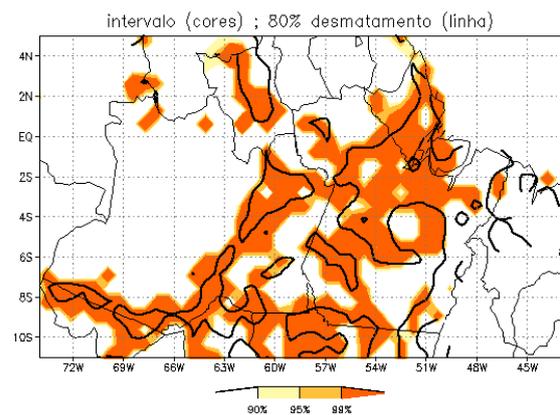
(c) Mag. do vento, cenário BUS, est. Seca



(d) Mag. do vento, cenário GOV, est. Seca

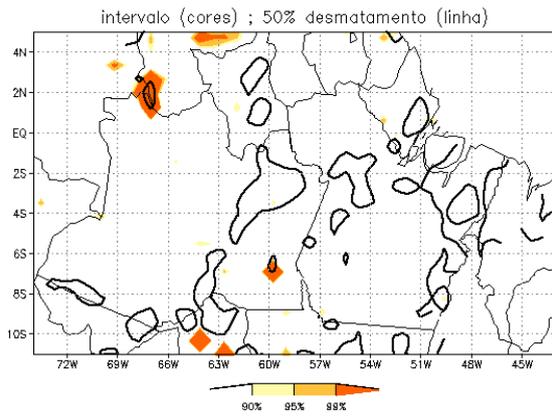


(e) Temp a 2m, cenário BUS, est. Chuvosa

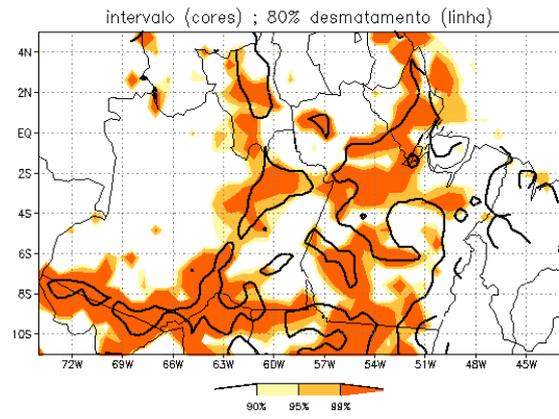


(f) Temp a 2m, cenário BUS, est. Seca

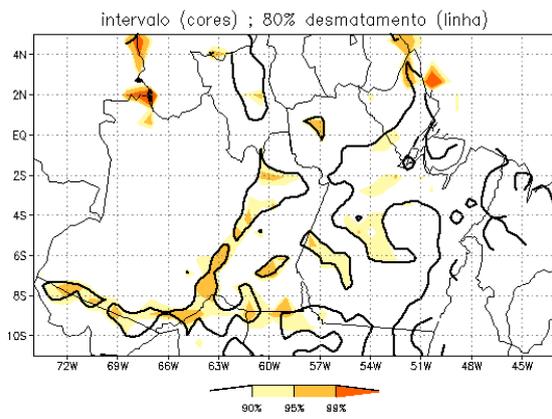
Fig. 17 – Intervalos de significância do teste-t



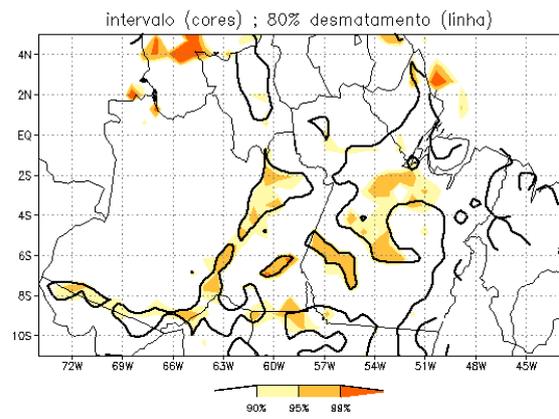
(a) LE, cenário Gov, est. Trans.



(b) H, cenário BUS, est. Chuv.



(c) LE, cenário BUS, est. Seca



(d) LE, cenário BUS, est. Trans.

Fig. 18 – Intervalos de significância do teste-t

### 2.2.2. Circulações de mesoescala

Circulações locais podem ocorrer sempre que for estabelecida uma diferença de temperatura entre duas regiões. As brisas terrestre/marítima e de vale/montanha são um exemplo típico dessas circulações termicamente induzidas. Por muitas vezes, os gradientes horizontais de temperatura são consequência do aquecimento diferenciado de superfícies vizinhas. Diversos estudos utilizando simulações numéricas (Pielke 1974; Mahrer e Pielke 1977; Avissar e Pielke 1989) mostraram que circulações de mesoescala, semelhantes às de brisa, podem ser geradas em função da heterogeneidade do terreno.

Cutrim et al. (1995) observaram através de imagens de satélite que a ocorrência de nuvens convectivas era maior sobre áreas na região Amazônica onde a floresta tinha sido retirada. Quando a região desmatada é grande o suficiente para manter uma diferença de temperatura substancial entre duas regiões, circulações convectivas podem ocorrer entre elas, o que já foi demonstrado por evidências observacionais (Souza et al., 2000) e por experimentos numéricos (Silva Dias e Reignier, 1996).

Nas simulações realizadas neste trabalho, os resultados também apresentaram indícios da ocorrência destas circulações de mesoescala entre regiões de floresta desmatada vizinhas a regiões onde grande parte da vegetação original se preservou. Observando-se, por exemplo, os resultados já mostrados para a diferença de precipitação simulada para o cenário GOV na estação chuvosa (figura 16), vemos a região de diminuição de chuva (no estado do Amazonas, próximo a fronteira com o Pará) coincidindo com a área de desmatamento e apresentando nas vizinhanças um aumento de precipitação. As magnitudes do aumento e diminuição de precipitação nesses casos também são semelhantes. A análise dos campos de diferença

simulada de temperatura também evidencia claramente bolsões de aquecimento sobre áreas desmatadas com vizinhanças mais frias (figura 11). É justamente esse tipo de aquecimento diferenciado que pode vir a causar as circulações mencionadas neste capítulo.

Para se detectar a presença de convecção, foi feita uma análise do movimento vertical nas simulações realizadas, de maneira semelhante à feita nas demais variáveis apresentadas neste estudo. Foi feita a diferença entre o movimento vertical médio simulado pelos cenários BUS e GOV e as simulações CONTROLE de cada um dos períodos correspondentes (chuvoso, seco e de transição). Segundo Silva Dias et al. (2005), as nuvens convectivas na região Amazônica tem profundidade de poucos quilômetros e ficam geralmente abaixo da isoterma de 0° C que está por volta de 5 km de altura naquela região. No presente trabalho, foram considerados os primeiros 5 km de atmosfera no cálculo da diferença entre o simulado pelos cenários e pelo CONTROLE, com o intuito de se identificar regiões com movimento preferencialmente ascendente ou descendente.

As diferenças simuladas de movimento vertical nos primeiros 5 km de atmosfera (figura 19) evidenciam um comportamento diferenciado da estação chuvosa em relação à seca e à de transição. Na estação chuvosa, observa-se que, em geral, as áreas de elevadas taxas de desmatamento estão caracterizadas com valores negativos (descendentes) (figuras 19a e 19b), indicando que, nessas regiões, o desmatamento causou um fortalecimento da subsidência (ou atenuação das correntes ascendentes) e, de forma generalizada, a inibição da convecção nessas áreas, o que é totalmente coerente com a diminuição de precipitação observada nessas regiões (figura 16).

No entanto, o comportamento dessa mesma variável nas estações seca e de transição se dá de forma diferenciada. Observa-se que, junto às regiões de maior taxa de desmatamento, é comum encontrar regiões de movimento ascendente a oeste da área desmatada e movimentos descendentes a leste desta mesma área. Tal padrão pode ser identificado na área desmatada existente no leste do estado do Amazonas próximo ao Pará em ambos os cenários dos períodos seco e de transição, além de em diferentes bolsões de desmatamento no estado do Pará (figuras 19c, 19d, 19e e 19f). No caso do período de transição, observa-se ainda um padrão semelhante, porém com orientação aproximadamente norte-sul, na fronteira entre os estados do Amazonas e do Acre (figuras 19e e 19f).

Esta peculiar distribuição das áreas de movimento ascendente/descendente no entorno das áreas desmatadas está relacionada com a interação das circulações geradas pelas heterogeneidades do terreno com o escoamento de escala maior dentro do qual estas circulações de menor escala estão inseridas. Para se caracterizar a circulação média em escala sinótica existente na região, tomemos o campo de escoamento médio nos 5 km iniciais para os 3 períodos simulados por cada um dos cenários (figura 20). Nestes campos, podemos observar que o vento médio nesta camada tem a componente de leste bastante presente, com maior notoriedade nas estações seca e de transição. A magnitude dos ventos médios mostrados para os 3 períodos é maior nas estações seca e de transição (cerca de 26% e 8%, respectivamente). Dessa forma, a interação dos ventos de leste da escala maior com as circulações induzidas localmente pelo desmatamento gera o padrão apresentado na figura 19 de movimento vertical.

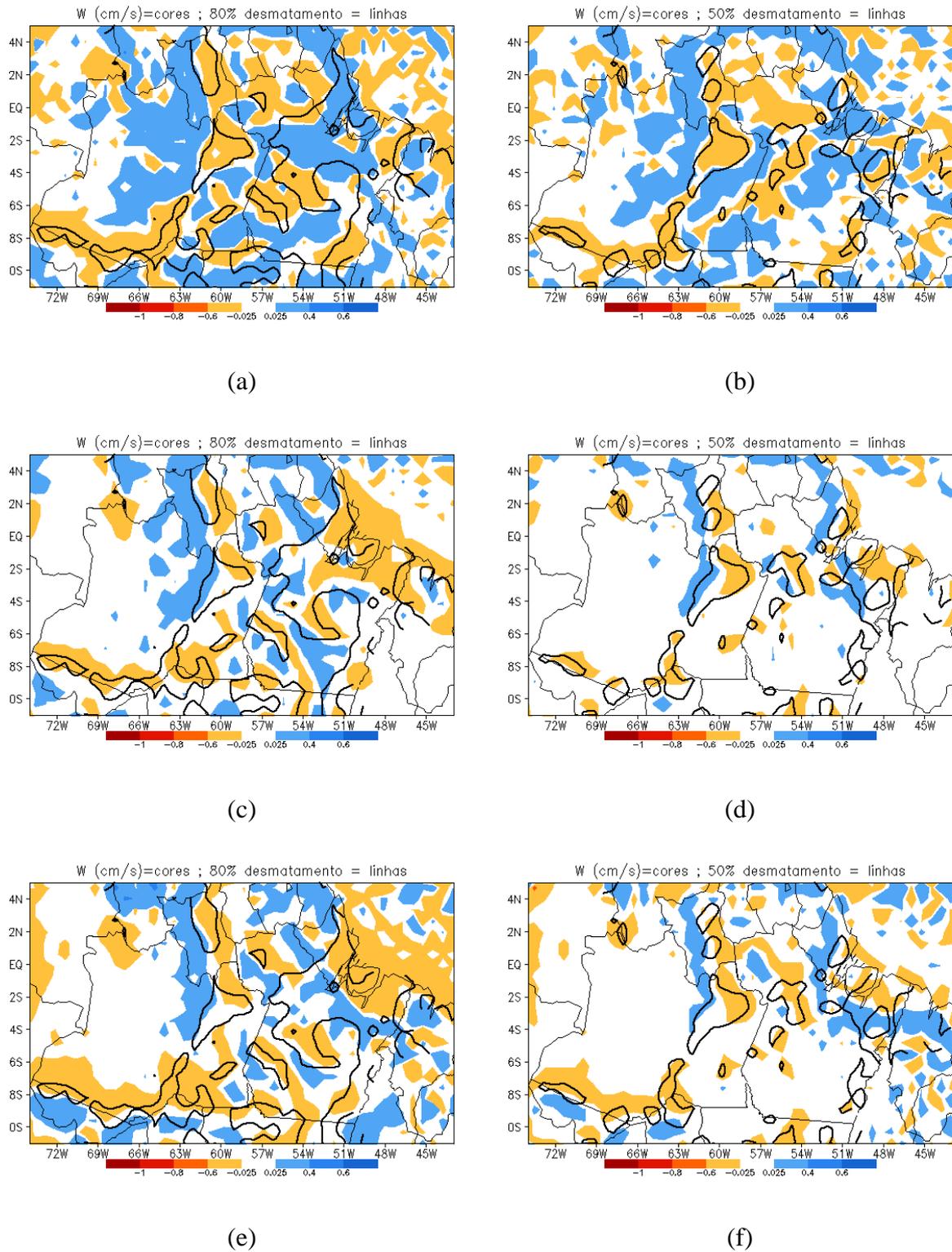


Figura 19 – Diferenças simuladas de movimento vertical nos 5 km iniciais (m/s) no período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

Weaver (2004) estudou o impacto de processos induzidos pela interação entre superfície e atmosfera em mesoescala para regiões das grandes planícies dos Estados Unidos e encontrou resultados semelhantes de interações mais pronunciadas para os períodos mais secos, caracterizados pelo predomínio em média de subsidência na escala maior. No exemplo deste estudo observa-se da mesma forma estas interações. Enquanto na estação chuvosa (caracterizada por fluxo sinótico médio mais fraco) as regiões de subsidência ficam razoavelmente bem definidas sobre as áreas desmatadas com as vizinhanças marcadas com movimento do ar ascendente, nas estações seca e de transição temos um fenômeno ligeiramente mais complexo. Nesses períodos, o fluxo sinótico médio é forte o suficiente para advectar as circulações de mesoescala existentes em virtude da heterogeneidade da superfície. Assim, o que se observa é o padrão já mostrado nas figuras 19c a 19f do movimento vertical se apresentando com um comportamento semelhante a um padrão do tipo onda, com as áreas de movimento descendente aparecendo nas regiões corrente acima (*upstream*) e as áreas de movimento ascendente aparecendo nas regiões corrente abaixo (*downstream*).

No caso da fronteira entre os estados do Acre e do Amazonas, onde o fenômeno também foi encontrado (especialmente no caso do período de transição), deve-se notar que o fluxo sinótico médio assume a orientação aproximada norte-sul, a mesma do dipolo movimentos descendente/ascendente mostrada nas demais regiões. Assim, novamente observa-se a área de movimento vertical negativo na região de *upstream* e movimento vertical positivo na região de *downstream*.

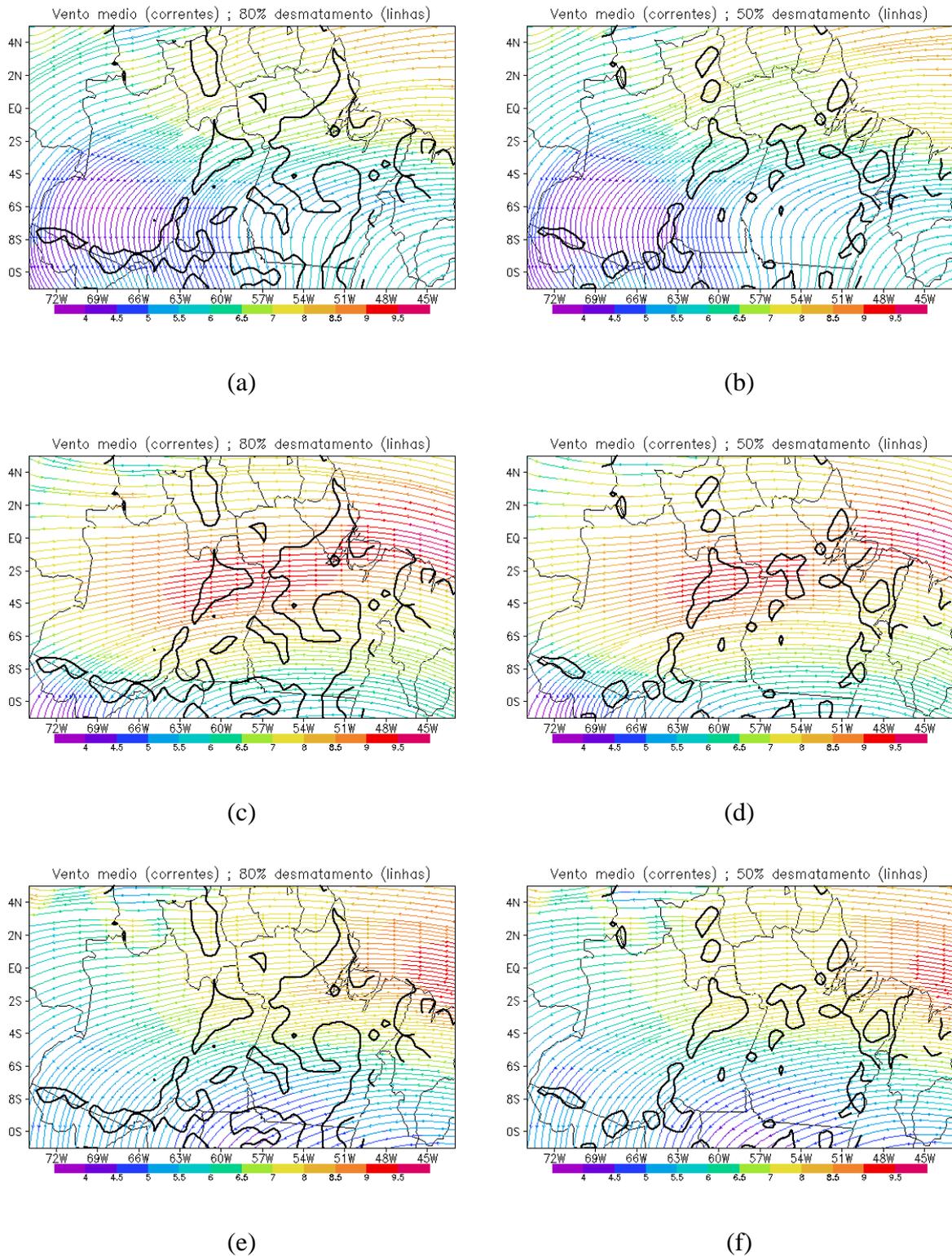


Figura 20 – Circulação média primeiros 5 km de atmosfera para o período chuvoso (a) e (b), seco (c) e (d) e de transição (e) e (f), cenário BUS a esquerda e GOV a direita

### 3. Conclusões

Este trabalho procurou avaliar os impactos do desmatamento da Amazônia no clima local. Para tanto, foi utilizado um modelo atmosférico (BRAMS) com diferentes cenários de desmatamento prescritos para a região. A utilização dos cenários teve por fim a necessidade de se avaliar os efeitos do desmatamento sob condições próximas da realidade, visto que a maioria dos estudos clássicos sobre o assunto propunha a substituição total da Amazônia por uma vegetação secundária (pastagem) ou prescrevia padrões específicos de desmatamento. Os cenários utilizados neste trabalho foram fornecidos pelo modelo DINAMICA (Soares-Filho et al. (2002,2004) e abrangem toda a região Amazônica desde o ano 2002 até 2050 (sendo 2050 o ano utilizado). No cenário mais otimista (Governance ou GOV), medidas governamentais são tomadas no sentido de se reduzir o desmatamento enquanto que num segundo cenário (Business as Usual ou BUS) as taxas de desmatamento seguem os padrões atuais.

Pode-se sintetizar das simulações realizadas que as variáveis hidrometeorológicas simuladas indicaram impacto da mudança do uso de solo prevista. De maneira geral, o cenário BUS causa efeitos mais pronunciados do que o cenário GOV, em virtude das taxas de desmatamento mais elevadas. Devido à alteração do balanço de energia, ocorreu um ligeiro aumento da temperatura próximo à superfície nas regiões desmatadas. Diferentes simulações foram realizadas para as épocas chuvosa, seca e de transição e, no caso da temperatura, o impacto foi mais notável na estação seca. A alteração do balanço de energia pôde ser constatada, ainda, pela análise das variáveis de fluxo de calor sensível e latente, onde principalmente na primeira observou-se uma forte relação entre as regiões de aumento de calor com as regiões mais desmatadas

A precipitação também foi uma variável que apresentou sensibilidade ao desmatamento da Amazônia, com uma diminuição dos índices pluviométricos sobre as regiões de maiores taxas de desmatamento. Os efeitos na chuva foram mais perceptíveis nas simulações do período chuvoso, especialmente pelos baixos índices de precipitação simulados nos demais experimentos. Como a mudança no uso do solo altera parâmetros da floresta diretamente relacionados com a circulação, também foi encontrado um impacto na magnitude do vento simulado em todos os cenários e períodos do estudo. A diminuição da altura média do dossel vegetativo e a da rugosidade ocasionaram a queda no atrito entre a superfície e o ar e o conseqüente aumento da magnitude média do vento simulado.

Os impactos mencionados na temperatura e na precipitação não se deram de forma linear, e houve uma importante variabilidade espacial das diferenças simuladas dessas variáveis. Regiões de aquecimento se mostraram relacionadas com regiões de esfriamento nas suas vizinhanças (bem como regiões de intensificação/enfraquecimento da precipitação), sugerindo a existência de circulações de mesoescala induzidas pelas diferentes características de superfície. A análise dos movimentos verticais médios simulados para cada estação indicou um padrão organizado nas simulações do período chuvoso (com movimentos descendentes sobre as regiões desmatadas e ascendentes sobre as vizinhas) e um padrão mais complexo para as estações seca e de transição. A circulação média nos níveis iniciais da atmosfera mostrou a interação do fluxo sinótico médio (essencialmente de leste na região estudada) com a convecção localizada. Como o fluxo sinótico médio é 8% (no período de transição) ou 26% (no período seco) superior ao fluxo do período chuvoso, a interação entre os movimentos dessas duas escalas se deu de maneira muito mais intensa nas estações seca e de transição.

Para trabalhos futuros, fica sugerido o estudo similar porém com as informações dos anos entre 2002 e 2050, com experimentos de duração maiores que um ano para que se avalie

como evolução da substituição da floresta Amazônica por pastagem pode atuar de forma mais gradual sobre a atmosfera. Além disso, estudos com resoluções maiores podem indicar melhor os efeitos da interação entre as circulações geradas em mesoescala com os fluxos sinóticos médios.

## REFERÊNCIAS

AVISSAR, R. AND PIELKE, R.A. A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. **Mon. Wea. Rev.** 117, 2113–2136, 1989.

BAIDYA ROY, S., AND R. AVISSAR. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology in Amazonia. **J. Geophys. Res.**, 107, doi:10.129/2000JD000266, 2002.

BETTS, A. K., AND J. H. BALL, A. C. M. BELJAARS, M. J. MILLER, AND P. A. VITERBO. The land surface–atmosphere interaction: A review based on observational and global modeling perspectives. **J. Geophys. Res.**, 101, 7209–7225, 1996.

CHEN, C., & COTTON, W. R. A one-dimensional simulation of the stratocumulus-capped mixed layer. **Bound-Layer Meteor.** 25, 289–321, 1983.

CHEN, C., & COTTON, W. R. The physics of the marine stratocumulus-capped mixed layer. **J Atmos Sci**, 44, 2951–2977, 1987.

CHEN, F., DUDHIA, J. Coupling an advanced land-surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. **Mon. Weath. Rev.** 129, 569–585, 2001.

COTTON, W. R., PIELKE, R. A., WALKO, R. L., LISTON, G. E., TREMBACK, C. J., JIANG, H., MCANELLY, R. L., HARRINGTON, J. Y., NICHOLLS, M. E., CARRIO, C. G., & MCFADDEN, L. P. RAMS 2001: Current Status and future directions. **Meteorol Atmos Phys**, 82, 5-29, 2003.

CUTRIM, E., D. W. MARTIN, AND R. RABIN. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. **Bull. Amer.Meteor. Soc.**, 76, 1801–1805, 1995.

DOUVILLE, H. AND CHAUVIN, F. Relevance of soil moisture for seasonal climate predictions: a preliminary study, **Climate Dynamics.**, 16, 719–736, 2000.

FIGUEROA, S. N., & NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanalise**, 5, 36-44, 1990.

GANDÚ, A. W., COHEN, J. C. P., & DE SOUZA, J. R. S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high resolution model. **Theor.Appl. Climatol.**, 78, 123-135, 2004.

GASH, J. H. C., NOBRE, C. A., ROBERTS, J. M., & VICTORIA, R. L. An overview of ABRACOS In: GASH J.H.C., NOBRE C.A., ROBERTS J.M., VICTORIA R.L. (Ed) **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: Wiley, chap. 1, 1-14, 1996.

GEVAERD, R., FREITAS, S. R. Determinação operacional da umidade do solo para assimilação em modelos de previsão numérica de tempo. In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004. Fortaleza. **Anais em CD-ROM...** Fortaleza, 2004.

GRELL, G. A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. **Mon. Wea. Rev.**, 121, 764–787, 1993.

HASTENRATH, S. Annual cycle of upper-air circulation and convective activity over the tropical Americas. **J. Geophys. Res.**, 102 (D4), 4267–4274, 1997.

HOREL, J. D., A. N. HAHMANN, AND J. E. GEISLER. An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **J. Climate**, 2, 1388–1403, 1989.

HORNBERGER, G. M., K. J. BEVEN, B. J. COSBY, AND D. E. SAPPINGTON. Shenandoah watershed study: Calibration of a topographically based, variable contributing area hydrological model to a small forested catchment. **Water Resour. Res.**, 21, 1841–1850, 1985.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R., & JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 77, 437-471, 1996.

LEAN, J., ROWNTREE, P. R. Understanding the Sensitivity of a GCM Simulation of Amazonian Deforestation to the Specification of Vegetation and Soil Characteristics **Journal of Climate**, 10, 1216-123, 1997.

LIEBMANN, B., MARENGO, J. A. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, 14, 4308-4318, 2001.

LISTON, G. E., & PIELKE, R. A. A climate version of the regional atmospheric modeling system. **Theor Appl Climatol**, 68, 155-173, 2001.

LU, L. X., PIELKE, R. A., LISTON, G. E., PARTON, W. J., OJIMA, D., & HARTMAN, M. Implementation of a two-way interactive atmospheric and ecological model and its application to the central United States. **J Climate**, 14, 900-919, 2001.

MAHRER, Y., AND R. PIELKE, A numerical study of the airflow over irregular terrain, **Beit. Phys. Atmos.**, 50, 98-113, 1977.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *Int J Climatol*, 12, 833-852, 1992.

MARENGO, J., B. LIEBMANN, V. KOUSKY, L. FILIZOLA AND I. WAINER, Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin, **J. Climate**, 14, 833-852, 2001.

MELLOR, G. L., & YAMADA, T. Development of a turbulence closure models for geophysical fluid problems. **Rev Geophys Space Phys**, 20, 851-875, 1982.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA; U. L.; PRINS, E. Road paving, fire

regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 154, n. 3, p. 395-407, 2001.

NOBRE, C. A., SELLERS, P. J., & SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **J. Clim**, 4, 957-988, 1991.

PIELKE, R. A., COTTON, W. R., WALKO, R. L., TREMBACK, C. J., LYONS, W. A., GRASSO, L. D., NICHOLLS, M. E., MORAN, M. D., WESLEY, D. A., LEE, T. J., & COPELAND, J. H. A comprehensive meteorological modeling system - Rams. **Meteorol Atmos Phys**, 49, 69-91, 1992.

PIELKE, R., A three-dimensional model of the sea breezes over south Florida, **Mon. Weather Rev.**, 102, 115-139, 1974.

RAO, V. B., CAVALCANTI, I. F. A., & HADA, K. Annual variations of rainfall over Brazil and water vapor characteristics of South America. **J Geophys Res**, 101(D21), 26539-26551, 1996.

ROCHA, H. R., C. A. NOBRE, J. P. BONATTI, I. R. WRIGHT, AND P. J. SELLERS. A vegetation-atmosphere interaction study for Amazonia deforestation using field data and a 'single column' model. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, 122, 567-594, 1996.

ROSOLEM, R. **O Impacto do desmatamento no ciclo hidrológico: um estudo de caso para a rodovia Cuiabá-Santarém**. 2005. 81p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA DIAS, M. A. F. da; REGNIER, P. Simulation of mesoscale circulations in a deforested area of Rondonia in the dry season. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (Ed.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley, 1996. chap. 30, p. 531-546, 1996.

SILVA DIAS, M.A.F., COHEN, J.C.P., AND GANDÚ, A.W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazon**, 35, n<sup>o</sup>2, 215-222, 2005.

SIVAPALAN, M., K. BEVEN, AND E. F. WOOD. On hydrologic similarity: 2. A scaled model of storm runoff production. **Water Resour. Res.**, 23 (12), 2266–2278, 1987.

SKOLE, D., TUCKER, C. Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988. **Science**, v. 260, 5116, 1905-1910, 1993.

SOARES-FILHO, B. S., ALENCAR, A., NEPSTAD, D., CERQUEIRA, G. C., DIAZ, M. D. C. V., RIVERO, S., SOLÁRZANOS, L., & VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Cuiabá-Santarém corridor. **Global Change Biology**, 10, 745-764, 2004.

SOARES-FILHO, B. S., CERQUEIRA, G. C., & PENNACHIN, C. L. DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonia colonization frontier. **Ecological Modeling**, 154, 217-235, 2002.

SOUZA, E. P., RENNÓ, N. O., & SILVA DIAS, M. A. F. Convective Circulations Induced by Surface Heterogeneities. **J. Atmos. Sci.**, 57, 2915-2922, 2000.

WALKO, R. L., BAND, L. E., BARON, J., KITTEL, T. G. E., LAMMERS, R., LEE, T. J., OJIMA, D., PIELKE, R. A., TAYLOR, C., TAGUE, C., TREMBACK, C. J., & VIDALE, P. L. Coupled atmosphere-biophysics-hydrology model for environmental modeling. **J Appl Meteor**, 39, 931-944, 2000.

WANG, J., BRAS, R., & ELTHAIR, E. A. B. The Impact of observed deforestation on the mesoscale distribution of rainfall and clouds in Amazonia. **J. Hydrometeorol.**, 1, 267-286, 2000.

WEAVER, C.P. Coupling between Large-Scale Atmospheric Processes and Mesoscale Land–Atmosphere Interactions in the U.S. Southern Great Plains during Summer. Part I: Case Studies. **J. Hydrometeorol.**, 5, 1223-1246, 2004.

WERTH, D., & AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **J. Geophys. Res.**, 107(D20), doi:10.1029/2001JD000717, 2002.

ZHANG, H., HENDERSON-SELLERS, A., & MCGUFFIE, K. 1996. Impacts of tropical deforestation. Part I: process analysis of local climatic change. **J. Clim**, 9, 1497-1517.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)