

SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DO EFEITO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE UM CASO EM RONDÔNIA

GILBERTO FISCH

Centro Técnico Aeroespacial (CTA/IAE-ACA)
São José dos Campos
CEP 12228-904, SP, Brasil

JENNIFER LEAN

Hadley Centre for Climate Prediction and Research
Bracknell, RG12 2SY, Berks, Reino Unido

IVAN R. WRIGHT

Institute of Hydrology (IH)
Wallingford, OX10 8BB, Oxford, Reino Unido

CARLOS A. NOBRE

Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)
Cachoeira Paulista
CEP 12630-000, SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho analisa as modificações microclimáticas provocadas pelo desmatamento da região Amazônica, utilizando-se o modelo de Circulação Geral da Atmosfera do Hadley Centre (Reino Unido). De um modo geral, a substituição de floresta por pastagem provoca, em nível sazonal, uma redução no saldo de radiação de ondas curtas (8%) e total (3%), um aumento na temperatura média do ar (0,9 °C), uma redução pequena na umidade específica do ar, um aumento da velocidade do vento, uma redução na evaporação e precipitação (de 20 % e 14 %, respectivamente) e um período de seca mais prolongado (a época seca (total mensal inferior a 50 mm) estende-se de junho-julho no cenário floresta para maio à agosto no caso pastagem). Com a escolha de um mês tipicamente úmido (janeiro) e um mês ao final da época seca (setembro), analisou-se a variação horária dos fluxos de energia e dos elementos climáticos. O saldo de radiação (ondas curtas e total) é superior na floresta em relação à pastagem, em ambas as estações. A razão de Bowen é tipicamente de +0,3 durante a época chuvosa, aumentando para valores entre 1,0 e 3,0 durante a estação seca. No caso da temperatura do ar, a floresta apresenta um valor máximo maior do que de pastagem (1,2 °C) durante o período das chuvas e é inferior ao mínimo da temperatura da pastagem na estação seca (-2,5 °C). Obtiveram-se valores de umidade específica similares na floresta e pastagem durante a estação chuvosa (tipicamente 16 g.kg⁻¹), embora diferentes (floresta 16 g.kg⁻¹ e pastagem 10 g.kg⁻¹) na época seca. A velocidade do vento é mais intensa na pastagem em relação à floresta, sendo que, no período seco, a pastagem apresenta ventos de até 3,5 m.s⁻¹.

ABSTRACT

The microclimatic modifications due the deforestation of the Amazon region has been studied using a General Circulation Model (from Hadley Centre, UK). The seasonal analysis has showed that the deforestation causes a reduction of net solar radiation (8%) and net radiation (3%). Also, it has been observed an increase of air temperature (0.9°C), a small reduction of specific humidity and an increase of windspeed. The evaporation and precipitation has decreased (20 % and 14 %, respectively) and the dry season (monthly rainfall less than 50 mm) is longer: in the forest scenarious it is during June-July and, for pasture, it is from May up to August. The hourly aspects of this data-set has been studied using a choosen wet (January) and a dry month (September). The net radiation (short and longwaves) is higher at forest than pasture at both months. The Bowen ratio increases from +0.3 at wet season to values ranging from 1.0 up to 3.0 (dry period). The maximum temperature at forest is higher (1.2°C) than at pasture during wet period and its minimum temperature is less (-2.5°C) than pasture during dry season. The specific humidity has showed similar values (16 g.kg^{-1}) during wet season, although very diferent at dry period (16 g.kg^{-1} at forest and 10 g.kg^{-1} at pasture). The wind field is higher over pasture, specially during dry month (3.5 m.s^{-1}).

1. INTRODUÇÃO

Na última década, a Amazônia tem sido foco da atenção mundial devido à sua riqueza mineral, à sua grande biodiversidade de espécies florestais e também pelos efeitos que o desmatamento em grande escala pode provocar no clima regional e global.

Com relação a esta associação floresta-clima, o desenvolvimento da informática facilitou a utilização de Modelos Numéricos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) para se estudar o efeito dos processos de troca de energia entre a superfície e a atmosfera. Como ferramenta de análise da problemática do desmatamento, vários estudos de simulação numérica do clima em situações de floresta e desmatamento (troca de superfícies vegetadas de floresta por pastagens) já foram realizados (por exemplo Dickinson e Henderson-Sellers, 1988; Lean e Warrilow, 1989; Nobre et al., 1991; Henderson-Sellers et al., 1993; Lean e Rowntree, 1993; Manzi, 1993; Lean et al., 1996). De um modo geral, os resultados obtidos convergem em que ocorrerá um aumento de temperatura do ar próximo a superfície (variando de $0,6$ a $2,0^{\circ}\text{C}$), uma redução nos totais de precipitação e evaporação (de 20 a 30 % do

valor de floresta) e uma estação seca mais prolongada. Estas modificações certamente acarretariam implicações ecológicas importantes. Recentemente, Paiva e Clarke (1995) realizaram um estudo observacional estatístico sobre a tendência temporal da distribuição de chuvas na região Amazônica e, embora os autores tenham encontrado desvios positivos e negativos na região, há uma tendência das anomalias negativas (redução da precipitação) se concentrar em áreas à oeste e central da Amazônia, onde, principalmente no estado de Rondônia, ocorre uma alta taxa de desmatamento.

O Projeto ABRACOS (acrônimo de "Anglo-BRazilian Amazonian Climate Observational Study") é um esforço conjunto entre cientistas britânicos e brasileiros, no sentido de coletar e analisar dados hidrometeorológicos que aumentem o conhecimento do ecossistema amazônico (de floresta tropical e de áreas desmatadas para pastagem) e possibilitem a melhoria dos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera em simulações climáticas (Shuttleworth et al., 1991, Gash e Nobre, 1996).

O objetivo deste trabalho é o de analisar

as principais variações nos fluxos de superfície e dos elementos climáticos decorrentes de desmatamento na área de Ji-Paraná (RO), usando resultados de um MCGA. O conjunto de dados utilizado foi obtido da simulação realizada no Hadley Centre em 1993 e representa as condições mais realistas do cenário da Amazônia, uma vez que as variáveis de controle (por exemplo, fração de vegetação coberta, tipo de solo e, difusividade hidráulica, etc) e de superfície (albedo, comprimento de rugosidade, índice de área foliar, etc), foram extraídos do conjunto de dados do Projeto ABRACOS. Uma descrição em detalhes dos valores das variáveis utilizadas, bem como da validação dos resultados encontram-se em Lean et al., 1996. Nas discussões realizadas com os dados oriundos das simulações climáticas, também utilizam-se aspectos observacionais obtidos por Bastable et al., (1993), Ribeiro (1994), Culf et al. (1996) e Fisch (1996) em áreas de floresta e pastagem na região amazônica, para ilustrar se comportamentos característicos dos fluxos de energia e dos elementos climáticos gerados pelo modelo são realistas ou não.

2. DESCRIÇÃO DO MODELO

A versão do modelo de Circulação Geral da Atmosfera do "United Kingdom Meteorological Office - UKMet Off" foi descrita em detalhes por Lean e Rowntree (1993) e Lean et al., (1996). Resumidamente, este modelo usa as equações da dinâmica dos fluidos de Navier-Stokes (equações primitivas) para descrever e prever a pressão da superfície e as variáveis atmosféricas de temperatura do ar, umidade específica e componentes zonal e meridional do vento em 19 níveis na vertical espaçados irregularmente da superfície até o topo da atmosfera, usando coordenadas sigma. Entre a superfície e a altitude de 750 hPa o modelo possuiu 5 níveis. A resolução horizontal do modelo é de 2,5° de latitude por 3,75° de longitude. A temperatura da superfície oceânica é prescrita pelo modelo, sem interação oceano-atmosfera. Estes valores são climatológicos e atualizados a cada 5 dias.

Os processos menores do que a escala

espacial são parametrizados: os processos de radiação são calculados a cada intervalo de tempo de 3 horas (ao invés do passo de tempo de 30 min. utilizados para as outras variáveis) e permitem variações diurnas e sazonais da radiação solar e da partição de energia. Os fluxos de ondas curtas e longas interagem com nuvens diagnosticadas pelo modelo. A precipitação é separada em chuvas de larga-escala e convectiva. O modelo explicitamente incorpora a interceptação de chuva pelo dossel da floresta tropical, aumentando a evapotranspiração da vegetação. Lean e Rowntree (1993) demonstraram que, a inclusão deste termo nos estudos de simulação climática reduz o efeito do desmatamento na diminuição da precipitação e evapotranspiração. O esquema de convecção de fluxo de massa é incluído para representar a convecção rasa e profunda. O número de níveis do modelo na camada limite varia até um máximo de 4, sendo que a transferência turbulenta dos fluxos de momentum e calor na camada limite superficial é calculada usando a Teoria de Monin-Obukhov. O escoamento superficial de água é diagnosticado e controlado pela drenagem gravitacional da umidade do solo. Os processos térmicos do solo são computados utilizando um modelo de 4 camadas.

As condições de fronteira da superfície foram extraídas das análises do conjunto de dados do Projeto ABRACOS e possuem, como característica principal, a variação sazonal da umidade do solo e do albedo. Com relação a este último, Culf et al., (1995) mostraram que o albedo da floresta tropical também apresenta aspecto sazonal, variando de 0,12 durante a estação chuvosa para 0,14 na época seca.

O cenário da simulação de pastagem é construído artificialmente ao se considerar que todo o domínio de floresta tropical (caso denominado de controle) seja substituído por vegetação de gramíneas. Variações geográficas das características vegetacionais e do tipo de solo são consideradas no modelo, utilizando a classificação padronizada por Wilson e Henderson-Sellers (1985), a qual possui 15 tipos de solo e vegetação.

O modelo possuiu um período de integração total de 10 anos, para ambos os casos de floresta tropical e pastagem, iniciando em 1 de dezembro de 1991. Os dados de inicialização do modelo foram iguais, apenas diferindo das condições de fronteira. As análises foram feitas no 5º ano de integração, de dezembro de 1995 a fevereiro de 1997 (15 meses). Este período foi escolhido por dois motivos: o primeiro é de eliminar os transientes ("spin-up") do modelo que pudessem modificar os parâmetros climáticos. O segundo motivo é o de que, após este período, as condições climáticas já estariam em equilíbrio com o novo tipo de superfície. Recentemente, Yang et al., (1995) mostraram que o tempo necessário para que os processos de superfície estejam em equilíbrio (e portanto, representando a interação vegetação-atmosfera) dependem da escala de tempo dos dados forçantes da superfície. No caso de forçantes climáticas mensais, simulações mostraram que, em cenários de floresta tropical e pastagem, este tempo varia de um mínimo de 2 meses para um máximo de 25 meses (pastagem durante estação seca). Os dados extraídos do modelo foram em um ponto de grade próximo a Ji-Paraná (10 °S, 60 °W), onde o Projeto ABRACOS possui seus sítios experimentais de floresta e pastagem. Maiores detalhes sobre os sítios experimentais encontram-se em Gash e Nobre (1996). As variáveis extraídas do modelo para análises são:

- densidade de fluxo líquido de ondas curtas na superfície ($W.m^{-2}$);
- densidade de fluxo líquido de ondas longas na superfície ($W.m^{-2}$);
- densidade de fluxo de calor conduzido ao solo ($W.m^{-2}$);
- densidade de fluxo de calor sensível ($W.m^{-2}$);
- densidade de fluxo de calor latente ($W.m^{-2}$);
- precipitação ($mm.mês^{-1}$);
- evaporação total (evapotranspiração + evaporação do solo) ($mm.dia^{-1}$);
- temperatura do ar no 1º nível (K);
- umidade específica do ar no 1º nível ($g.kg^{-1}$);
- componente zonal do vento no 1º nível ($m.s^{-1}$);
- componente meridional do vento no 1º nível ($m.s^{-1}$);

O primeiro nível do modelo é aproximadamente 25 m acima da superfície, variando poucos metros devido ao ciclo diurno da pressão atmosférica (variável da coordenada sigma).

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Climatologia da região de Ji-Paraná (RO)

A única fonte de informações climatológicas na área de Ji-Paraná (RO) é uma estação climatológica convencional da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), localizada em Ouro Preto D'Oeste. Esta pequena localidade situa-se aproximadamente a 15 km da área experimental de pastagem e aproximadamente a 50 km da área de floresta. Dessa maneira, para fins climatológicos, é bastante razoável generalizar as informações deste único ponto como abrangente de toda a área da região em estudo.

O período de coleta de dados compreendeu os anos de 1982 a 1992, totalizando 10 anos completos. As informações obtidas (valores médios mensais) foram analisadas visando fornecer características gerais desta região. Dessa maneira, optou-se por apresentar e discutir apenas as informações referentes à precipitação e temperatura do ar.

A distribuição da precipitação (Figura 1a) apresenta uma forte sazonalidade: durante os meses de novembro a abril (período chuvoso), a precipitação mensal é superior a 200 $mm.mês^{-1}$, enquanto que os meses de junho a agosto são extremamente secos (precipitação menor que 20 $mm.mês^{-1}$). Esta variação é coerente com a distribuição regional da precipitação para a área sudoeste Amazônica (Figuerola e Nobre, 1990; Marengo, 1992, Fisch et al., 1996) e com a descrição efetuada por Horel et al., (1989) sobre a migração sudeste/noroeste da convecção amazônica. O regime de precipitação induz o padrão da variação da temperatura do ar.

SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DO EFEITO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE UM CASO EM RONDÔNIA

Com relação à temperatura do ar, os dados coletados mostram uma sazonalidade da temperatura média do ar, sendo que os meses mais quentes e mais frios são, respectivamente, agosto (25,5 °C) e julho (22,6 °C). O mês mais quente coincide com o final da época seca e o mês mais frio corresponde à influência de penetrações de massas de ar frio trazidas por sistemas frontais. Embora esta região esteja relativamente próxima do Equador (10°S), eventualmente ela sofre a ação de sistemas frontais, provocando o fenômeno denominado localmente de friagem. Hamilton e Tarifa (1978) estudaram detalhadamente a penetração de um sistema frontal nesta região durante o inverno de 1972, que provocou temperaturas da ordem de 13 °C, em Cuiabá (MT). Os valores de temperatura máxima do ar em Ji-Paraná (RO) são aproximadamente 30 °C, apresentando um pico de 31,9 °C no mês de agosto. Os valores de temperatura mínima mostram uma sazonalidade um pouco mais pronunciada, sendo julho o mês de valor mínimo (17,7 °C). Na Figura 1b são apresentados os valores médios mensais de temperatura do ar máxima, média e mínima.

3.2 - Simulações Climáticas

As análises dos dados foram realizadas considerando os aspectos de variações sazonais e horárias, as quais serão descritas a seguir.

3.2.1- Aspectos Sazonais

Os valores médios ou totais mensais de saldo de radiação (ondas curtas e longas), fluxos de calor conduzido ao solo, sensível e latente, temperatura, umidade específica do ar, velocidade do vento, evaporação e precipitação estão apresentados na Tabela 1. Os valores médios anuais analisados foram calculados com os meses de Janeiro à Dezembro de 1996. Nas discussões das análises sazonais para os componentes de radiação e para os elementos climáticos de temperatura e umidade específica do ar, utiliza-se também os resultados climatológicos medidos por Culf et al. (1996) para áreas de floresta e pastagem em Ji-Paraná

(RO). Embora estes dados observacionais não tenham sido obtidos simultaneamente com os dados simulados, eles servem para mostrar que os dados resultantes das simulações são comparáveis com as observações.

As variáveis extraídas do modelo para a área de Ji-Paraná foram analisadas através de valores médios ou totais mensais e estão mostradas na Figura 2. O saldo de radiação (Figura 2a) de ondas curtas (fluxo de radiação solar incidente menos a contribuição refletida pela superfície) é superior na floresta do que na pastagem, com excessão dos meses de seca. O valor médio no período é de 17,3 MJ.m⁻².d⁻¹ para a floresta e de 16,5 MJ.m⁻².d⁻¹ para a pastagem. Os valores obtidos (tipicamente entre 13 e 20 MJ.m⁻².d⁻¹) são coerentes com as observações efetuadas por Culf et al., (1996). No caso do saldo de radiação total (ondas curtas e ondas longas), a Figura 2b mostra que o saldo de radiação é superior no caso da floresta em relação à pastagem, com excessão dos meses secos na pastagem (junho-setembro). Neste período a temperatura da superfície é muito maior na pastagem, aumentando a emissão de ondas longas proveniente da superfície. Os valores obtidos variam entre 9 e 20 MJ.m⁻².d⁻¹, sendo que o valor médio é de 13,9 MJ.m⁻².d⁻¹ para a floresta e de 13,5 MJ.m⁻².d⁻¹ para a pastagem (redução de 3%). Os valores de saldo de radiação medidos por Culf et al. (1996) variam entre 10,8 e 13,3 MJ.m⁻².d⁻¹ para a floresta e entre 7,4 e 11,1 MJ.m⁻².d⁻¹ para a pastagem. Com relação aos fluxos de energia turbulenta (calor sensível e latente), a razão de Bowen (b) apresenta (Figura 2c) valores similares (aproximadamente 0,2) para as áreas de floresta e pastagem, durante os meses de chuva (veja a variação da precipitação ao final deste parágrafo). Somente na época seca (julho à setembro) é que ocorre uma variação acentuada, com a pastagem particionando uma maior quantidade de energia na forma de calor sensível (b igual a 1,4) do que calor latente. Esta variação era esperada, uma vez que as árvores conseguem extrair água de profundidades maiores (até 5-8 metros), devido ao seu sistema radicular (Nepstad et al.,

1994). Com isto, a falta de água da chuva é atenuada, e o fluxo de calor sensível não é tão grande quanto no caso da pastagem. A soma total dos fluxos de calor sensível e latente para a floresta é de $14,1 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (comparável com o saldo de radiação de $13,5 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) e para a pastagem é de $11,9 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ (saldo de radiação de $12,8 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$). A temperatura do ar (Figura 2d) na área de pastagem é sempre superior a da floresta, com uma diferença média de $0,9^\circ\text{C}$. Nos meses de seca, esta diferença é mais acentuada, podendo chegar a $3,8^\circ\text{C}$ (agosto). Esta diferença está associada a maior quantidade de fluxo de calor sensível proveniente da pastagem, uma vez que, devido à falta de chuva e pouca umidade no solo, a partição de energia ocorre, predominantemente, através do fluxo de calor sensível. A temperatura média varia de um valor típico de $23,5^\circ\text{C}$ durante a estação chuvosa em ambos os sítios, para $25,7^\circ\text{C}$ (outubro) na floresta e $28,1^\circ\text{C}$ (setembro) na pastagem, durante a época seca. A temperatura média na floresta é de $23,7^\circ\text{C}$ e de $24,7^\circ\text{C}$ na pastagem. Culf et al., (1996) apresenta valores entre $23,2$ e $25,7^\circ\text{C}$ na floresta e entre $22,1$ e $25,0^\circ\text{C}$ na pastagem. Em relação à umidade específica entre os dois sítios, não há diferenças nos valores médios mensais (Figura 2 e) durante a época chuvosa, com um valor típico de 16 g.kg^{-1} . Durante a época seca, há um decréscimo nas duas áreas, sendo este mais pronunciado na região de pastagem (valor mínimo de $9,5 \text{ g.kg}^{-1}$ em agosto contra valores de $11,9 \text{ g.kg}^{-1}$ em julho na floresta). O mínimo da umidade específica ocorre em julho na floresta e em agosto na pastagem, provavelmente associado com a ocorrência de penetração de friagens na floresta (ar frio e seco) e também devido à falta de água no solo para evapotranspirar, no caso da pastagem. A umidade específica média anual é de $15,4 \text{ g.kg}^{-1}$ na floresta e de $14,1 \text{ g.kg}^{-1}$ na pastagem. Culf et al. (1996) apresentam valores variando entre $13,4 \text{ g.kg}^{-1}$ e $17,2 \text{ g.kg}^{-1}$ na floresta e entre $11,9$ e $16,5 \text{ g.kg}^{-1}$ na pastagem. Com relação à velocidade do vento (Figura 2f), esta é sistematicamente maior na pastagem do que na floresta ao longo de todo o período considerado, principalmente durante a época seca: os valores na pastagem estão entre $4,0$ a

$5,0 \text{ m.s}^{-1}$, ao passo que na floresta este valor é entre $1,5$ a $2,0 \text{ m.s}^{-1}$. Este fato deve-se à variação do parâmetro de rugosidade: a floresta é uma superfície bastante rugosa, ao passo que a pastagem possui características mais lisas. Os valores utilizados do comprimento de rugosidade nesta simulação foram de $2,1 \text{ m}$ para a floresta e $0,0026 \text{ m}$ para o cenário de pastagem. A velocidade média na floresta é de $1,1 \text{ m.s}^{-1}$ e de $3,0 \text{ m.s}^{-1}$ na pastagem. A evaporação total (Figura 2g) na floresta é praticamente constante ao longo do ano ($4,4 \text{ mm.d}^{-1}$), indicando que as árvores realmente conseguem extrair água de profundidades maiores, não sofrendo o efeito de estress hídrico. No caso da pastagem, a evaporação é levemente inferior (diferença de $0,5 \text{ mm.d}^{-1}$) aos valores da floresta durante o período chuvoso, mas é muito menor nos meses de seca: em setembro a evaporação total foi de apenas $1,9 \text{ mm.d}^{-1}$ contra valor de $4,3 \text{ mm.d}^{-1}$ na floresta. Em termos de total anual, a floresta apresenta um valor de 1590 mm , ao passo que a pastagem evaporou 1275 mm , com uma redução de 20% do valor de floresta. Shuttleworth (1988) sugere que as florestas tropicais sempre transpiram em sua taxa máxima (evapotranspiração potencial), o que não ocorre com as pastagens. Em termos de precipitação (Figura 2h), esta também mostrou um decréscimo entre os valores de floresta ($2408,7 \text{ mm.ano}^{-1}$) e pastagem ($2077,7 \text{ mm.ano}^{-1}$) de 14% , com uma intensificação desta redução durante o período de seca. Os meses de junho-julho-agosto totalizam $58,0 \text{ mm}$ de precipitação na floresta e apenas $5,6 \text{ mm}$ na pastagem. Além disso, os meses com precipitação inferior a 30 mm.mês^{-1} passam de 2 meses (junho e julho) no caso floresta para 4 meses (maio à agosto) na pastagem. Em síntese, poderíamos separar a estação chuvosa na floresta de novembro à abril e a estação seca de junho e julho. No caso da pastagem, a estação chuvosa seria de outubro à março e o período seco de maio à agosto.

3.2.2 - Aspectos Horários

As análises realizadas para estudar a

variação horária foram as de calcular os fluxos de radiação (saldo de ondas curtas e total), de energia e os elementos climáticos (temperatura do ar, umidade específica e velocidade do vento) durante um mês típico úmido (janeiro/96) e no final da época seca (setembro/96). Estes dados estão apresentados na Tabela 2 e Figura 3 (mês úmido) e Tabela 3 e Figura 4 (mês seco). Os dados observacionais disponíveis para comparações são aqueles apresentados por Bastable et al., (1993) para a região de Manaus (AM), Ribeiro (1994) para a área de Marabá (PA) e por Fisch (1996) para a área de Ji-Paraná (RO).

Durante a época chuvosa, o saldo de ondas curtas (Figura 3a) é maior na floresta do que na pastagem, sendo que esta diferença atinge valores de até 112 W.m^{-2} às 11 Hora Local (HL). Esta maior diferença deve-se ao albedo maior da pastagem (17,5 %) em relação à floresta (12,6 %), segundo as medidas de Culf et al. (1995). Observacionalmente não se encontrou nenhuma diferença significativa no fluxo de radiação solar incidente entre floresta e a pastagem nesta época do ano (Culf et al., 1996). O saldo total (ondas curtas e longas) é apresentado na Figura 3b e não mostra diferença da Figura 3a, uma vez que a contribuição de ondas longas é muito pequeno. Valores calculados do saldo de ondas longas encontraram-se na faixa de -30 a -40 W.m^{-2} (Tabela 2). Os valores calculados da razão de Bowen (Figura 3c) são similares para os dois sítios experimentais, apresentando um valor característico de $+0,3$ durante o dia, indicando que os fluxos são no mesmo sentido (ambos positivos, da superfície para a atmosfera). À noite, a razão de Bowen possui valores negativos (entre $-0,5$ e $-1,8$), com uma inversão dos fluxos (calor sensível da atmosfera para a superfície e calor latente o inverso), sendo sistematicamente mais negativos na floresta do que na pastagem. Os valores máximos (entre 11 e 12 HL) do fluxo de calor sensível são 166 W.m^{-2} para a floresta e 110 W.m^{-2} para a pastagem. À noite estes valores são da ordem de -6 W.m^{-2} na floresta e de -3 W.m^{-2} na pastagem. A temperatura do ar (Figura 3d) na pastagem é inferior à da floresta durante o período diurno (em torno de $-1,2^\circ\text{C}$) e

superior no período noturno ($+0,6^\circ\text{C}$). A amplitude térmica é de $6,4^\circ\text{C}$ na área de floresta e de $5,0^\circ\text{C}$ na pastagem (Tabela 2). A maior temperatura na floresta está associada com o maior saldo de radiação (ondas curtas e total). A umidade específica é aproximadamente constante (valor típico de 16 g.kg^{-1}) ao longo do dia, com pequeno decréscimo por volta das 14 HL (Figura 3e). O máximo de umidade específica no meio da manhã pode ser devido ao efeito do entranhamento do ar acima da camada limite, que traz ar seco e quente para a camada limite convectiva. A velocidade do vento (Figura 3f) na região da pastagem, apresenta um ciclo diurno bem característico, com maior intensidade (vento de $1,8 \text{ m.s}^{-1}$) no horário de maior fluxo de radiação solar. À noite, o vento torna-se calmo (aproximadamente $1,0 \text{ m.s}^{-1}$). Na área de floresta, a velocidade do vento é aproximadamente constante, com valores típicos de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$.

A época seca apresenta características diferentes daquelas encontradas na época chuvosa. O saldo de ondas curtas (Figura 4a) é maior na floresta do que na pastagem, sendo que esta diferença atinge 187 W.m^{-2} às 11 HL. Entretanto, de peculiar, é que a floresta apresenta seu máximo antes do caso pastagem. Cutrim et al., (1995) observaram que, em áreas com grande desmatamento, como o caso de Ji-Paraná, imagens de satélites mostraram evidências de um aumento de nebulosidade durante a época seca. Esta característica, associada aos albedos diferentes, pode provocar esta defasagem dos valores máximos de saldo de radiação de ondas curtas. Na Figura 4b é apresentado o saldo total de radiação, sendo que esta não difere da Figura 4a. Os valores calculados do saldo total são tipicamente de -30 W.m^{-2} na floresta e -50 W.m^{-2} na pastagem. Com relação aos fluxos de energia (Figura 4c), a razão de Bowen durante o dia possui valores bem altos na área de pastagem (entre 1,0 e 3,0), indicando que a partição de energia ocorre, preferencialmente, através de calor sensível. Este valor na floresta é máximo às 9 HL (aproximadamente 1,0), decrescendo este valor ao longo do dia. Esta característica deve-se ao fato da floresta

conseguir extrair água de profundidades maiores do que a pastagem e, desta forma, não sofrer limitação de falta de água para evapotranspirar. Os valores máximos (às 11 HL) do fluxo de calor sensível são 318 W.m^{-2} para a floresta e 344 W.m^{-2} para a pastagem (Tabela 3). À noite estes valores são da ordem de -10 W.m^{-2} na floresta e de -20 W.m^{-2} na pastagem. Os valores calculados do fluxo de calor sensível para floresta são relativamente superiores aos observados experimentalmente por Fisch (1996), sendo esta diferença na ordem de 150 W.m^{-2} na floresta e 80 W.m^{-2} na pastagem. A temperatura do ar na pastagem é sempre superior a da floresta (Figura 4d), com diferença típica de $2,5^\circ\text{C}$. As maiores diferenças ocorrem após o por-do-sol (entre 18 e 19 HL), apresentando valores de até $4,8^\circ\text{C}$ (Tabela 3), provavelmente associados com o maior fluxo negativo de calor sensível. A amplitude térmica é de $10,5^\circ\text{C}$ na pastagem e de $10,1^\circ\text{C}$ na floresta. Os resultados já obtidos em comparações microclimáticas de áreas de floresta e pastagem para a época seca (Bastable et al., 1993; e Ribeiro, 1994) indicam que a temperatura do ar é maior na pastagem durante o dia e inferior à noite. Esta característica não é apresentada nos dados oriundos desta simulação climática. A diferença de umidade específica entre as áreas é bem marcante (Figura 4e), com o valor da pastagem sendo da ordem de 10 a 11 g.kg^{-1} , ao invés dos valores de 14 a 17 g.kg^{-1} na floresta. A velocidade do vento (Figura 4f) na área de pastagem é aproximadamente constante ($3,5 \text{ m.s}^{-1}$), contra valores inferiores a $1,0 \text{ m.s}^{-1}$ na floresta.

4. CONCLUSÕES

Embora os MCGAs tenham muitas parametrizações e simplificações dos processos físicos que ocorrem na atmosfera, esta simulação climática mostra aspectos coerentes com as observações já realizadas nas áreas de floresta e pastagem na região Amazônica (Bastable et al., 1993; Ribeiro, 1994; Culf et al., 1995 e 1996; Fisch, 1996). De modo geral, a

substituição de floresta por pastagem provoca, em nível sazonal, uma redução no saldo de radiação de ondas curtas (8%) e total (3%), um aumento na temperatura média do ar ($0,9^\circ\text{C}$), uma redução pequena na umidade específica do ar, um aumento da velocidade do vento, uma redução na evaporação e precipitação (de 20% e 14%, respectivamente) e um período de seca mais prolongado (a época seca, definida como os meses com precipitação total mensal inferior a 50, estende-se de junho à julho no cenário floresta para maio à agosto no caso pastagem).

Estas modificações possuem aspectos horários que são diferentes das épocas úmida e seca. Os saldos de radiação de ondas curtas e total são superiores na floresta em relação à pastagem em ambas as estações (esta diferença é de 17% na estação chuvosa e 5% na época seca). Para o caso da partição de energia (razão de Bowen), durante a época chuvosa esta é tipicamente de +0,3, modificando-se bruscamente (para valores entre 1,0 e 3,0) durante a estação seca. No caso da temperatura do ar, a floresta apresenta um valor máximo maior do que de pastagem ($1,2^\circ\text{C}$) durante o período das chuvas e é inferior ao mínimo da temperatura da pastagem na estação seca ($-2,5^\circ\text{C}$). Os valores calculados de umidade específica são similares durante a estação chuvosa (em torno de 16 g.kg^{-1}), embora bem diferentes (floresta 16 g.kg^{-1} e pastagem 10 g.kg^{-1}) na época seca. A velocidade do vento é mais intensa na pastagem em relação à floresta, sendo que no período seco a pastagem apresenta ventos de até $3,5 \text{ m.s}^{-1}$.

Como ponto fraco e de maior discordância entre o modelo e as observações, ressalta-se o fato do ciclo diário da temperatura do ar ser diferente das comparações observacionais microclimáticas entre floresta tropical e pastagem, principalmente na época seca e durante o período noturno. Esta variação tem sido uma característica de resultados de simulações numéricas (por exemplo, Nobre et al., 1991), que podem ser devido ao fato dos modelos MCGAs não conseguirem representar

o desacoplamento da camada limite noturna, devido ao tamanho das grades utilizadas (entre 200 e 400 km).

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos à todos os colegas britânicos e brasileiros que participam do Projeto ABRACOS e que permitiram que este estudo pudesse ser realizado. Agradecemos também a colaboração dos colegas britânicos do Hadley Centre (P.R. Rowtree e C.B. Button) na realização do exercício de simulação climática e do estagiário Marcelo Fernandes na preparação e editoração dos gráficos. G.Fisch agradece à CAPES pela bolsa "sandwich" de programa de doutorado no país com estágio no exterior (PDEE-2374/93), que permitiu sua estada no Institute of Hydrology (Wallingford, Reino Unido), onde este trabalho foi parcialmente realizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTABLE, H.G.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DALLAROSA, R.L.G.; FISCH, G.; NOBRE, C.A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian Forest. **International Journal of Climatology**, v. 13, n.7, p. 783-796, 1993.
- CULF, A.D.; FISCH, G.; HODNETT, M.G. The albedo of Amazonian forest and ranchland. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.
- CULF, A.D.; ESTEVES, J.L.; MARQUES FILHO, A. DE O.; ROCHA, H.R. DA. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L., ed. **Amazonia deforestation and climate**. Chicester, UK, John Wiley, 1996. p. 171-195.
- CUTRIM, E.; MARTIN, D.W.; RABIN, R. Enhancements of cumulus cloud cover over deforested lands in Amazonia. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.76, n. 10, p. 1801-1805, 1995.
- DICKINSON, R.E.; HENDERSON-SELLERS, A. Modelling tropical deforestation: a study of GCM land-surface parametrizations. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v. 114, n. 480, p. 439-462, 1988.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitation distribution over Central and western 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 (INPE 6123/TDI 584), São José dos Campos, SP. 171 p., 1996.
- FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. Clima da Amazônia. **Climanálise Especial - Edição Comemorativa de 10 anos**, v. 11, n. 10, p. 24-41, 1996.
- GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A. An overview of ABRACOS. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L., ed. **Amazonia deforestation and climate**. Chicester, UK, John Wiley, 1996. p. 1-14, 1996.
- HAMILTON, M.G.; TARIFA, J.R. Synoptic aspects of a polar outbreak leading to frost in Tropical Brazil, July 1972. **Monthly Weather Review**, v.106, n. 11, p. 1545-1556, 1978.
- HENDERSON-SELLERS, A.; DICKINSON, R.E.; DURBIDGE, T.B.; KENNEDY, P.J.; MCGUFFIE, K.; PITMAN, A.J. Tropical deforestation modelling local to regional scale climate change. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, n. D4, p. 7289-7315, 1993.
- HOREL, J.H.; 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.

LEAN, J.; WARRILOW, D.A. Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation. **Nature**, v. 342, n. 6248, p. 411-413, 1989.

LEAN, J.; ROWNTREE, P.R. A GCM simulation of the impact of Amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society**, v. 119, n. 511, p. 509-530, 1993.

LEAN, J.; BUTTON, C.B.; NOBRE, C.A.; ROWNTREE, P.R. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: Gash, J.H.C.; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Victoria, R.L., ed. **Amazonia deforestation and climate**. Chicester, UK, John Wiley, 1996. p. 549-576, 1996.

MANZI, A. O. **Introduction d'un schéma des transferts sol-vegetation-atmosphère dans un modèle de circulation générale et application a la simulation de la deforestation Amazonienne**. (Tese de Doutorado) - Universidade Paul Sabatier, Toulouse, França, July, 1993. 230 p.

MARENGO, J.A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **International Journal of Climatology**, v. 12, n.8, p. 853-863, 1992.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; DA SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBOSE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forest and pasture. **Nature**, v. 373, n.6507, p. 666-669, 1994.

NOBRE, C.A.; SELLERS, P.J.; SHUKLA, J.

Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, n. 10, p. 957-988, 1991.

PAIVA, E.M.C.D. DE; CLARKE, R.T. Time trends in rainfall records in Amazonia. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 76, n. 11, p. 2203-2209, 1995.

RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e pastagem na Amazônia**. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, 67 p, 1994.

SHUTTLEWORTH, W.J. Evaporation from Amazonian rain forest. **Proceedings of Royal Society of London**, serie B, v. 233, n. 1272, p. 321-346, 1988.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; ROBERTS, J.M.; NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B.; RIBEIRO, M.N.G. Post-deforestation Amazonian climate: Anglo Brazilian research to improve prediction. **Journal of Hydrology**, v. 129, n.1, p. 71-86, 1991.

WILSON, M.F.; HENDERSON-SELLERS, A. A global archive of land cover and soils data for use in general circulation models. **Journal of Climatology**, v. 5, n. 2, p. 119-143, 1985.

WRIGTH, 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. 1083-1100, 1992.

YANG, Z.L.; DICKINSON, R.E.; HENDERSON-SELLERS, A.; PITMAN, A.J. Preliminary study of spin-up processes in land-surface models with the first stage data of PILPS phase 1(a). **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. D8, p. 16553-16578, 1995.

SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DO EFEITO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE UM CASO EM RONDÔNIA

Tabela 1a: Valores médios e totais mensais de saldo de radiação de ondas curtas (Sn), ondas longas (Ln), total (ondas curtas e longas, Rn), fluxos de calor conduzido ao solo (FCS), sensível (H) e latente (LE), temperatura do ar (Temp), umidade específica (Umid), velocidade do vento (Vel), evaporação (Evap) e precipitação (Prec) para o cenário de floresta (período de Dez/95 à Fev/97).

floresta	Sn	Ln	Rn	FCS	H	LE	Temp	Umid	Vel	Evap	Prec
Dez	13,8	-2,4	11,4	-0,04	1,5	10,1	23,2	16,3	0,8	4,0	358,9
Jan	16,8	-2,4	14,4	0,04	2,2	12,1	24,0	16,7	1,0	4,8	388,9
Fev	13,8	-2,4	11,4	-0,04	1,9	9,6	23,0	16,7	0,4	3,8	406,4
Mar	16,8	-2,4	14,4	0,04	2,4	11,6	24,0	16,7	0,6	4,6	338,2
Abr	15,6	-3,0	12,6	0,02	1,8	11,0	24,0	16,8	0,9	4,4	227,7
Mai	16,8	-3,6	13,2	-0,07	2,3	11,4	23,0	14,9	2,0	4,6	72,1
Jun	15,6	-4,2	11,4	-0,18	2,1	10,2	21,5	12,6	2,0	4,1	0,5
Jul	9,2	-4,8	14,4	0,10	3,0	11,3	21,1	11,9	1,9	4,5	0,0
Ago	19,2	-4,2	15,0	0,09	4,5	11,1	23,3	13,7	1,4	4,4	57,5
Set	19,8	-4,2	15,6	0,14	5,2	10,7	25,3	15,3	0,9	4,3	121,7
Out	20,4	-3,6	16,8	0,09	4,8	11,9	25,7	16,2	1,2	4,7	172,2
Nov	18,6	-3,6	15,0	0,00	4,1	11,6	25,3	16,4	0,5	4,6	217,9
Dez	14,4	-2,4	12,0	-0,05	1,5	10,6	23,6	16,7	0,9	4,2	405,6
Jan	13,8	-2,4	11,4	-0,07	1,3	10,2	23,3	16,4	0,9	4,1	359,0
Fev	16,2	-2,4	13,8	0,06	2,2	11,3	23,9	16,6	0,9	4,5	335,1

Tabela 2a: Valores médios e totais mensais de saldo de radiação de ondas curtas (Sn), ondas longas (Ln), total (ondas curtas e longas, Rn), fluxos de calor conduzido ao solo (FCS), sensível (H) e latente (LE), temperatura do ar (Temp), umidade específica (Umid), velocidade do vento (Vel), evaporação (Evap) e precipitação (Prec) para o cenário de pastagem (período de Dez/95 à Fev/97).

past.	Sn	Ln	Rn	FCS	H	LE	Temp	Umid	Vel	Evap	Prec
Dez	12,0	-2,4	9,6	-0,09	1,8	7,7	23,7	16,4	1,5	3,0	395,7
Jan	14,4	-3,0	11,4	-0,01	2,1	9,3	24,2	16,5	2,0	3,7	379,8
Fev	12,6	-2,4	10,2	-0,06	1,8	8,4	23,8	16,3	1,2	3,9	309,3
Mar	15,6	-3,0	12,6	-0,01	2,3	9,9	24,5	16,6	2,7	3,9	272,3
Abr	18,0	-4,2	13,8	-0,03	2,4	11,5	24,9	15,2	4,1	4,5	120,5
Mai	16,8	-4,8	12,0	-0,07	1,9	10,0	24,0	13,6	3,9	3,9	29,1
Jun	16,8	-4,8	12,0	-0,12	1,6	9,8	23,0	12,1	4,4	3,8	0,4
Jul	16,8	-4,2	12,6	-0,02	2,0	9	22,4	10,8	5,0	3,6	2,1
Ago	20,4	0,0	20,4	0,31	5,8	6,3	27,1	9,5	4,3	2,4	3,1
Set	19,2	-0,6	18,6	0,06	7,1	5,0	28,1	10,7	4,2	1,9	97,0
Out	17,4	-3,0	14,4	0,02	4,3	8,8	26,1	15,7	1,5	3,5	213,3
Nov	15,6	-3,0	12,6	-0,08	2,4	10,0	24,5	16,5	1,9	3,9	326,1
Dez	13,8	-3,0	10,8	-0,09	2,0	8,9	23,7	16,2	1,4	3,5	324,3
Jan	14,4	-3,0	11,4	-0,01	2,1	9,3	24,2	16,5	2,0	3,7	331,3
Fev	12,6	-2,4	10,2	-0,06	1,8	8,4	23,8	16,3	1,2	3,3	373,0

Unidades dos fluxos de radiação e energia em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, de temperatura em $^{\circ}\text{C}$, de umidade específica em g.kg^{-1} , da velocidade em m.s^{-1} , de evaporação em mm.dia^{-1} e precipitação em (mm).

Tabela 3: Valores médios horários do saldo de radiação de ondas curtas (Sn) e total (ondas curtas e longas, Rn), fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), temperatura do ar (Temp), umidade específica (Umid) e velocidade do vento (Vel) os cenários de floresta e pastagem (janeiro/96).

floresta	Sn	Rn	H	LE	Temp	Umid	vel
2	0	-19,9	-6,4	4,6	21,6	16,2	1,1
5	125,8	106,4	-5,2	4,7	21,4	15,9	1,1
8	438,1	410,0	55,1	232,9	24	17,3	1,2
11	647,2	605,6	166,5	399,1	26,9	17,5	1,3
14	343,3	298,8	64,3	376,3	27,8	16,1	1,0
17	12,6	-28,8	-32,5	76,2	25,9	17	0,6
20	0	-22,9	-7,8	5,6	22,5	16,9	0,9
23	0	-20,2	-6,6	4,1	22	16,5	1,1

pastagem	Sn	Rn	H	LE	temp	umid	vel
2	0	-20,6	-3,2	5,3	22,2	16,1	1,2
5	144	92,6	-3	4,4	21,8	16	1,4
8	392,6	357,5	54,2	168,7	24,1	17	1,7
11	535,1	486,3	107,7	335,7	25,8	16,8	1,8
14	280,6	226,4	66	275,1	26,8	16,1	1,3
17	10,4	-33,5	-15,1	65,3	26,3	15,7	0,9
20	0	-22,9	-4	4,6	23,3	16,7	0,8
23	0	-20,9	-3,6	5,6	22,7	16,4	1

Tabela 4: Valores médios horários do saldo de radiação de ondas curtas (Sn) e total (ondas curtas e longas, Rn), fluxos de calor sensível (H) e latente (LE), temperatura do ar (Temp), umidade específica (Umid) e velocidade do vento (Vel) os cenários de floresta e pastagem (setembro/96).

floresta	Sn	Rn	H	LE	Temp	Umid	vel
2	0	-32,5	-13	10,4	21,2	15,5	0,5
5	193,4	160,1	-9,3	4,8	20,6	15,1	0,2
8	681	629,4	175,2	223,3	26,5	16,3	0,2
11	618,4	556,5	207,6	344,2	30,2	14,3	0,4
14	324,2	261,4	119,7	293,4	30,7	13,9	0,4
17	5,9	-55,4	-38,5	39	29	13,7	0,8
20	0	-35,3	-15,9	15,6	22,7	15,9	1,0
23	0	-32,1	-1,1	9,5	21,8	15,7	0,8

pastagem	Sn	Rn	H	LE	temp	umid	vel
2	0	-53,1	-18,8	13,1	23,9	11,2	3,5
5	168,3	118	-20,1	14,7	22,9	11,1	3,6
8	606,5	581,2	148,3	128,5	28,1	11,1	3,4
11	653,9	743,2	346,3	131,2	32,2	10,2	3,4
14	327,2	417,8	244,5	112	33,4	9,8	3,5
17	5,7	14,5	-33,2	43,3	31,9	9,8	3,3
20	0	-63,9	-21,3	13,6	27,0	10,9	3,2
23	0	-57,2	-18,8	11,5	25,1	11,3	3,3

Tempo em Hora Local. Unidades dos fluxos de radiação e energia em $W.m^{-2}$, de temperatura em $^{\circ}C$, de umidade específica em $g.kg^{-1}$ e velocidade do vento em $m.s^{-1}$.

SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DO EFEITO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE UM CASO EM RONDÔNIA

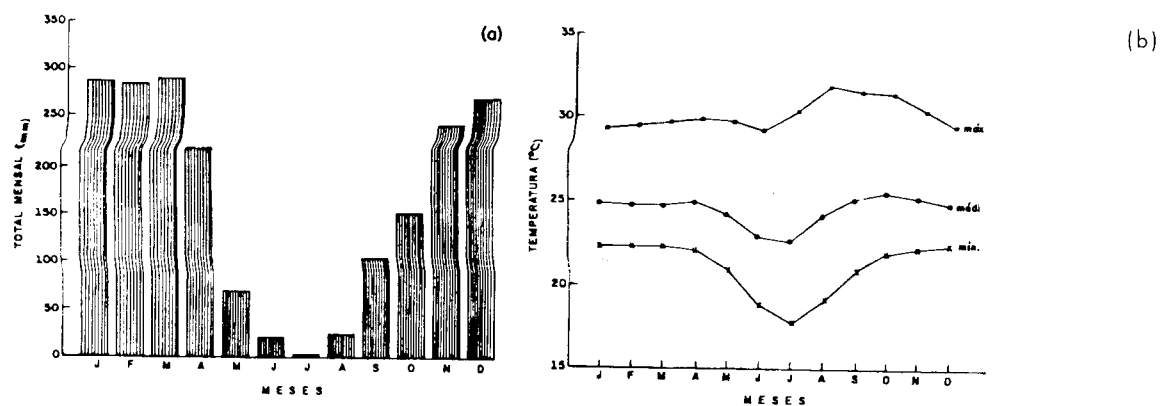


Figura 1 - Descrição climatológica (período 1982-1992) da região de Ji-Paraná (RO): precipitação (a) e temperatura do ar (b).
Fonte: CEPLAC

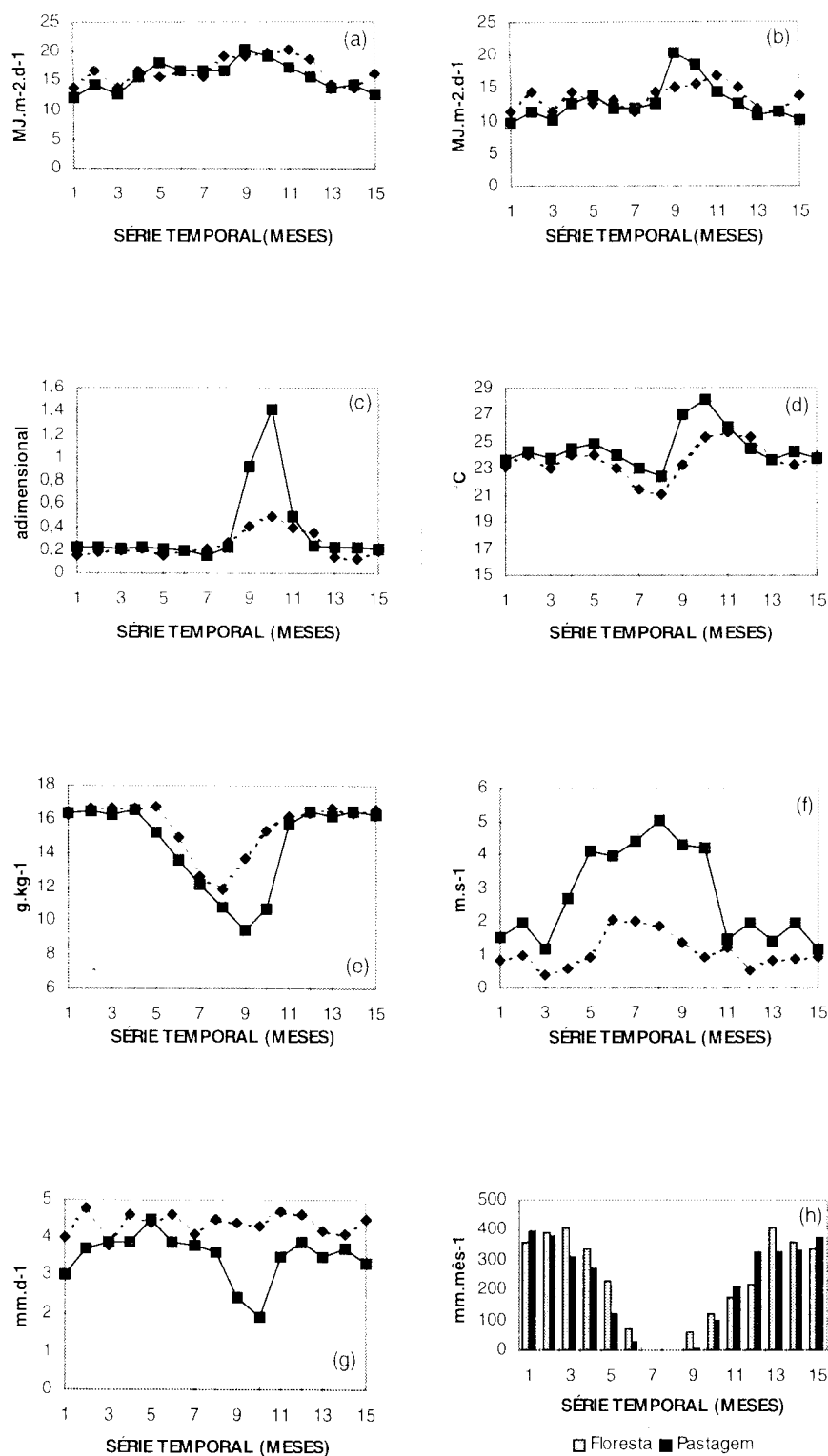


Figura 2 - Valores médios mensais obtidos de saldo de radiação solar (a), saldo total de radiação (b), razão de Bowen (c), temperatura do ar (d), umidade específica (e), velocidade do vento (f), evaporação (g) e precipitação (h) para os sítios experimentais de floresta (linha tracejada) e pastagem (linha contínua).

SIMULAÇÕES CLIMÁTICAS DO EFEITO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO AMAZÔNICA: ESTUDO DE UM CASO EM RONDÔNIA

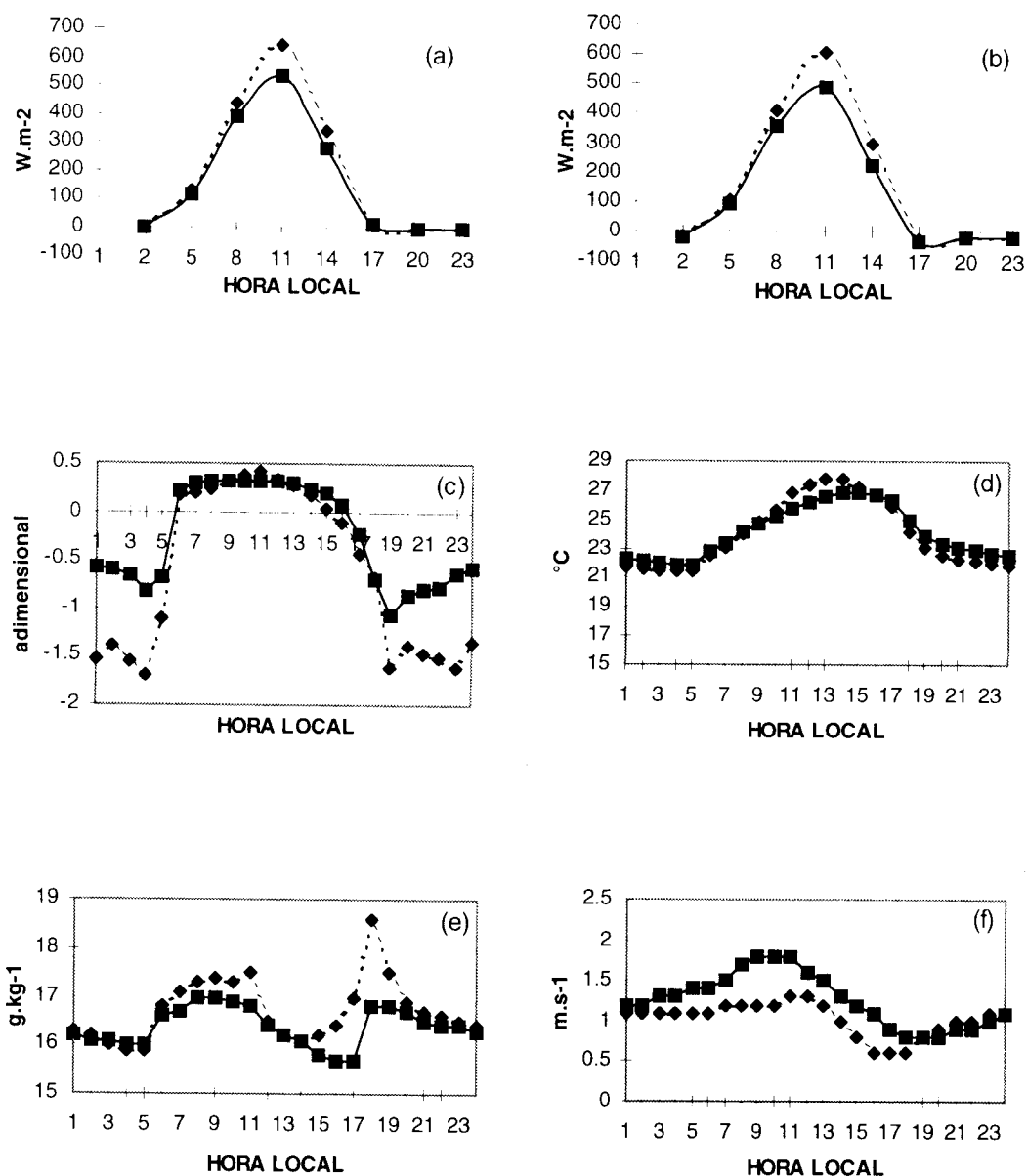


Figura 3 - Valores médios horários obtidos da simulação climática: saldo do balanço de ondas curtas (a), saldo total de radiação (b), razão de Bowen (c), temperatura do ar (d), umidade específica (e) e velocidade do vento (f), para os sítios experimentais de floresta (linha tracejada) e pastagem (linha contínua), no mês de janeiro de 1996 (época chuvosa).

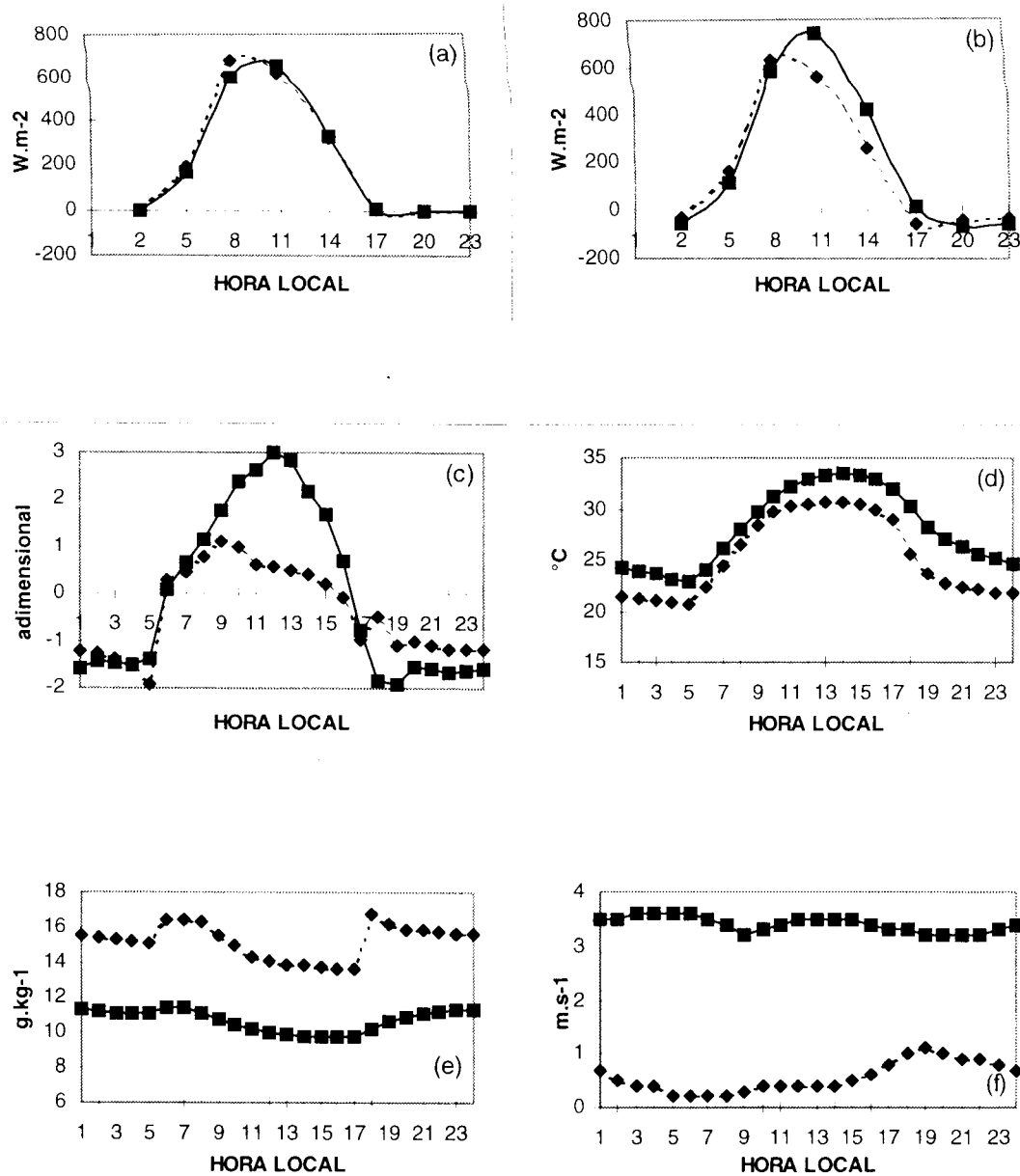


Figura 4 - Valores médios horários obtidos da simulação climática: saldo do balanço de ondas curtas (a), saldo total de radiação (b), razão de Bowen (c), temperatura do ar (d), umidade específica (e) e velocidade do vento (f), para os sítios experimentais de floresta (linha tracejada) e pastagem (linha contínua), no mês de setembro de 1996 (época seca).