

MEIRE LÚCIA CALDEIRA BERBET

**VARIAÇÃO SAZONAL DO ALBEDO E SUA INFLUÊNCIA
NA MUDANÇA DO PADRÃO DE CHUVA, EM CONSEQÜÊNCIA
DA CONVERSÃO DA FLORESTA TROPICAL EM PASTAGEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

MEIRE LÚCIA CALDEIRA BERBET

**VARIAÇÃO SAZONAL DO ALBEDO E SUA INFLUÊNCIA
NA MUDANÇA DO PADRÃO DE CHUVA, EM CONSEQÜÊNCIA
DA CONVERSÃO DA FLORESTA TROPICAL EM PASTAGEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 27 de março de 2002.

José E. Macedo Pezzopane

Gilberto Chohaku Sedyama

José Maria Nogueira da Costa
(Conselheiro)

Aristides Ribeiro
(Conselheiro)

Marcos Heil Costa
(Orientador)

Aos meus pais, Jetro Simões Caldeira e Lucília Teixeira Caldeira.

Aos meus irmãos Jetro, Júlia, Dulcinéia e Carmen.

Ao meu esposo, Sérgio Berbet.

Aos meus filhos Sérgio, Leandro e Luciene.

AGRADECIMENTO

A Deus, dono da prata e do ouro.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de integração e crescimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior, CAPES, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pelas bolsas de pesquisa destinadas à elaboração deste trabalho.

À minha família, pelo companheirismo, pela paciência, pelo amor e auxílio.

Ao professor Marcos Heil Costa, pela orientação, pelo desprendimento, e pela habilidade no emprego adequado dos recursos disponíveis.

Ao professor Aristides Ribeiro, pelas críticas e sugestões na organização e expressão das idéias.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pelas sugestões e ensinamentos repassados.

Ao professor Gilberto Chohaku Sediyaama, que sempre estimula a missão científica e o aprimoramento de uma equipe de trabalho.

Ao professor José Eduardo Macedo Pezzopanne, pelas valiosas sugestões apresentadas.

BIOGRAFIA

MEIRE LÚCIA CALDEIRA BERBET, filha de Jetro Simões Caldeira e de Lucília Teixeira Caldeira, nasceu em 11 de fevereiro de 1956, na cidade de Dom Cavati, Estado de Minas Gerais.

Graduada e pós-graduada em Matemática pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Caratinga, MG, em dezembro de 1980, e em janeiro de 1995, respectivamente.

Pós-graduada em Administração Pública pela Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, MG, em dezembro de 1995.

Ingressou na Universidade Federal de Viçosa, MG, em agosto de 1999, iniciando o Curso de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, oportunidade em que dedicou-se aos estudos hidroclimatológicos.

ÍNDICE

	Página
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Ângulo de elevação solar	7
2.2. Regime de chuva, umidade foliar e umidade do solo	8
3. METODOLOGIA	11
3.1. O experimento de simulação	11
3.2. Dados de albedo observados	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. Validação do albedo simulado	17

	Página
4.2. Variabilidade sazonal do albedo	18
4.3. Influência sazonal do albedo da superfície na mudança do padrão de chuva sobre a área desmatada	24
5. RESUMO E CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

LISTA DE QUADROS

	Página
1	Resumo de alguns experimentos climáticos que avaliaram os efeitos do desmatamento da floresta tropical no clima regional .. 3
2	Principais áreas do ABRACOS 15
3	Comparação entre as médias anuais simuladas e observadas de albedo, para áreas de pastagem e floresta, e variação espacial 18

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Representação esquemática da América do Sul. As células hachuradas foram as células que sofreram mudança na cobertura vegetal	13
2	Valores mensais de albedo superficial, em áreas de floresta - Reserva Ducke (◆) e pastagem - Fazenda Dimona (■)	19
3	Valores mensais de albedo superficial, em áreas de floresta - Reserva Jaru (◆) e pastagem - Fazenda Nossa Senhora (■). As linhas tracejadas verticais representam os dias em que o Sol atinge sua máxima elevação	19
4	Variação horária de albedo, proveniente de dados observados em (a) período seco e (b) úmido	22
5	Diferença sazonal de albedo ($\alpha_D - \alpha_F$), englobando as áreas de Manaus (2,63°S), de Marabá (5,46°S), e de Ji-Paraná (10,41°S)	23
6	Diferença de albedo simulado versus mês do ano para três latitudes	24
7	Variações relativas entre P'/P e α'/α . JFM: janeiro, fevereiro e março. JAS: julho, agosto e setembro	25

8	Mudança no padrão de chuva (P'), em mm/dia, e a mudança no albedo da superfície após a conversão da floresta tropical em pastagens (α'), para a latitude de $-2,25^\circ$. Cada ponto representa um trimestre	26
9	Mudança no padrão de chuva (P'), em mm/dia, e a mudança no albedo da superfície após a conversão da floresta tropical em pastagens (α'), para a latitude de $-6,75^\circ$. Cada ponto representa um trimestre.....	26

RESUMO

BERBET, Meire Lúcia Caldeira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, março de 2002. **A influência sazonal do albedo da superfície na mudança do padrão de chuva, em consequência da conversão da floresta tropical em pastagens**. Orientador: Marcos Heil Costa. Conselheiros: Aristides Ribeiro e José Maria Nogueira da Costa.

Esta pesquisa tem o objetivo de estudar a variação do albedo da superfície devido ao desmatamento da floresta tropical, e sua influência no padrão sazonal de chuva na Amazônia. Resultados do experimento de simulação de COSTA e FOLEY (2000) foram utilizados para representar as diferenças de precipitação, num cenário em que a floresta tropical nativa foi substituída por áreas desmatadas, cobertas de gramíneas. As médias de albedo, extraídas dos dados simulados, foram comparadas às médias observadas no campo, por CULF et al. (1996), para fins de validação de dados. Verificou-se que a diferença de albedo entre a pastagem e a floresta apresenta variação sazonal. Enquanto o albedo da floresta é praticamente constante ao longo do ano, apresentando pouca variação de acordo com o ângulo de elevação do Sol e com o molhamento foliar e do solo, o albedo da pastagem é mais sensível a estes fatores, apresentando grande variação ao longo do ano. Razões que podem explicar a maior variabilidade do albedo da pastagem incluem a altura ou a densidade da

vegetação, a proporção de solo nu exposto ou a inclinação das folhas em relação à vertical. Verificou-se também que as variações sazonais da diferença de albedo estão associadas a flutuações em escala sazonal das anomalias de precipitação causadas pelo desmatamento. A resposta da circulação atmosférica e da precipitação sobre a área desmatada é proporcional ao incremento do albedo.

ABSTRACT

BERBET, Meire Lúcia Caldeira, M.S., Universidade Federal de Viçosa, March 2002. **Albedo seasonal variation and its influence on the change in the rainfall pattern as a consequence from conversion of the tropical forest to pasture**. Adviser: Marcos Heil Costa. Committee Members: Aristides Ribeiro and José Maria Nogueira da Costa.

This study aimed at the evaluation of the influence of the surface albedo change due to deforestation of the tropical forest on the seasonal pattern of rainfall in Amazonia. The results from the simulation experiment by COSTA and FOLEY (2000) were used to represent the precipitation differences in a scenario where the native tropical forest was replaced by deforested areas covered with grasses. The simulated albedo was compared to the data observed in the field by CULF et al. (1996), in order to validate the data. It was verified that the pasture and forest albedo present seasonal differences. While the forest albedo is more conservative throughout the year, presenting low variability according to the elevation of the sun, and the moisture of leaves and soil, the pasture albedo is more sensitive to these factors, presenting large variability along the year. The height or vegetation density, the proportion of the exposed bare soil or the predominantly vertical inclination of the leaves could probably explain the wider variability of the pasture albedo include. The seasonal variations of the albedo

difference are associated to the fluctuations at seasonal scale of the precipitation anomalies caused by deforestation. The response of the atmospheric circulation and the precipitation on the deforested area is proportional to the increase in albedo.

1. INTRODUÇÃO

Teorias desenvolvidas com a finalidade de explicar a influência da superfície dos continentes no clima geralmente baseiam-se em processos biofísicos, como por exemplo os processos que determinam o balanço de radiação e a sua partição em fluxo de calor sensível e latente. A interferência destes processos torna-se explícita quando a resposta do clima regional ao desmatamento tropical é determinada, pois a devastação de áreas de floresta para a implantação de atividades de pastoreio causa, principalmente, uma elevação no albedo da superfície, a qual é devida principalmente ao fato das folhas das gramíneas apresentarem uma maior refletância do que as folhas das árvores.

CHARNEY (1975) foi o primeiro a propor que o albedo, parâmetro biofísico da superfície, pode influenciar o clima regional, usando como exemplo o clima do deserto do Saara. Até então, a presença de climas desérticos em regiões subtropicais era explicada pela componente descendente da célula de Hadley. Entretanto, Charney propôs que a subsidência sobre o deserto também pode estar associada ao elevado albedo do mesmo, que contribuiria para a redução no saldo de energia daquela coluna atmosférica, em relação a áreas adjacentes. Como consequência, gradientes horizontais de temperatura induziriam a uma circulação que transfere calor para a camada superior da coluna

atmosférica (vento térmico), mantendo o equilíbrio térmico em razão do movimento descendente e da compressão adiabática.

Um avanço na abordagem teórica de Charney foi dado por ELTAHIR (1996), que considerou uma atmosfera úmida em oposição à atmosfera seca usada por Charney, propondo então uma teoria mais apropriada a regiões em que nuvens são comuns. Na teoria em questão, vegetação e circulações atmosféricas de grande escala são componentes de um sistema biogeofísico de equilíbrio, pois condições climáticas oriundas destas circulações promovem ambientes ideais para florestas úmidas, enquanto fluxos de calor sensível e latente da floresta na atmosfera produzem importantes condições de contorno para as dinâmicas das circulações em questão (ELTAHIR, 1996). A teoria de Eltahir tem sido utilizada para explicar mudanças na circulação atmosférica que ocorreriam depois de desmatamentos de macroescala (COSTA, 2002).

ZENG e NEELIN (1999) complementaram a teoria de ELTAHIR (1996) descrevendo os mecanismos de retroalimentação que envolvem o balanço de energia e água na coluna atmosférica, em resposta a um cenário de aumento de albedo da superfície. Os processos que controlam a mudança de precipitação envolvem mecanismos de retroalimentação de convergência de umidade, de evaporação e radiativo relacionado à cobertura de nuvens. ZENG e NEELIN (1999) concluíram que a mudança na precipitação pode ser explicada como uma função linear da mudança no albedo da superfície.

Estudos de simulações que avaliaram os efeitos da conversão da floresta Amazônica em pastagens, sobre o clima local, revelam que em geral ocorre uma redução na precipitação após a substituição da floresta por gramíneas (Quadro 1). Apesar dos estudos em questão envolverem diversos modelos com significativas diferenças entre si, é evidente a dependência da diferença de precipitação com a mudança no albedo da superfície. Explicando o Quadro 1, por exemplo, COSTA e FOLEY (2000) utilizaram o modelo GENESIS para simular a circulação geral da atmosfera e a sua influência nas suas condições de contorno, isto é, os fluxos de radiação, calor sensível e calor latente entre a atmosfera e a superfície dos continentes e oceanos, incluindo a temperatura da superfície. A simulação foi

executada para um período de 15 anos, até que o sistema biosfera terrestre-atmosfera-oceano atingisse um novo equilíbrio climático.

Quadro 1 - Resumo de alguns experimentos climáticos que avaliaram os efeitos do desmatamento da floresta tropical no clima regional

Referência	Dickinson Kennedy (1992)	Henderson-Sellers <i>et al.</i> (1993)	Lean e Rowntree (1993)	Manzi e Planton (1996)	Lean e Rowntree (1997)	Hahmann Dickinson (1997)	Costa e Foley (2000)
MCGA	CCM1	CCM1-OZ	UKMO	EMERAUDE	UKMO	RCCM2	GENESIS
Resolução	4,5°x7,5°	4,5°x7,5°	2,5°x3,8°	2,8°x2,8°	2,5°x3,8°	2,8°x2,8°	4,5°x7,5°
Simulação	3 anos	6 anos	3 anos	3 anos	10 anos	10 anos	15 anos
z ₀ (m) *	2,00/0,05	2,00/0,20	0,80/0,04	2,00/0,026	2,10/0,026	2,00/0,05	1,51/0,05
Albedo	0,12/0,19	0,12/0,19	0,14/0,19	0,12/0,163	0,13/0,18	0,12/0,19	0,135/0,173
ΔP (mm/d)	-1,4	-1,6	-0,8	-0,4	-0,4	-1,0	-0,7
ΔET (mm/d)	-0,7	-0,6	-0,6	-0,3	-0,8	-0,4	-0,6
ΔR (mm/d)	-0,7	-0,9	-0,2	+0,3	+0,4	-0,6	-0,1
ΔT (°C)	+0,6	+0,6	+2,1	+1,3	+2,3	+1,0	+1,4

Fonte: Extraído de COSTA (2002).

Δ = variação; P = precipitação; ET = evapotranspiração; R = escoamento superficial; T = temperatura; z₀ = rugosidade aerodinâmica. Médias anuais para áreas de floresta e pastagem.

MCGA = Modelo de Circulação Geral da Atmosfera; CCM1 = Community Climate Model Versão 1; CCM1-OZ = Community Climate Model Versão 1-OZ; UKMO = United Kingdom Meteorological Office; RCCM2 = Regional Community Climate Model Versão 2; GENESIS = Global Environmental and Ecological Simulation of Interactive Systems.

No cálculo do albedo da superfície, o modelo considera a dependência do albedo da vegetação em relação ao índice de área foliar e da orientação e refletância das folhas, ao contrário da maioria dos modelos, que consideram um albedo fixo. Os parâmetros rugosidade aerodinâmica e albedo foram calculados interativamente durante a simulação. Em termos médios anuais, os resultados de simulação apresentados mostraram valores de albedo de áreas de floresta e pastagem iguais a 0,135 e 0,173, respectivamente. A diferença média de precipitação obtida no experimento equivale a um decréscimo de 0,7 mm/dia.

Investigando os efeitos do aumento do albedo superficial em regiões tropicais, DIRMEYER e SHUKLA (1994) mostraram, através de simulações

usando o modelo climático COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies), da University of Maryland, que a precipitação média decresce quando o incremento do albedo é maior que 0,03, sendo linearmente proporcional ao mesmo. Se o albedo superficial não aumentar consideravelmente como resultado da substituição da floresta por pastagem, ou seja, se o incremento do mesmo não for maior do que 0,03, mecanismos de retroalimentação controlados pela elevação da temperatura local podem contrabalançar os efeitos do albedo. O aumento da convergência termal, causada pelo aumento da temperatura da superfície, compensa a redução em convergência friccional. Isto permite transporte e condensação de mais umidade sobre a área desmatada, acrescentando outras fontes de variação de aquecimento e posteriores aumentos de convergência.

Entretanto, os diversos estudos realizados sobre o assunto até o momento têm se preocupado em analisar os efeitos da conversão da floresta tropical no clima médio anual, ou em determinada estação (geralmente a mais chuvosa), sem se preocupar com a variabilidade sazonal. A escala climática anual lida com uma situação de equilíbrio, enquanto a escala sazonal opera em situação transiente. Existem evidências suficientes para afirmar que o albedo das pastagens apresenta importante variação sazonal (CULF et al., 1996). Assim, é necessário verificar, em primeiro lugar, se existem mudanças sazonais na diferença do albedo superficial (α') antes e depois da conversão da floresta tropical e, em segundo lugar, se existem mudanças sazonais na diferença da precipitação local (P'). Finalmente, é importante ainda verificar se a relação linear entre P' e α' observada numa base anual também é válida numa base sazonal. Tais investigações são fundamentais para a compreensão da resposta do clima local à conversão da floresta tropical em pastagens.

Considerando o exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação sazonal do albedo da superfície associada à substituição da floresta tropical por pastagens, na mudança nos padrões de precipitação sazonal. Foram utilizados dados de campo coletados durante o projeto ABRACOS (Anglo Brazilian Amazonian Climate Observation Study) (CULF et al., 1996), e

resultados do experimento climático de COSTA e FOLEY (2000), que avaliaram o efeito que a mudança da floresta tropical Amazônica causa no clima local. De maneira mais específica, este trabalho objetiva

- validar os albedos simulados por COSTA e FOLEY (2000), utilizando-se valores observados no campo por CULF et al. (1996), para as situações de floresta e pastagem;
- avaliar as variações na sazonalidade dos albedos de floresta e de pastagem, bem como sua diferença sazonal, tanto para os dados observados quanto para as simulações;
- verificar se a relação entre a mudança da precipitação sazonal está relacionada com o incremento do albedo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Albedo, ou coeficiente de reflexão, é definido pela razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente. O albedo da superfície, calculado pela razão entre o fluxo radiativo de onda curta refletido pela superfície e o fluxo radiativo incidente, é de reconhecida importância para o balanço de energia da superfície.

As causas responsáveis pela variação do albedo da superfície incluem as variações na refletância da vegetação e do solo (BÉGUÉ et al., 1996), as mudanças na estrutura do dossel, o grau de cobertura do solo e o índice de área foliar (IAF), a presença de cobertura morta no solo (ROSSET et al., 1997, 2001; ELTAHIR, 1996; BREMER e HAM, 1999), a variação no ângulo de elevação solar, a presença ou não de água depositada sobre as folhas, a opacidade das folhas, a cor, rugosidade e teor de umidade do solo, a partição entre radiação direta e difusa, causada principalmente por mudanças na cobertura de nuvens e a mudança espectral de radiação incidente devido a variações na composição atmosférica, especialmente aerossóis. CULF et al. (1996) constataram que a fumaça resultante de práticas de queimadas realizadas em terrenos de pastagem na Amazônia atuaram na redução da radiação solar incidente. No caso de uma floresta tropical densa, que cobre permanentemente o solo, com pouca variação sazonal do IAF, os principais fatores que influenciam na variabilidade do albedo

da superfície são o ângulo de elevação solar e o regime de chuvas, que afetam a nebulosidade, a umidade do solo e a umidade foliar (GIAMBELLUCA et al., 1999; RIBEIRO, 1994; PEREIRA, 1997).

2.1. Ângulo de elevação solar

As variações sazonais do albedo se relacionam com as mudanças do ângulo de elevação solar pois a reflexão da radiação direta nas superfícies naturais é significativamente maior em baixos ângulos de incidência. Além disso, as variações de albedo relacionadas às mudanças do ângulo de elevação solar podem ainda estar sob a influência da estrutura do dossel e do sombreamento correspondente.

O albedo apresenta ciclos diurno e anual associados a mudanças no ângulo de elevação solar. Ângulos elevados permitem que maiores profundidades sejam atingidas pela luz no interior do dossel de uma floresta, o que contribui para uma maior absorção da radiação incidente, fazendo com que o albedo seja tipicamente menor no verão (GIAMBELLUCA et al., 1999). Os efeitos da latitude, percebidos nas zonas áridas e semi-áridas do mundo, são mencionados por LI et al. (2000) quando se referem à permissão de pastagem em excesso em local situado ao nordeste da China. Desertificação pode instaurar-se, em consequência de super-utilização dos recursos naturais e em função do manejo impróprio do ambiente.

SHUTTLEWORTH et al. (1984) constataram um valor médio de albedo de 12,3% para uma floresta tropical amazônica próxima a Manaus, Reserva Ducke, com ângulo médio de elevação solar de 43,8° ; verificando também que o albedo médio da floresta tropical depende do ângulo de elevação solar, conforme a seguinte expressão:

$$\alpha = 15,09 - 0,136 \beta + 0,00123 \beta^2, \quad (1)$$

em que o albedo médio (α) está relacionado ao ângulo de elevação solar (β), em graus. Os cálculos de albedo foram obtidos pelas médias horárias de radiação

solar refletida e incidente em função do ângulo médio de elevação solar àquela hora.

PEREIRA (1997) relaciona trabalhos que mostram os efeitos da penetração dos feixes de radiação solar sobre as lacunas do dossel. Segundo este autor é expressivo o aumento da frequência desses raios, quando o ângulo de elevação solar é maior que 60°. Os raios solares demonstram o relacionamento existente entre ângulo de elevação solar e índice de área foliar.

RIBEIRO (1994) observou a variação média horária de albedo para áreas de floresta e pastagem na Amazônia, a partir da razão entre os valores médios horários da radiação solar refletida e da radiação solar global, abrangendo os períodos seco e chuvoso. As análises para o período seco mostram que o albedo decresce de acordo com o aumento da elevação solar. Os valores são máximos, nas primeiras horas da manhã e nas últimas horas da tarde. Nas horas em que a elevação solar é maior, em torno da metade do dia, a radiação solar no interior da comunidade vegetal apresenta um coeficiente de absorção maior. Porém, casos de elevada variabilidade de albedo durante as primeiras horas do dia, naquela região, podem ser explicados por uma alternância do molhamento foliar: dia em que a folhagem apresenta-se com orvalho ou chuva, ou dia em que esta se apresenta seca.

É esperado que o albedo seja menor sob condições de nuvens pois, neste caso, a luz difusa atinge mais efetivamente o dossel vegetativo e, na realidade, é mais absorvida que a radiação de feixe de luz paralela. Assim, o ângulo solar torna-se menos importante quando a radiação incidente apresenta uma alta proporção de luz difusa (PEREIRA, 1997; SONG, 1998; NOUVELLON et al., 2000).

2.2. Regime de chuva, umidade foliar e umidade do solo

CULF et al. (1995) conduziram medições de albedo, em áreas da bacia Amazônica, e observaram que os valores médios mensais de albedo, correspondente a áreas de floresta, apresentaram uma variação sazonal bem

definida e correlacionada à umidade do solo. Representações de albedo versus umidade do solo, para dias relativamente claros e relativamente nublados, mostraram que o grau de correlação entre estas duas variáveis é mais forte do que a existente entre albedo e ângulos de elevação solar, e a existente entre variações de nebulosidade decorrentes de eventos de queimadas.

Em áreas de pastagem, as variações mensais de albedo foram mais pronunciadas. Os albedos das áreas de pastagem são maiores do que os albedos das áreas de floresta e demonstram forte ciclo sazonal. A mudança na cor do solo exposto, quando úmido, retrata a relação entre molhamento do solo e albedo. Aumentos de refletância foliar podem estar relacionados a mudanças da umidade foliar e ao ângulo foliar. Os autores obtiveram sinais de que um decréscimo no albedo pode ser esperado na estação úmida, em razão da redução na refletividade da superfície do solo molhado, devido ao novo crescimento de gramíneas e conseqüentes reduções na área de solo exposto. As proporções relativas de capim e solo descoberto experimentam variações, de acordo com os padrões de crescimento da vegetação dependentes do clima e da disponibilidade de água no solo, e também de acordo com o grau de pastoreio determinado pelo gado (CULF et al., 1995; ROSSET et al., 1997, 2001; LI et al., 2000).

RIBEIRO (1994) observou a variação média horária de albedo para áreas de floresta e pastagem na Amazônia, abrangendo os períodos seco e chuvoso. Os valores correspondentes ao período chuvoso, tanto para pastagem quanto para floresta, foram ligeiramente menores que os valores correspondentes ao período seco. A estação chuvosa foi marcada por menores valores de albedo, durante o início da manhã. As constantes chuvas, que ocorrem durante a madrugada, figuram como prováveis fontes de redução de albedo em ambas as áreas experimentais.

PEREIRA (1997) descreve o regime radiativo de florestas tropicais úmidas, e afirma que o albedo médio mensal apresenta uma variação sazonal imposta principalmente pelo regime de chuva. As assimetrias verificadas em escala horária de tempo revelam valores de albedo vespertinos maiores que os

observados no período da manhã. Contudo, em alguns casos, verifica-se o oposto, devido às condições de nebulosidade.

3. METODOLOGIA

3.1. O experimento de simulação

Este trabalho analisa os resultados das simulações do experimento climático de COSTA e FOLEY (2000), que avaliaram as mudanças climáticas impostas pela substituição da floresta tropical úmida por áreas desmatadas cobertas por gramíneas. O experimento utilizou a versão 2 do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera GENESIS, desenvolvido pelo NCAR (National Center for Atmospheric Research), numa resolução horizontal de 4,5° de latitude por 7,5° de longitude, e 16 níveis na vertical.

A versão do GENESIS foi acoplada ao modelo de simulação da biosfera IBIS (Integrated Biosphere Simulator) (FOLEY et al., 1996), que apresenta certas características peculiares, como a simulação dinâmica da fenologia da vegetação. O modelo é capaz de simular a variação sazonal das diversas variáveis biofísicas da vegetação, tais como o índice de área foliar, o albedo e a rugosidade aerodinâmica, o que o torna adequado para um estudo desta natureza. O IBIS incorpora as descrições detalhadas de temperatura do solo e do dossel da vegetação, temperatura e umidade específica do ar nos espaços do dossel, o balanço de radiação do dossel e da superfície do solo, simulando ainda os fluxos turbulentos e difusos de vapor d'água e calor sensível.

No cálculo do balanço de radiação de onda curta, são usadas aproximações independentes de fluxos de radiação direta e difusa em duas faixas espectrais (0,3-0,9 e 0,9-4,0 μm), que são úteis à representação da transferência de radiação solar dentro de cada camada da vegetação. O modelo considera a dependência do albedo da vegetação em relação ao índice de área foliar, considerando ainda a orientação e refletância das folhas. Os valores de refletância adotados pelo modelo foram apresentados por SELLERS et al. (1996). As simulações de radiações de ondas longas consideram cada camada da vegetação como um plano semitransparente, que contém uma emissividade dependente da folhagem. Perfis logarítmicos do vento externo dos dosséis da vegetação, com parametrização difusiva do interior de cada camada da vegetação, modelam as velocidades do vento dentro e fora do dossel, sendo os parâmetros de rugosidade obtidos como parte do processo de simulação.

Em relação ao solo, as variações diurnas, sazonais e interanuais de temperatura e umidade são obtidas utilizando-se um modelo de solo de seis camadas, de espessuras 0,10; 0,15; 0,25; 0,50; 1,00 e 10,00 m. Em razão da estrutura apresentada, o modelo é eficiente para simular o escoamento na superfície e drenagem profunda. As descrições mecanísticas da fisiologia do dossel e as respostas dos processos fisiológicos ao ambiente, a condutância estomática em função da taxa de fotossíntese, e as concentrações de dióxido de carbono na camada-limite da folha completam a estrutura do modelo.

As simulações representaram o clima durante um período de 15 anos, e foram inicializadas a partir de condições iniciais iguais. A média dos últimos dez anos foi escolhida para análise de resultados, enquanto os cinco anos iniciais foram utilizados para que o modelo atingisse o estado de equilíbrio, principalmente em relação à umidade do solo e à temperatura do oceano.

Os resultados de albedo e precipitação dos tratamentos F (floresta) e D (desmatada) do experimento de COSTA e FOLEY (2000), foram utilizadas nas análises. O tratamento F é a simulação de controle, com a Amazônia coberta por floresta tropical, na concentração atual de CO_2 (345 ppmv). No tratamento D, as

condições são idênticas, exceto pela substituição da floresta tropical por pastagens na região Amazônica (Figura 1).

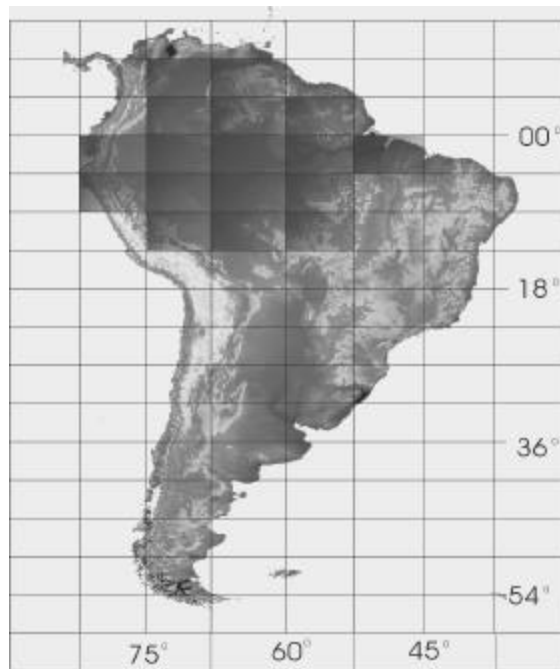


Figura 1 - Representação esquemática da América do Sul. As células hachuradas foram as células que sofreram mudança na cobertura vegetal.

As diferenças entre albedo ($\alpha' = \alpha_D - \alpha_F$) e precipitação ($P' = P_D - P_F$) foram calculadas sazonalmente. Os albedos observados foram definidos de acordo com os dados de radiação solar incidente e refletida, apresentados por CULF et al. (1996).

Os aspectos físicos descritos por ZENG e NEELIN (1999), com relação aos processos de retroalimentação responsáveis pelo surgimento de chuvas, são avaliados num âmbito teórico geral, com o propósito de fundamentar conclusões desta pesquisa. Segundo os autores, os fenômenos relacionados podem ser representados pela seguinte equação:

$$P' = \frac{-S_o \epsilon_{tA}}{m(1 - e) + c_t} \alpha' \quad (2)$$

em que P' é a variação de precipitação e α' é a variação de albedo. Os demais parâmetros estão relacionados aos processos envolvidos: S_o é a radiação solar incidente no topo da atmosfera; ϵ_{tA} é um coeficiente de onda curta relativo ao albedo no topo da atmosfera; m representa estabilidade da umidade relativa, é um percentual da umidade que está convergindo. Este parâmetro é considerado chave, pois numa região de profundidade convectiva, a energia total e o fluxo de água absorvida na coluna atmosférica conduzem uma convergência de umidade, e a eficácia desta forçante depende de m ; e é o fator de eficiência de evaporação. Trata-se de um parâmetro ajustável, que é dependente da interceptação da chuva e da evapotranspiração, energia disponível, e indiretamente do escoamento, e umidade do solo; e c_t é um fator forçante radiativa no topo de nuvens. A redução da energia solar absorvida na coluna da atmosfera em decorrência de um maior albedo da superfície promove a resposta inicial de cada componente integrante do processo de variação de precipitação.

3.2. Dados de albedo observados

Para fins de validação, o albedo de florestas e pastagens, simulado por COSTA e FOLEY (2000), foi comparado com o albedo observado em áreas cobertas por estes tipos de vegetação (CULF et al., 1996). Os dados fazem parte do projeto ABRACOS, e foram coletados entre 1990 e 1993.

Descrições básicas sobre as áreas de floresta (Reserva) e pastagem (Fazenda) são apresentadas no Quadro 2. Em cada área de estudo, estações meteorológicas automáticas foram instaladas e visitadas semanalmente.

Quadro 2 - Principais áreas do ABRACOS

Terreno	Local	Coordenadas
Reserva Vale do Rio Doce	Marabá, Pará	5° 45' S, 49° 10' W
Fazenda Boa Sorte	Marabá, Pará	5° 10' S, 48° 45' W
Reserva Ducke	Manaus, Amazonas	2° 57' S, 59° 57' W
Fazenda Dimona	Manaus, Amazonas	2° 19' S, 60° 19' W
Reserva Jaru	Ji-Paraná, Rondônia	10° 05' S, 61° 55' W
Fazenda Nossa Senhora	Ji-Paraná, Rondônia	10° 45' S, 62° 22' W

A Reserva Ducke é uma área de floresta primária protegida dentro dos limites norte e leste, que estão 25 km distantes de Manaus, numa elevação de 80 m acima do nível médio do mar. O dossel médio da floresta é de 35 m de altura, porém, algumas árvores alcançam 40 m. Uma floresta inalterada, de no mínimo 5 km de extensão, envolve toda a área experimental.

A Fazenda Dimona é uma fazenda de gado, localizada aproximadamente 100 km ao norte de Manaus. A fazenda apresenta uma clareira de 10 km², com altitude de 120 m.

A Reserva Vale do Rio Doce, situada a 50 km ao sul de Marabá, tem uma área de 17 hectares com vasto grau de integridade, mas quase toda envolvida por amplos espaços. Registra-se a presença de árvore madura de noz Brasil, com 49 m de altura. Os contínuos dosséis da floresta abrangem 20 a 25 m de altura.

A Fazenda Boa Sorte é uma fazenda de gado localizada entre as áreas norte e leste, a 50 km de distância de Marabá e à altitude de 170 m acima do nível médio do mar. Uma pequena floresta prevalece na região.

A Reserva Jaru é uma reserva florestal pertencente ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA). Está situada a 80 km ao norte de Ji-Paraná, a uma

altitude de 120 m acima do nível do mar. O rio Ji-Paraná limita a parte ocidental da Reserva Jaru. A altura média do dossel da floresta é 33 m.

A Fazenda Nossa Senhora é um rancho de gado localizado a 220 m acima do nível do mar, à distância de 50 km entre as regiões leste e nordeste de Ji-Paraná. O terreno está situado numa faixa de superfície desmatada, que compreende quase 4 km de extensão, distribuída em grandes extensões no interior de uma área aproximada de 50 km de raio, a qual tem suportado grandes escalas de espaço livre.

A partir dos totais mensais de radiação incidente e refletida, foram calculadas médias ponderadas trimestrais do albedo, tanto para as condições de floresta nativa (F) quanto para as condições desmatadas (D). Além disso, foi calculada a diferença sazonal entre os albedos ($\alpha' = \alpha_D - \alpha_F$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Validação do albedo simulado

As médias anuais dos albedos simulados, tanto para as áreas de floresta quanto para as áreas de pastagem, são próximas aos valores observados (Quadro 3). Os dados observados por CULF et al. (1996) refletem variações entre as áreas experimentais para as médias anuais de albedo, definidas em 0,133 para as áreas de floresta e 0,176 para as áreas de pastagem. As simulações realizadas por COSTA e FOLEY (2000) obtiveram médias anuais de albedo de 0,131 e 0,167, para áreas de floresta e pastagem, respectivamente. As médias anuais das observações em três áreas de pastagem, estendem-se entre um valor mínimo de 0,169 e máximo de 0,193, enquanto as médias simuladas variam espacialmente entre 0,161 e 0,176. As médias anuais de albedo de floresta variam entre 0,122 e 0,147, para as três áreas experimentais, enquanto o albedo simulado de floresta variou espacialmente entre 0,127 e 0,138. Em ambos os casos observa-se que, apesar da média dos albedos simulados ser semelhante à média dos albedos observados, a variabilidade do albedo simulado foi menor do que o observado.

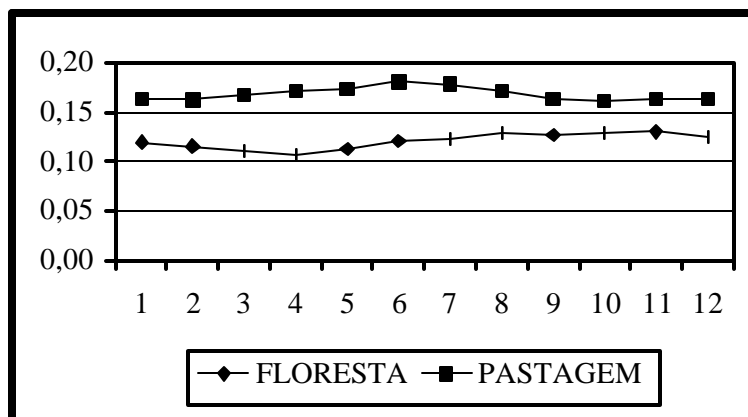
Quadro 3 - Comparação entre as médias anuais simuladas e observadas de albedo, para áreas de pastagem e floresta, e variação espacial

	Observado		Simulado	
	Média	Faixa de variação entre áreas experimentais	Média	Faixa de variação entre células
Floresta	0,133	0,122 – 0,147	0,131	0,127 – 0,138
Pastagem	0,176	0,169 – 0,193	0,167	0,163 – 0,190

4.2. Variabilidade sazonal do albedo

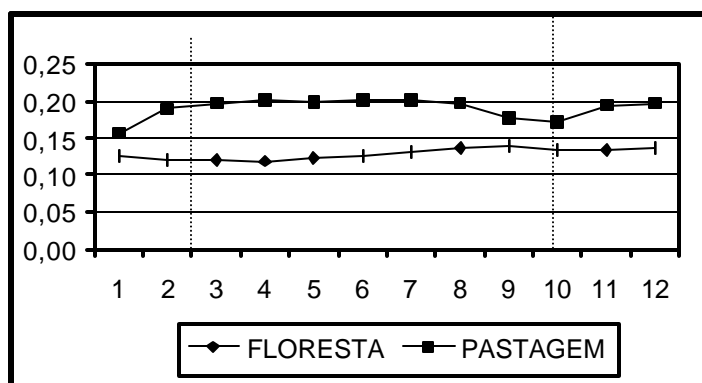
A Figura 2 representa a variabilidade sazonal do albedo superficial de florestas e pastagens próximas a Manaus. Nota-se que o albedo da pastagem é superior ao albedo da floresta, e que a menor diferença entre os albedos ocorre nos meses de setembro, outubro e novembro.

A Figura 3 representa a variabilidade sazonal do albedo superficial de florestas e pastagens em Rondônia. Inicialmente, uma característica dos albedos superficiais é evidente: enquanto o albedo da floresta apresenta pouca variação sazonal, o albedo da pastagem apresenta grande variabilidade entre as estações. A maior sensibilidade do albedo da pastagem às fontes de variação pode ser consequência da altura ou da densidade da vegetação ou da proporção de solo nu. As diferenças sazonais de albedo comprovam o comportamento semelhante nas diversas latitudes, quando relacionadas ao ângulo de elevação solar.



Fonte: Gráfico desenhado com base nos dados de CULF et al. (1996).

Figura 2 - Valores mensais de albedo superficial, em áreas de floresta - Reserva Ducke (◆) e pastagem - Fazenda Dimona (■).



Fonte: Gráfico desenhado com base nos dados de CULF et al. (1996).

Figura 3 - Valores mensais de albedo superficial, em áreas de floresta - Reserva Jarú (◆) e pastagem - Fazenda Nossa Senhora (■). As linhas tracejadas verticais representam os dias em que o Sol atinge sua máxima elevação.

Nas Figuras 2 e 3, observa-se também o efeito combinado de três das principais fontes de variação de albedo: ângulo de elevação solar e umidade foliar e do solo. A menor diferença entre os albedos de floresta e pastagem é observada próximo a um dos dias em que a elevação solar no local é máxima. Sendo mais sensível à variação do ângulo de elevação solar, o albedo da pastagem é o único que varia mais intensamente em janeiro e fevereiro, época do ano de maior nebulosidade, com maior proporção de radiação difusa (PEREIRA, 1997; NOUVELLON et al., 2000). Além disso, verifica-se que o albedo da floresta é ligeiramente maior no período seco (junho-novembro), e ligeiramente menor no período chuvoso (dezembro-maio). Por outro lado, o albedo da pastagem apresenta uma variação inversa, pois no período seco, com a redução do índice de área foliar, o solo fica mais exposto. CULF et al. (1995) entendem que um decréscimo em albedo pode ser esperado na estação chuvosa, em razão da redução na refletividade da superfície do solo úmido devido ao crescimento de novas gramíneas e conseqüentes reduções da área de solo exposto.

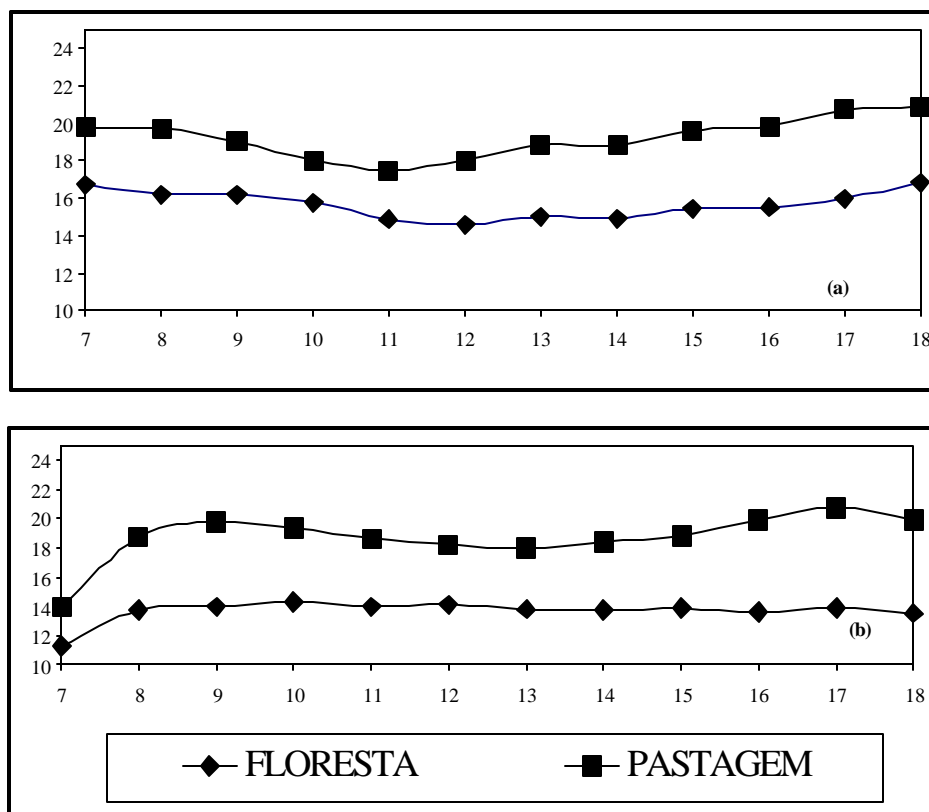
CULF et al. (1996) observaram que as variações de albedo identificadas nas áreas de floresta foram maiores em períodos de menor umidade do solo. Consideraram, também, que os baixos valores de albedo obtidos nos meses de agosto a setembro, na Fazenda Nossa Senhora, podem ser provenientes de uma elevada quantidade de fumaça, que é comum na área, no período do ano em que ocorrem queimadas. Diferenças sistemáticas de radiação solar incidente, observadas em Ji-Paraná, podem ser devido ao aumento de nebulosidade sobre a pastagem durante a estação seca. Os autores admitem que tal fato pode ser devido à reduzida evaporação da pastagem em condições de estresse hídrico, que torna possível um maior fluxo de calor sensível. A camada limite convectiva cresce mais rapidamente, permitindo que a camada mista sobre a pastagem alcance a mudança de nível de condensação antes da camada mista sobre a floresta, resultando em períodos mais longos de cobertura de nuvens.

A dependência do albedo em relação ao ângulo de elevação solar e ao molhamento foliar e do solo pode ser melhor entendida por meio da análise de dados horários de albedo. RIBEIRO (1994) apresenta as variações horárias do

albedo observado em uma área experimental na bacia Amazônica, os quais compreendem um período seco, entre os dias 1º a 20 de agosto e 9 a 30 de novembro de 1991, e um período úmido, que abrange o intervalo de dezembro de 1991 a 16 de fevereiro de 1992 (Figura 4). No período seco (Figura 4a), quando o molhamento foliar é menor, os maiores valores de albedo, encontrados no início da manhã e no fim da tarde, confirmam a tendência sazonal, ou seja, maiores valores de albedo estão associados a menores ângulos de elevação solar. No período chuvoso (Figura 4b), os dados horários mostram intensa redução do albedo superficial nas primeiras horas da manhã, provavelmente em consequência do molhamento foliar associado às frequentes chuvas noturnas, ou orvalho.

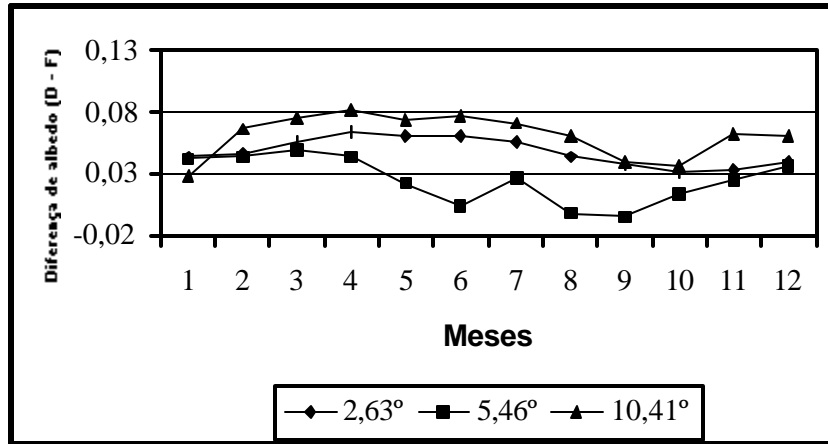
Quanto às áreas de floresta, as variações de albedo em função das mudanças de ângulo de elevação solar são pequenas, o que pode ser devido à maior altura do dossel e menor exposição do solo, dentre outros fatores. Na Figura 4, é possível ainda verificar que, tanto no período seco quanto no período chuvoso, a menor diferença entre os albedos ocorre próximo ao horário de máxima elevação solar, consistente com o observado em base sazonal. Mais uma vez verifica-se que, enquanto o albedo de floresta praticamente não varia com o ângulo de elevação solar, o albedo de pastagem apresenta maiores variações relacionadas à variação deste ângulo.

A Figura 5 apresenta o comportamento anual das diferenças de albedo ($\alpha_D - \alpha_F$), as quais revelam a influência específica de cada área experimental. Três características são evidentes: Forte sazonalidade das diferenças entre albedos, maiores diferenças entre albedos para maiores latitudes e, em cada sítio, as menores diferenças ocorrem nos meses de agosto, setembro e outubro.



Fonte: Baseado nos dados de RIBEIRO (1994).

Figura 4 - Variação horária de albedo, proveniente de dados observados em (a) período seco e (b) úmido.



Fonte: Gráfico desenhado com base nos dados apresentados por CULF et al. (1996).

Figura 5 - Diferença sazonal de albedo ($D - F$), englobando as áreas de Manaus (2,63°S), de Marabá (5,46°S), e de Ji-Paraná (10,41°S).

A Figura 6 apresenta as diferenças entre o albedo simulado da pastagem e o da floresta, em relação à época do ano, para as latitudes de 2,25°S, 6,75°S, e 11,25°S, representadas na simulação. A análise dessa figura demonstra que as mesmas características presentes nos albedos medidos por CULF et al. (1996) estão presentes também nos albedos simulados por COSTA e FOLEY (2000): forte sazonalidade das diferenças entre albedos, maiores diferenças entre albedos para maiores latitudes e, menores diferenças de albedo simulado ocorrendo nos meses próximos aos equinócios, quando o ângulo de elevação solar é maior, em especial nos meses de agosto a outubro.

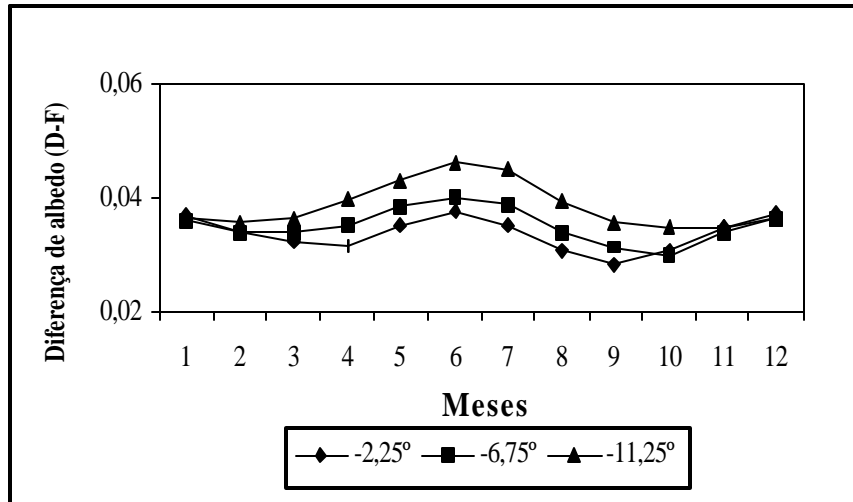


Figura 6 - Diferença de albedo simulado versus mês do ano para três latitudes.

4.3. Influência sazonal do albedo da superfície na mudança do padrão de chuva sobre a área desmatada

A Figura 7 apresenta as variações relativas de precipitação associadas às mudanças relativas de albedo para o trimestre mais chuvoso do ano no modelo (janeiro, fevereiro, março – JFM) e para o trimestre mais seco do ano no modelo (julho, agosto, setembro – JAS). Cada ponto representa um grupo de células, agrupadas por latitude. Uma relação linear entre P'/P e α'/α é evidente na estação mais chuvosa do ano, enquanto uma relação linear é mais fraca para a época seca do ano. As representações relativas de albedo e precipitação descrevem as mudanças ligadas ao grau de desmatamento existente, capazes de contribuir tanto para os efeitos locais, regionais, ou global.

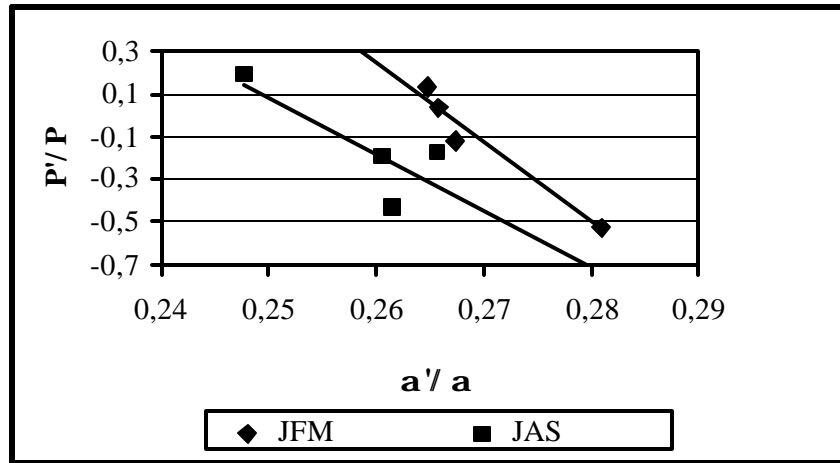


Figura 7 - Variações relativas entre P'/P e α'/α . JFM: janeiro, fevereiro e março. JAS: julho, agosto e setembro.

Considerando a variação do albedo com o ângulo de elevação solar, as Figuras 8 e 9 apresentam a dependência dos desvios de precipitação (P'), para os quatro trimestres do ano (JFM, AMJ, JAS, OND), em função da variação sazonal da diferença do albedo (α'), para duas latitudes diferentes. No trimestre mais seco (JAS – julho, agosto, setembro) constatou-se um aumento de precipitação na latitude $-2,25^\circ$, possivelmente devido à compensação de efeitos gerados pelo aumento de temperatura da superfície. Em relação à latitude $-6,75^\circ$, a ocorrência de maior decréscimo de chuva está relacionada a maior diferença de albedo, exatamente no período de transição entre estação chuvosa e estação seca, AMJ (abril, maio, junho).

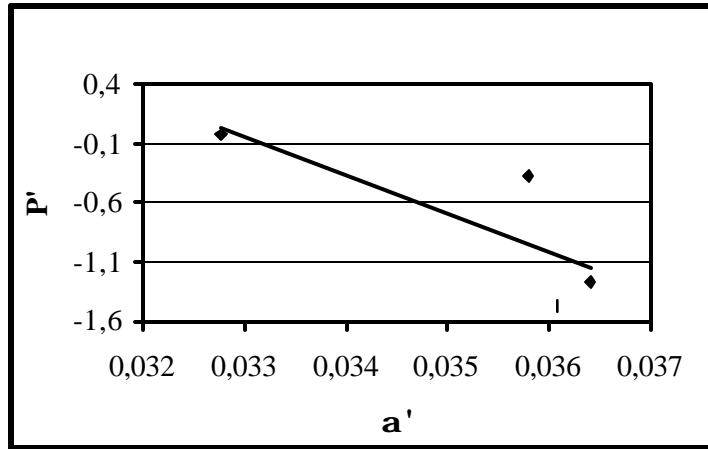


Figura 8 - Mudança no padrão de chuva (P'), em mm/dia, e a mudança no albedo da superfície após a conversão da floresta tropical em pastagens (α'), para a latitude de $-2,25^\circ$. Cada ponto representa um trimestre.

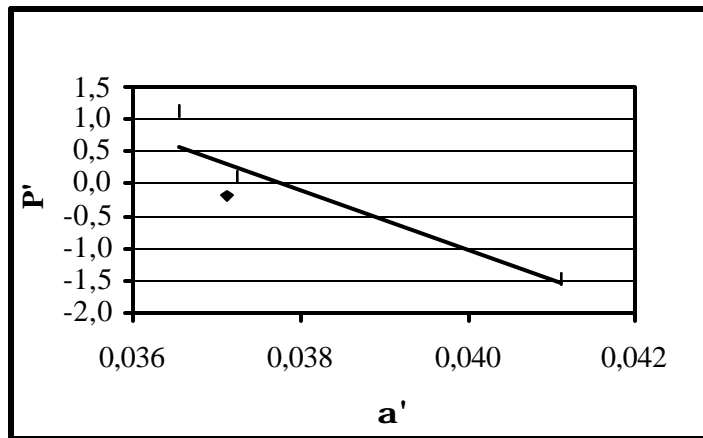


Figura 9 - Mudança no padrão de chuva (P'), em mm/dia, e a mudança no albedo da superfície após a conversão da floresta tropical em pastagens (α'), para a latitude de $-6,75^\circ$. Cada ponto representa um trimestre.

Os resultados obtidos confirmam as informações de DIRMEYER e SHUKLA (1994). Esses autores demonstraram que a precipitação aumenta para valores de α' menores do que 0,03, e diminui quando α' é maior do que esse limite. Os resultados deste estudo demonstram que mudanças na cobertura vegetal traduzem acréscimos de precipitação quando diferença de albedo é pequena, e decréscimos na precipitação quando a diferença de albedo é maior. O valor limite de α' que separa os desvios positivos dos negativos em precipitação se situa entre $\alpha' = 0,03$ e $\alpha' = 0,04$.

Os resultados deste trabalho são parcialmente explicados pela teoria de ZENG e NEELIN (1999). Esses autores propuseram que a mudança na precipitação após um desmatamento da floresta tropical (P') pode ser explicada por uma função linear do incremento do albedo (α'), sendo proporcional à radiação solar incidente (S_0) e a outros parâmetros relacionados a mecanismos de retroalimentação de convergência de umidade, de evaporação e radiativo (relacionado à cobertura de nuvens), de acordo com a equação (2). De fato, os resultados apresentados nas Figuras 7 a 9 revelam uma relação linear entre P' e α' , sendo que a linearidade é mais evidente no verão, quando o valor de S_0 é maior.

DIRMEYER e SHUKLA (1994) discutem a intervenção dos efeitos dos mecanismos de retroalimentação ligados a uma importante elevação de albedo, que está relacionada ao desmatamento da floresta tropical. Argumentam que, quando o aumento relativo do albedo não é expressivo, a convergência do fluxo de umidade conduzida pelo aumento da temperatura da superfície pode compensar outros efeitos, com conseqüente aumento de precipitação média. Menores aumentos de albedo permitem que mais energia na superfície seja destinada ao aquecimento da atmosfera inferior. O aumento de energia, que estimula a convergência por intermédio do aumento da temperatura da superfície, compensa a redução de convergência friccional. Eles verificaram que as mudanças em precipitação refletiam, com maior intensidade, as mudanças de convergência do fluxo de umidade integrada verticalmente. Em conseqüência do desmatamento, foi identificada uma mudança na circulação geral e, por

consequente, o suprimento dinâmico de umidade na atmosfera também sofreu mudanças.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho obteve três conclusões principais. Enquanto o albedo da floresta é mais conservativo ao longo do ano, apresentando pouca variação de acordo com o ângulo de elevação solar e com a umidade foliar e do solo, o albedo da pastagem é mais sensível a estes fatores, apresentando grande variação ao longo do ano. Razões que podem explicar a maior variabilidade do albedo da pastagem incluem a altura ou a densidade da vegetação, a proporção de solo nu exposto ou a inclinação predominantemente vertical das folhas.

Verificou-se que as variações sazonais da diferença de albedo estão associadas a flutuações em escala sazonal das anomalias de precipitação causadas pelo desmatamento. A resposta da circulação atmosférica e da precipitação sobre a área desmatada é proporcional ao incremento do albedo, conforme antecipado por DIRMEYER e SHUKLA (1994) e por ZENG e NEELIN (1999).

Mesmo numa escala sazonal, foram observados acréscimos de precipitação quando a variação do albedo superficial ($\Delta\alpha$) é inferior a determinado limite, e decréscimos quando a variação de albedo foi maior que esse limite. A análise das simulações indicam que este limite varia entre 0,03 e 0,04.

Pelas conclusões obtidas, modelos climáticos que utilizem um módulo de vegetação dinâmica têm o potencial de representar mais realisticamente variações

de escala sazonal nos padrões de precipitação associados ao desmatamento tropical. Entretanto, cuidados extras deverão ser tomados com relação à validação desses albedos simulados, para garantir que os processos superficiais, importantes controladores da circulação da atmosfera tropical, sejam corretamente representados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÉGUÉ, A., ROUJEAN, J.L., HANAN, N.P., PRINCE, S.D., THAWLEY, M., HUETE, A., TANRÉ, D. Shortwave radiation budget of Sahelian vegetation: 1. Techniques of measurement and results during HAPEX – Sahel. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 79, p. 79-96, 1996.
- BREMER, D.J., HAM, J.M. Effect of spring burning on the surface energy balance in a tallgrass prairie. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, p. 43-54, 1999.
- CHARNEY, J.G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 101, n. 428, p. 193-202, 1975.
- COSTA, M.H. Large-scale hydrological impacts of tropical forest conversion. In: BONELL, M., BRUIJNZEEL, L.A. (Eds.). **Forest-water-people in the tropics**. Cambridge: Cambridge University, 2002.
- COSTA, M.H., FOLEY, J.A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia. **Journal of Climate**, v. 13, p. 18-34, 2000.
- CULF, A.D., FISCH, G., HODNETT, M.G. The albedo of amazonian forest and ranch land. **Journal of Climate**, v. 8, n. 6, p. 1544-1554, 1995.

- CULF, A.D., ESTEVES, J.L., MARQUES FILHO, A.O., ROCHA, H.R. Radiation, temperature and humidity over forest and pasture in Amazonia. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley & Sons, 1996. p. 175-191.
- DICKINSON, R.E., KENNEDY, P. Impacts on regional climate of Amazon deforestation. **Geophysical Research Letters**, v. 19, p. 1947-1950, 1992.
- DIRMEYER, P.A., SHUKLA, J. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. D10, p. 20, 1994.
- ELTAHIR, E.A.B. Role of vegetation in sustaining large-scale atmospheric circulations in the tropics. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D2, p. 4255-4268, 1996.
- FOLEY, J.A., PRENTICE, I.C., RAMANKUTTY, N., LEVIS, S., POLLARD, D., SITCH, S., HAXELTINE, A. An integrated biosphere model of land surface processes, terrestrial carbon balance, and vegetation dynamics. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 10, p. 603-628, 1996.
- GIAMBELLUCA, T.W., FOX, J., YARNASARN, S., ONIBUTR, P., NULLET, M.A. Dry-season radiation balance of land covers replacing forest in northern Thailand. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 95, p. 53-65, 1999.
- HAHMANN, A.N., DICKINSON, R.E. RCM2-BATS model over tropical South America: applications to tropical deforestation. **Journal of Climate**, v. 10, p. 1944-1964, 1997.
- HENDERSON-SELLERS, A., DICKINSON, R.E., DURBIDGE, T.B., KENNEDY, P.J., MCGUFFIE, K., PITMAN, A.J. Tropical deforestation: modeling local to regional scale climate change. **Journal of Geophysical Research**, v. 98, p. 7289-7315, 1993.
- LEAN, J., ROWNTREE, P.R. A GCM simulation of the impact of Amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 119, p. 509-530, 1993.
- 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**, v. 10, p. 1216-1235, 1997.

- LI, S.G., HARAZONO, Y., OIKAWA, T., ZHAO, H.L., HE, Z.Y., CHANG, X.L. Grassland desertification by grazing and the resulting micrometeorological changes in Inner Mongolia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 102, p. 125-137, 2000.
- MANZI, O., PLANTON, S. Calibration of a GCM using ABRACOS and ARME data and simulation of Amazonian deforestation. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. (Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. New York: John Wiley and Sons, 1996. p. 505-530.
- NOUVELLON, Y., BÉGUÉ, A., MORAN, M.S., SEEN, D.L., RAMBAL, S., LUQUET, D., CHEHBOUNI, G., INOUE, Y. PAR extinction in shortgrass ecosystems: effects of clumping, sky conditions and soil albedo. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 105, p. 21-41, 2000.
- PEREIRA, A.R. Radiation regime of tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 2, p. i-viii, 1997.
- RIBEIRO, J.B.M. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 67 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- ROSSET, M., RIEDO, M., GRUB, A., GEISSMANN, M., FUHRER, J. Seasonal variation in radiation and energy balances of permanent pastures at different altitudes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 86, p. 245-258, 1997.
- ROSSET, M., MONTANI, M., TANNER, M., FUHRER, J. Effects of abandonment on the energy balance and evapotranspiration of wet subalpine grassland. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 86, p. 277-286, 2001.
- SONG, J. Diurnal asymmetry in surface albedo. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 92, p. 181-189, 1998.
- SHUTTLEWORTH, W.J., GASH, J.H.C., LLOYD, C.R. et al. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 110, p. 1163-1169, 1984.
- ZENG, N., NEELIN, J.D. A land-atmosphere interaction theory for the tropical deforestation problem. **Journal of Climate**, v. 12, p. 857-872, 1999.